

RECURSOS HÍDRICOS

EM REGIÕES SEMIÁRIDAS

ESTUDOS E APLICAÇÕES



EDITORES

Hans Raj Gheyi

Vital Pedro da Silva Paz

Salomão de Sousa Medeiros

Carlos de Oliveira Galvão

 **INSA**
Instituto Nacional do Semiárido

UFRB
Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia

**RECURSOS HÍDRICOS
EM REGIÕES SEMIÁRIDAS:
ESTUDOS E APLICAÇÕES**

Governo do Brasil

Presidenta da República

Dilma Vana Rousseff

Vice-Presidente da República

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)

Ministro do Estado

Marco Antonio Raupp

Secretário Executivo

Luiz Antonio Rodrigues Elias

Subsecretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

Arquimedes Diógenes Ciloni

Instituto Nacional do Semiárido (INSA)

Diretor

Ignacio Hernán Salcedo

Coordenador Administrativo

Salomão de Sousa Medeiros

Coordenador de Pesquisa

Aldrin Martin Perez Marin

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Reitor

Paulo Gabriel Soledade Nacif

Vice-Reitor

Silvio Luiz de Oliveira Sógliã

Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação

Ana Cristina Fermino Soares

Diretor do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas

Alexandre Américo Almassy Júnior

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

Vital Pedro da Silva Paz

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias

Tales Miler Soares

RECURSOS HÍDRICOS EM REGIÕES SEMIÁRIDAS: ESTUDOS E APLICAÇÕES

Editores

Hans Raj Gheyi

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Vital Pedro da Silva Paz

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Salomão de Sousa Medeiros

Instituto Nacional do Semiárido

Carlos de Oliveira Galvão

Universidade Federal de Campina Grande

Recursos hídricos em regiões semiáridas:

Estudos e aplicações

ISBN 978-85-64265-03-5



INSA

Instituto Nacional do Semiárido

Campina Grande - PB



Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia
Cruz das Almas - BA

Equipe Técnica

Editoração Eletrônica
Water Luiz Oliveira do Vale

Capa
Wedsley Oliveira de Melo

Revisão de Texto
Nísia Luciano Leão (Português)

Normatização
Maria Sônia Pereira de Azevedo

1ª edição
1ª impressão (2012): 1.250 exemplares

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Instituto Nacional do Semiárido/Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

R311 Recursos hídricos em regiões semiáridas / editores, Hans Raj Gheyi, Vital Pedro da Silva Paz, Salomão de Sousa Medeiros, Carlos de Oliveira Galvão - Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012.
258 p. : il, 15,5 x 21,0 cm

ISBN 978-85-64265-03-5

1. Recursos hídricos. 2. Água - reúso. 3. Bacia hidrográfica - manejo. I. Gheyi, Hans Raj. II. Paz, Vital Pedro da Silva. III. Medeiros, Salomão de Sousa. IV. Galvão, Carlos de Oliveira. V. Instituto Nacional do Semiárido, VI. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

CDD 333.91

Os temas, dados, figuras e conceitos emitidos neste Livro, são de exclusiva responsabilidade dos respectivos autores. A eventual citação de produtos e marcas comerciais não significa recomendação de utilização por parte dos autores/editores. A reprodução é permitida desde que seja citada a fonte.

Apresentação

A demanda crescente e a complexidade da gestão da água têm envolvido distintos setores da sociedade, incluindo acadêmicos, políticos, articuladores das classes sociais, organizações e demais usuários potenciais dos recursos naturais. A integração desse e outros atores são de fundamental importância na busca de tecnologias, métodos e políticas a serem implementadas no processo de uso sustentável da água, com menores riscos de comprometimentos futuros.

As inovações tecnológicas e a pesquisa são indispensáveis para enfrentar os desafios presentes e do futuro da sociedade quanto a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos, visto a ampliação dos conflitos entre os usuários com consequência da vulnerabilidade que se apresenta nos sistemas hídricos da maioria dos países e nações.

No caso das regiões semiáridas a situação se agrava com as expectativas crescentes dos efeitos do clima, associados a reduzida disponibilidade, seja quantitativa ou qualitativa, de água superficial e subterrânea.

Reconhecidamente tem sido grandes os esforços desenvolvidos no Nordeste Brasileiro no aperfeiçoamento das políticas de gerenciamento dos recursos hídricos e a Bahia tem pioneirismo com uma política voltada para o semiárido que ocupa quase dois terços do território do Estado e está privilegiado pela mais importante contribuição do Rio de Integração Nacional (Bacia do Rio São Francisco).

A agricultura irrigada tem sido responsável pelos maiores acréscimos de rentabilidade das culturas que respondem consideravelmente pelo aumento continuado da balança comercial da Bahia e demais estados da Região Nordeste.

Não se pode esquecer que ainda persiste a adoção de práticas inadequadas na aplicação de água pelos sistemas de irrigação e uso nocivo de produtos químicos, resultando em riscos de contaminação de efluentes e lençóis freáticos. Associa-se a isso a degradação das águas pelo uso indiscriminado pela indústria e falta de tratamento e serviços urbanos. Tudo isso interfere sobremaneira na qualidade dos recursos hídricos.

Os desafios continuam e todos nós, políticos, acadêmicos e cidadãos temos a responsabilidade de buscar alternativas para garantir um futuro seguro, com melhor qualidade de vida, saúde e alimentação saudável.

O livro “Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações” aproxima cada vez mais os diferentes setores responsáveis por este grande tema de interesse multi-institucional, que deve ter continuidade para formação do conhecimento e consolidação das nossas políticas e ações de governo para a gestão dos recursos hídricos no âmbito da região semiárida do Brasil.

Os pesquisadores da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e do Instituto Nacional do Semiárido, juntos com outros de instituições de destaque, recebem todo o reconhecimento pelo trabalho de coordenação e edição de mais um obra e contribuição à literatura técnico-científica do País.

Salvador - BA, 02 de abril de 2012.

Eduardo Salles
Secretário de Agricultura, Irrigação e Reforma
Agrária do Estado da Bahia

Prefácio

A água é um recurso natural escasso e cuja disponibilidade tem sido crescentemente limitada, principalmente em regiões áridas e semiáridas. As projeções e tendências traduzem sérios riscos de conflitos e vulnerabilidades cada vez mais complexas. Toda e qualquer estratégia de uso e gestão deve estar focada nos conceitos mínimos de sustentabilidade, considerando também as possibilidades de utilização de águas servidas e residuárias como alternativas potenciais de minimização do impacto decorrente da escassez já identificada nos diferentes setores de produção.

A importância do uso eficiente, obviamente, varia de região para região e de acordo com a época. Tratando-se do semiárido a situação se agrava, sendo fundamental que a concepção do uso dos recursos hídricos seja fundamentada no conhecimento cada vez mais aprofundado e abrangente, de forma a assegurar a melhor partição entre as atividades de demanda e produção.

A escassez da água em regiões áridas e semiáridas tem sido tema de debates, políticas e pesquisas com o objetivo principal de subsidiar as ações capazes de permitir o seu aproveitamento racional, permitindo a convivência da população com os períodos de seca ou reduzida precipitação.

O grande desafio tem sido produzir conhecimento e tecnologias para melhorar a situação atual e proteger os recursos naturais no futuro. Para isso, a pesquisa e seus resultados, sistematizados e difundidos têm importância fundamental.

É indispensável que a pesquisa seja um processo contínuo, visto que a tecnologia gerada necessita de ajustes pontuais, em que a presença de técnicos e especialistas é oportuna, não excluindo o apoio à programas de capacitação em todos os níveis, abrangendo técnicos, administradores, tomadores de decisão e produtores. Quem tem acesso à informação e pode entendê-la tem a vantagem e oportunidade para selecionar a melhor tecnologia e com isso a possibilidade de redução dos riscos de comprometimento dos recursos e insumos de produção.

A edição do livro **“Recursos hídricos em regiões semiáridas: Estudos e aplicações”** traz importantes contribuições para a gestão dos recursos hídricos por induzir a produção continuada de metodologias e resultados capazes

de contribuir para o uso eficiente da água, bem como na melhoria das condições socioambientais do Semiárido Brasileiro. Ante o exposto, o Instituto Nacional do Semiárido espera que esta publicação subsidie estudantes, pesquisadores, profissionais e todos os interessados no tema “Recursos hídricos”.

Campina Grande - PB, 02 de abril de 2012.

Ignacio Hernán Salcedo
Diretor do Instituto Nacional do Semiárido

Agradecimentos

O livro não poderia ter sido editado sem a participação ativa de muitas pessoas. A excelente colaboração dos autores e coautores é gratamente reconhecida, como também o esforço voluntário de vários pesquisadores e engenheiros que disponibilizaram seu tempo para revisar manuscritos e apresentar sugestões.

A cooperação e a parceria entre o Instituto Nacional do Semiárido e a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia tem permitido a integração de interesses mútuos de contribuir para o desenvolvimento dos programas institucionais de pesquisa e produção do conhecimento, voltados ao desenvolvimento sustentável dos recursos naturais e, em especial, os recursos hídricos do semiárido brasileiro.

Os editores agradecem às instituições onde os autores e os colaboradores atuam pelo uso irrestrito da sua infraestrutura e ao Banco Nordeste do Brasil pelo apoio institucional e financeiro que viabilizaram a elaboração dessa obra.

Campina Grande - PB, 02 de abril de 2012.

Editores

Hans Raj Gheyi
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Vital Pedro da Silva Paz
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Salomão de Sousa Medeiros
Instituto Nacional do Semiárido

Carlos de Oliveira Galvão
Universidade Federal de Campina Grande

Autores

Abelardo A. A. Montenegro - Graduado em Eng. Civil pela UFPE. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela UFSCar-SP, Doutorado em Water Resources - University of Newcastle Upon Tyne. Prof. da UFRPE do UFPE. Áreas de atuação: manejo de bacias hidrográficas, conservação de solo e água, geoestatística, salinidade e agricultura familiar.

Aderson S. de Andrade Júnior - Graduado em Agronomia pela UFP, Doutorado em Irrigação e Drenagem pela ESALQ. Atualmente, é pesquisador A da Embrapa Meio-Norte. Tem experiência nas seguintes linhas de pesquisa: manejo de irrigação e fertirrigação, agrometeorologia, planejamento de irrigação e zoneamento agrícola. Na formação de recursos humanos, atua como professor/orientador na UFPI e UFC.

Alicia F. Cirelli - Doctora en Ciencias Químicas, Profesora Titular de la Universidad de Buenos Aires e Investigadora Principal del CONICET. Dirige el Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Directora de la Maestría en Gestión del Agua de la UBA, Coordinadora del Comité Académico de Aguas de la Asociación Universidades Grupo Montevideo; Profesora del Master Agua de la Universidad de Barcelona, España. Directora de la Cátedra B. Houssay de la UBA, Secretaria Adjunta del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).

Alisson J. P. da Silva - Graduado em Engenharia Agrônoma, Mestre em Irrigação e Drenagem pela Universidade de São Paulo. Atualmente é doutorando em Ciências Agrárias na UFRB. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano. Linhas de pesquisa: irrigação e tecnologias de captação de água da chuva.

Ana C. M. Souza - Graduação em Gestão Ambiental pela UERN. Especialização em Gestão Ambiental com ênfase em Perícia e Auditoria pela Faculdade do Vale do Jaguaribe. Mestranda em Manejo de Solo e Água na UFERSA. Tem experiência nas áreas de Educação Ambiental, Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER).

Antonio A. de Melo - Graduado em Geografia pela USP, Mestre em Recursos Naturais pela UFCCG. Atualmente é doutorando de Recursos Naturais na UFCCG. Áreas de atuação: desenvolvimento sustentável, reúso de águas e logística reversa.

Aureo S. de Oliveira - Graduado em Engenharia Agrônômica pela UFBA, Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem) pela UFC, Doutor em Engenharia Agrícola e de Biosistemas pela Universidade do Arizona e Pós-Doutorado pela Universidade de Idaho. Atualmente é Professor Associado da UFRB. Linhas de pesquisa: manejo da água em agrossistemas irrigados e Sensoriamento remoto aplicado á agricultura irrigada.

Beatriz S. Conceição - Graduada em Engenharia Agrônômica pela UFRB. Atualmente é estudante de Mestrado da UFLA. Linha de pesquisa: manejo de irrigação.

Carlos de Oliveira Galvão – Graduado em Engenharia Civil, Doutor em Recursos Hídricos e Seneamento pela UFRGS. Atualmente é Professor Associado da UFCG. Linhas de pesquisa: hidrologia do semiárido e gestão de recursos hídricos.

Carlos A. V. de Azevedo - Graduado em Eng. Agrícola, Mestre em Eng. Civil - Irrigação e Drenagem, pela UFPB, Doutor Agricultural and Irrigation Engineering pela Utah State University. Prof. da UAEA/UFCG. Áreas de atuação: irrigação e drenagem e reúso de águas na agricultura.

Christiano R. Cosme - Graduação em Agronomia pela UFRSA, Mestre em Irrigação e Drenagem pela UFRSA. Tem experiência na área de Engenharia de Água e Solos, atuando principalmente nos temas: reúso de água, conservação e manejo de água e solo, problemas de salinidade em áreas irrigadas e cultivo hidropônico.

Danielle F. de Araújo - Engenheira Agrônoma e Mestre em Irrigação e Drenagem pela UFC, Doutoranda em Engenharia Agrícola. Experiência nos seguintes temas: monitoramento da umidade do solo, sistematização de terrenos para irrigação, sensores, irrigação e drenagem, conservação de água e solo, erosão na irrigação por sulcos.

Delfran B. dos Santos - Graduado em Agronomia pela UFBA, Mestre em Irrigação e Drenagem pela UFPB e Doutorado em Recursos Hídricos e Ambientais pela UFV. Atualmente é Professor do Instituto Federal Baiano. Linhas de pesquisa: desenvolvimento de tecnologias sociais com ênfase em recursos hídricos.

Delka de O. Azevedo - Graduada em Zootecnia pela UESB, Mestre em Produção Animal pela UFPB. Atualmente é professora do Instituto Federal Baiano. Linhas de pesquisa: construções rurais e ambiência e convivência com a seca.

Ênio F. de F. e Silva - Engenheiro Agrícola formado pela UFLA, Mestre em Engenharia Agrícola pela UFPB, Doutorado em Irrigação e Drenagem pela USP e Pós-Doutorado em Conservação de Água e Solo pela USP. Professor adjunto da UFRPE na área de recursos hídricos e meio ambiente.

Eugênio F. Coelho - Graduado em Engenharia Agrícola e Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, Ph.D. em Engenharia de Irrigação pela Universidade do Estado de Utah. Atualmente é Pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura e docente da Pós Graduação em Ciências Agrárias da UFRB. Linhas de pesquisa: manejo de irrigação e fertirrigação de fruteiras tropicais, sistemas de irrigação.

Francisco A. de C. Pereira - Graduado em Engenharia Agrônômica pela UFBA, Mestre em Irrigação e Drenagem pela UFV, Doutor em Agronomia pela ESALQ/USP e Pós-Doutorado pelo Instituto de Agricultura Sostenible do Consejo Superior de Investigación Científica (Espanha). Professor Associado da UFRB. Linhas de pesquisa: engenharia de água e solo e necessidade hídrica das culturas.

Gessionei da S. Santana - Graduado em Agronomia pela UFBA, Doutor em Engenharia Agrícola (Recursos Hídricos e Ambientais) pela UFV. Atualmente é Professor do Instituto Federal Baiano. Linhas de pesquisa: gerenciamento de irrigação.

Greice X. S. Oliveira - Graduada em Engenharia Agrônômica pela UFBA, Mestre em Ciências Agrárias (Irrigação e Drenagem) pela UFBA, Doutora em Agronomia (Física do Ambiente Agrícola) pela ESALQ/USP. Atualmente é pesquisadora PRODOC da UFRB. Linhas de pesquisa: agrometeorologia e climatologia; uso de águas de qualidade inferior.

Hans R. Gheyi - Graduado em Agricultura, Doutor em Ciências Agrônômicas pela Université de Louvain. Atualmente é Professor Visitante da UFRB. Linhas de pesquisa: salinidade, relação solo-água-planta e reúso de água.

Haroldo F. de Araújo - Engenheiro Agrônomo pela UFC, Mestre em Engenharia Agrícola pela UFC, Doutorando em Engenharia Agrícola na UNICAMP. Atualmente trabalha com agricultura orgânica em ambiente protegido de alto grau tecnológico com as mais variadas hortaliças.

Iarajane B. do Nascimento - Engenheira Agrônoma pela ESAM, Doutora em Agronomia/Fitotecnia pela UFC. Atualmente realizando estágio Pós-Doutoral na INCTSal/UFERSA.

Ildos Parizotto - Graduado em Filosofia pela UPF, Graduado em Análise de Sistemas pela Universidade de Passo Fundo. Atualmente é analista da Embrapa Mandioca Fruticultura. Linhas de pesquisa: avaliação de impactos sociais.

José C. de Araújo - Graduado em Engenharia Civil, Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamentos pela USP. Atualmente é Professor Associado da UFC. Linha de pesquisa: hidrologia, sedimentologia e gestão de águas.

José F. de Medeiros - Graduado em Agronomia pela ESAM, Doutor em Agronomia: Irrigação e Drenagem pela ESALQ/USP. Atualmente é Coordenador de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem na UFERSA. Área de atuação: cultivo do melão e melancia, salinidade, fertirrigação e manejo de irrigação.

Manassés M. da Silva - Engenheiro Agrícola, Mestre e Doutor em Engenharia Agrícola pela UFCG. Tem experiência na área de Irrigação e Drenagem. Atualmente é Professor da UFRPE.

Manuel D. da Silva Neto - Técnico Agropecuário pelo Instituto Federal Baiano, Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária. Atualmente é Bolsista de Apoio Técnico em Extensão no País (CNPq). Linhas de pesquisa: recursos hídricos, qualidade ambiental e gestão sustentável de recursos naturais.

Márcia R. F. da Silva - Graduado em Geografia pela UFRN, Mestre em Ecologia de Agroecossistemas pela USP e Doutora em Ecologia Aplicada pela ESALQ/USP. Atualmente é Professora Adjunta III da UERN. Experiência nas áreas de Geografia e Ecologia, com ênfase em ecologia aplicada, ecologia humana, sociedade e ambiente, gestão de recursos naturais, gestão de resíduos sólidos, educação ambiental, planejamento e gestão ambiental.

Nildo da S. Dias - Graduado em Agronomia pela UFERSA, Doutor em Agronomia pela USP. Atualmente é Professor na UFERSA. Tem experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Engenharia de Água e Solo, atuando nos temas: Reúso de água, conservação de solos e água, manejo da irrigação e problemas de salinidade em áreas irrigadas.

Olavo da C. Moreira - Engenheiro Agrônomo pela UFC e Mestrando em Irrigação e Drenagem na UFC. Desenvolveu pesquisas no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste sobre racionalização e alternativas do uso de água. Atualmente, está desenvolvendo Pesquisa & Desenvolvimento na microbacia do Rio Pesqueiro, que faz parte da Bacia Hidrográfica Metropolitana.

Olga S. Heredia - Ingeniera Agrónoma (FAUBA), Master en Ciencias del Suelo y Doctora de la UBA en el área de Toxicología. Profesora del Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, Universidad de Buenos Aires. Integrante del Instituto CETA-UBA. Docente de posgrado en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales-UBA. Docente invitada en la UNFRJ-Brasil. Directora de tesis de Grado y Maestría y Doctorado.

Pedro R. F. de Medeiros - Engenheiro Agrônomo pela UFERSA, Mestre em Irrigação e Drenagem pela ESALQ/USP, Doutor em Irrigação e Drenagem pela ESALQ/USP e Pós-Doutorado em Engenharia Agrícola na UFRPE. Experiência na área de Engenharia de água e solo e/ou salinidade.

Raimundo N. T. Costa - Graduado em Agronomia. Doutor em Irrigação e Drenagem pela ESALQ/USP. Atualmente é Professor Associado da UFC. Linhas de pesquisa: irrigação por superfície, drenagem agrícola e racionalização de água em perímetros irrigados por superfície.

Ricardo J. A. Miranda - Graduado em Engenharia Agrícola pela UFPB e Mestre em Agronomia pela UFRPE. Doutor em Eng. Agrícola pela UFCG. Professor do IEFPE. Áreas de atuação: irrigação e drenagem e reúso de águas na agricultura.

Rubênia N. da Cruz - Graduada em Ciências Biológicas pela UEPB, Mestre em Recursos Naturais pela UFCG. Áreas de atuação: desenvolvimento sustentável, agricultura familiar.

Salomão S. de Medeiros - Engenheiro Agrícola pela UFPB, Doutor em Engenharia Agrícola pela UFV. Atualmente é pesquisador do Instituto Nacional do Semiárido.

Suzana M. G. L. Montenegro - Doutora em Civil Engineering pela University of Newcastle Upon Tyne e Pós-Doutorado no Centre for Ecology and Hydrology-Wallingford. Professor Associado da UFPE. Participa dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPE e Engenharia Agrícola e Ambiental da UFRPE. Membro da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas e da Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Linhas de pesquisa: semiárido, salinidade, aluvião, águas subterrâneas e variabilidade espacial, modelagem hidrológica distribuída e mudanças climáticas, drenagem urbana.

Tibério S. M. da Silva - Graduado em Engenharia Agrônômica pela UFBA, Mestre em Ciências Agrárias pela UFRB. Atualmente é analista da Embrapa Mandioca Fruticultura. Linhas de pesquisa: sistemas de irrigação, tecnologias de captação de água da chuva, zoneamento agrícola.

Valéria P. Borges - Graduada em Engenharia Agrônômica pela UFBA, Mestre em Ciências Agrárias (Engenharia e Manejo de Irrigação) pela UFRB, Doutora em Meteorologia pela UFCG. Atualmente é Professora do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da UFCG. Linhas de pesquisa: agrometeorologia e sensoriamento remoto aplicado à agricultura irrigada.

Vera L. A. de Lima - Graduada em Engenharia Agrícola com Mestrado em Eng. Civil - Irrigação e Drenagem pela UFPB. Doutora em Engenharia Agrícola pela UFV. Professora da UAEA/UFCG. Áreas de atuação: irrigação e drenagem e reúso de águas na agricultura.

Vital P. da S. Paz - Engenheiro Agrícola pela UFPB, Doutor em Irrigação e Drenagem pela ESALQ/USP. Pós-Doutorado pela Universidade de Concepción (Chile). Professor Titular da UFRB. Desenvolve pesquisas nos temas de uso racional de água, fertirrigação, reúso e aplicação de águas residuárias na agricultura.

Sumário

Capítulo 1 - Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido

Abelardo A. A. Montenegro & Suzana M. G. L. Montenegro

1.1 Introdução	2
1.2 Características do semiárido brasileiro	3
1.3 Políticas públicas de recursos hídricos	4
1.3.1 Generalidades	4
1.3.2 Principais políticas públicas em desenvolvimento no semiárido brasileiro	5
1.3.3 Apoio tecnológico à implementação das políticas públicas de recursos hídricos	18
1.3.4 Monitoramento participativo e sistemas de alerta	19
1.3.5 Integração do planejamento e regionalização	21
1.3.6 Controle de processos de desertificação e enfrentamento das mudanças climáticas	21
1.4 Considerações finais	23
1.5 Agradecimentos	23
Referências bibliográficas	24

Capítulo 2 - Recursos hídricos em regiões semiáridas

José C. de Araújo

2.1 Introdução	30
2.2 Balanço hídrico e temporalidade	31
2.3 Disponibilidade hídrica	32
2.3.1 Reservatórios	32
2.3.2 Garantia associada à disponibilidade e impacto do assoreamento	34
2.3.3 Qualidade da água	35
2.4 Uso eficiente da água	37
2.5 Conclusões	38
Referências bibliográficas	39

Capítulo 3 - Evaporação da água de reservatórios: Medição e estimativa por métodos micrometeorológicos

Aureo S. de Oliveira, Francisco A. de C. Pereira,
Greice X. S. Oliveira & Valéria P. Borges

3.1 Introdução	46
3.2 A camada limítrofe planetária	47
3.3 Aerodinâmica da evaporação	49
3.3.1 Em termos de flutuações turbulentas	50
3.3.2 Em termos de variáveis médias	55
3.4 Evaporação via balanço de energia	57
3.5 Evaporação via modelos combinados	64
3.6 Tanques de evaporação	66
3.7 Considerações finais	70
Referências bibliográficas	71

Capítulo 4 - Captação de água de chuva para fins agropecuários no semiárido

Delfran B. dos Santos, Gessionei da S. Santana, Delka de O. Azevedo,
Alisson J. P. da Silva & Manuel D. da Silva Neto

4.1 Introdução	76
4.2 Distribuição de chuvas e estimativa de captação de água para o semiárido brasileiro	77
4.2.1 Distribuição espacial de chuvas no semiárido	77
4.2.2 Estimativa da área de captação em função da precipitação média anual	79
4.3 Planejamento e uso da água captada para fins agrícolas	80
4.3.1 Estimativa e manejo do volume de água disponível em barragens subterrâneas	80
4.3.2 Estimativa e manejo do volume de água disponível em cisternas de produção	84
4.3.3 Estimativa do volume de água requerido pelas culturas	90
4.4. Uso da água na pecuária sob a ótica do semiárido	91
4.4.1 Teor de água presente no organismo animal	92
4.4.2 Consumo de água e manejo, em função da espécie animal	92
4.4.3 Influência das instalações no consumo de água	94
4.5 Considerações finais	96
Referência bibliográficas	97

Capítulo 5 - Sistemas de irrigação de baixo custo para agricultura familiar de assentamentos ribeirinhos do semiárido

Eugênio F. Coelho, Tibério S. M. da Silva, Alisson J. P. da Silva,
Ildos Parizotto, Beatriz S. Conceição & Delfran B. dos Santos

5.1	Introdução	100
5.2	Caracterização da agricultura familiar de assentamentos do semiárido	101
5.3	Sistemas de irrigação de baixo custo para agricultura familiar	102
5.3.1	Sistema “bubbler” adaptado	103
5.3.2	Microaspersão artesanal	104
5.3.3	Xique-xique	105
5.3.4	Xique-xique modificado	105
5.3.5	Gotejamento com uso de emissores artesanais ou comerciais de baixo custo	106
5.3.6	Bacias abastecidas por canais elevados revestidos	106
5.3.7	Irrigação por mangueira perfurada	108
5.3.8	Sistemas de irrigação localizada “garrafas PET”	108
5.4	Avaliação hidráulica dos sistemas de baixo custo em condições de campo	110
5.5	Produtividade de culturas irrigadas por sistemas de baixo custo	112
5.6	Experiência de campo sobre uso de sistemas de baixo custo	114
5.7	Considerações finais	115
	Referências bibliográficas	115

Capítulo 6 - Alternativas para uso racional da água em perímetros irrigados por superfície

Raimundo N. T. Costa, Danielle F. de Araújo,
Haroldo F. de Araújo & Olavo da C. Moreira

6.1	Introdução	118
6.2	Estudos de caso	119
6.2.1	Resposta do mamoeiro irrigado por sulcos com diferentes tempos de oportunidade	119
6.2.2	Indicadores técnicos do maracujazeiro irrigado com água de poço tubular em diversas combinações de horários	122
6.2.3	Resposta da abóbora aos fatores de produção água e nitrogênio com reúso de água da irrigação por sulcos em sistema de irrigação localizada	124
6.3	Considerações finais	126
6.4	Agradecimentos	126
	Referências bibliográficas	126

Capítulo 7 - Uso agrícola de água residuária: Uma visão socioambiental

Vera L. A. de Lima, Carlos A. V. de Azevedo, Ricardo J. A. Miranda,
Antonio A. de Melo, Abelardo A. A. Montenegro & Rubênia N. da Cruz

7.1	Introdução	130
7.2	Pesquisa em Mutuca - Pesqueira, PE	136
7.2.1	Ensaio para a demonstração da tecnologia de reúso de águas ..	136
7.2.2	Mobilização social dos atores locais para participação nas experiências em tecnologia de reúso de águas	138
7.2.3	Destaques	141
7.3	Pesquisa no Assentamento Rural Nova Vida - Mogeiro, PB	141
7.3.1	Ensaio para a demonstração da tecnologia de reúso de águas ..	141
7.3.2	Mobilização social dos atores locais para participação nas experiências em tecnologia de reúso de águas	143
7.4	Pesquisa realizada em Esperança, PB	146
7.4.1	Ensaio para a demonstração da tecnologia de reúso de águas e resíduos sólidos orgânicos	146
7.4.2	Mobilização social dos atores locais para participação nas experiências em tecnologia de reúso de águas e de resíduos sólidos orgânicos	146
7.5	Conclusões	150
	Referências bibliográficas	151

Capítulo 8 - Reúso da água proveniente de esgoto doméstico tratado para a produção agrícola no semiárido pernambucano

Manassés M. da Silva, Pedro R. F. de Medeiros
& Ênio F. de F. e Silva

8.1	Introdução	156
8.2	Escassez de água no semiárido	158
8.3	Processo de tratamento de esgoto doméstico para reúso na agricultura	158
8.4	Efeitos da água de reúso sobre o desenvolvimento e produtividade das plantas	160
8.5	Efeitos da água de reúso sobre o estado nutricional das plantas	164
8.6	Efeitos da água de reúso sobre o solo	167
8.7	Considerações finais	168
8.8	Agradecimentos	169
	Referências bibliográficas	169

Capítulo 9 - Gestão das águas residuárias provenientes da dessalinização da água salobra

Nildo da S. Dias, Christiano R. Cosme,
Ana C. M. Souza & Márcia R. F. da Silva

9.1 Introdução	176
9.2 A qualidade do rejeito salino gerado nas estações de tratamento de água salobra nas comunidades rurais de Mossoró, RN	178
9.3 Uso de rejeito salino para produção de hortaliças: A experiência da comunidade Bom Jesus, Campo Grande, RN	180
9.4 Utilização de rejeito salino para o consórcio piscicultura/forragicultura	184
9.5 Considerações finais	186
Referências bibliográficas	186

Capítulo 10 - Salinidade de solo e da água e seus efeitos na produção agrícola

José F. de Medeiros, Hans R. Gheyi & Irajane B. do Nascimento

10.1 Introdução	190
10.2 Características dos solos afetados por sais	191
10.2.1 Pedogênese dos solos afetados por sais – classes de solos ...	192
10.2.2 Características químicas e física dos solos afetados por sais	192
10.2.3 Solos salinos	194
10.2.4 Solos salino-sódicos	194
10.2.5 Solos sódicos	194
10.2.6 Solos salinos e sódicos no sistema brasileiro de classificação de solos	195
10.3 Qualidade da água de irrigação	196
10.3.1 Características da água de irrigação	196
10.3.2 Classificação da qualidade da água para irrigação	198
10.3.3 Qualidade da água no nordeste brasileiro	201
10.4 Efeitos prejudiciais dos sais nas áreas irrigadas	205
10.4.1 Efeitos da salinidade da água sobre o solo	205
10.4.2 Efeito dos sais sobre as plantas	209
10.5 Técnicas de manejo para controlar os efeitos da salinidade	214
10.6 Considerações Finais	217
Referências bibliográficas	218

Capítulo 11 - Demanda hídrica e eficiência de uso da água em cultivos consorciados

Aderson S. de Andrade Júnior

11.1	Introdução	224
11.2	Metodologia	225
11.2.1	Caracterização da área experimental	225
11.2.2	Dados climáticos	225
11.2.3	Cultivares, semeadura e tratos culturais	228
11.2.4	Sistema e manejo de irrigação	229
11.2.5	Balanco de água no solo	231
11.2.6	Determinação do coeficiente de cultivo por lisimetria de pesagem	233
11.2.7	Eficiência do uso de água	233
11.3	Demanda hídrica (Kc)	234
11.3.1	Consórcio mamona – feijão-caupi	234
11.3.2	Consórcio algodão – feijão-caupi	235
11.3.3	Consórcio milho – feijão-caupi	237
11.4	Eficiência do uso de água (EUA)	238
11.4.1	Consórcio mamona – feijão-caupi	238
11.4.2	Consórcio algodão – feijão-caupi	240
11.4.3	Consórcio milho – feijão-caupi	241
11.5	Conclusões	243
	Referências bibliográficas	243

Capítulo 12 - Cambio climático y balance hidrológico: Estudio de caso en suelos Pampeanos, Argentina

Olga S. Heredia & Alicia F. Cirelli

12.1	Introducción	248
12.2	Metodología	250
12.3	Resultados obtenidos	252
12.4	Consideraciones finales	257
12.5	Agradecimientos	257
	Referencias bibliograficas	258

Capítulo 1

Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido

Abelardo A. A. Montenegro¹ & Suzana M. G. L. Montenegro²

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco

² Universidade Federal de Pernambuco

- 1.1 Introdução
- 1.2 Características do semiárido brasileiro
- 1.3 Políticas públicas de recursos hídricos
 - 1.3.1 Generalidades
 - 1.3.2 Principais políticas públicas em desenvolvimento no semiárido brasileiro
 - 1.3.3 Apoio tecnológico à implementação das políticas públicas de recursos hídricos
 - 1.3.4 Monitoramento participativo e sistemas de alerta
 - 1.3.5 Integração do planejamento e regionalização
 - 1.3.6 Controle de processos de desertificação e enfrentamento das mudanças climáticas
- 1.4 Considerações finais
- 1.5 Agradecimentos
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões semiáridas:
Estudos e aplicações
ISBN 978-85-64265-03-5



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB



Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia
Cruz das Almas - BA

1 Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido

1.1 INTRODUÇÃO

A água é um bem essencial à vida; dotada de valor econômico, cumpre seu ciclo global a partir das precipitações, retornando à atmosfera através da evaporação de corpos de água e transpiração dos vegetais. Os componentes hidrológicos deste ciclo se distribuem desuniformemente entre as diversas regiões do planeta, razão por que são afetados por ações antrópicas capazes de alterar sua disponibilidade, em termos quantitativos e qualitativos. Dentre as regiões submetidas a cenários de escassez de água se destacam as zonas semiáridas, sujeitas as chuvas de distribuição irregular, no tempo e no espaço, produzindo períodos de estiagem aguda, e ao mesmo tempo, concorrendo para eventos de enchentes. É também nas zonas semiáridas que ocorrem fluxos elevados de evapotranspiração, acentuando os déficits hídricos nos períodos sem chuvas. Consequentemente, as incertezas associadas à disponibilidade de água para os mais diversos usos tendem a ser elevadas, dificultando significativamente o planejamento voltado ao uso racional dos recursos hídricos devido sobretudo às intermitências do escoamento superficial e do armazenamento nos pequenos açudes.

Diversas têm sido as políticas públicas voltadas para os recursos hídricos da região semiárida brasileira. Nos últimos dois séculos ações de fortalecimento institucional, bem como medidas estruturais e não estruturais, vêm sendo implementadas, algumas comprovadamente de eficácia limitada. Os insucessos de decisões equivocadas aumentam o desafio da convivência com o semiárido, causando impactos socioeconômicos ambientais adversos e, muitas vezes, irreversíveis. Dentre esses impactos podem ser citados os fenômenos de desertificação e a ocorrência de migração das populações rurais para os aglomerados urbanos.

Vários são os estudos científicos que apontam para o aquecimento das zonas semiáridas ao longo deste século. Tal aquecimento tende a acentuar eventos extremos, tanto de secas quanto de enchentes requerendo, assim, políticas públicas e diretrizes voltadas a um planejamento mais amplo e a um fortalecimento de ações participativas para controle, monitoramento e alerta.

É consenso que a gestão de recursos hídricos é essencial a todos os setores da sociedade, devendo estar articulada com as políticas para os setores da educação, do meio ambiente, da indústria e do setor agrícola, dentre outros. Os fundamentos da gestão de recursos hídricos que estabelecem a água como bem público, de valor econômico e de uso múltiplo, tendem a acentuar conflitos entre usuários. O setor agrícola é aquele que demanda maiores volumes de água pressionado, inclusive, pelas metas de aumento da oferta de alimentos frente ao incremento populacional. No semiárido a irrigação se torna essencial, embora iniciativas de captação de águas de chuva para os cultivos se tenham expandido significativamente, podendo-se citar o Programa P1+2 do Governo Federal brasileiro. A disponibilidade de áreas das zonas semiáridas ainda não inseridas no processo produtivo a nível global tem aumentado a pressão sobre algumas fronteiras agrícolas (e, naturalmente, sobre a disponibilidade de recursos hídricos), e perímetros irrigados têm sido instalados na região, alguns, inclusive, voltados para a exportação de produtos agrícolas.

No sentido de incrementar a disponibilidade merecem destaque os incentivos públicos para o uso racional dos recursos hídricos, conservação de água e solo, e adoção de técnicas de reúso de águas de qualidade inferior para a agricultura. Instituições de pesquisa, Universidades e cientistas se têm debruçado sobre tecnologias apropriadas, ao mesmo tempo em que o setor público tem elaborado mecanismos de fomento visando ao desenvolvimento, à aplicação e apropriação, por parte das comunidades usuárias de tais tecnologias, que não produzam impactos ambientais adversos, ao mesmo tempo em que agreguem valor aos recursos hídricos disponíveis.

Várias são as políticas de recursos hídricos a serem mencionadas. Entretanto, neste Capítulo ênfase será dada àquelas de maior abrangência e de acordo com Cirilo (2010). Além da discussão geral das políticas serão enfatizados aspectos tecnológicos ligados ao manejo da água e aos possíveis impactos negativos dessas técnicas sobre os recursos naturais disponíveis. Procurar-se-á, também, destacar os desenvolvimentos científicos e tecnológicos recentes, capazes de ampliar as disponibilidades de água para os diversos usos, com ênfase no meio rural, assim como apontar para lacunas e demandas em ciência, tecnologia e inovação (C,T&I), visando disponibilizar, aos órgãos gestores, arcabouço técnico capaz de suplantar os desafios da convivência com o semiárido.

1.2 CARACTERÍSTICAS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

O semiárido abrange a maior parte dos Estados do Nordeste, a região setentrional de Minas Gerais e o norte do Espírito Santo, ocupando uma área total de 969.589,4 km² (Cirilo, 2008).

O semiárido brasileiro é um dos mais chuvosos do planeta, com precipitação média anual de 750 mm, embora em algumas áreas a precipitação média não ultrapasse os 400 mm anuais. A evapotranspiração potencial média atinge 2.500 mm ano, gerando

elevados déficits hídricos e limitando os cultivos agrícolas de sequeiro. Este déficit favorece a concentração de solutos nas fontes hídricas superficiais, degradando a qualidade das águas, por meio da eutrofização e salinização.

A região apresenta reduzido volume de escoamento superficial em sua rede de drenagem, apresentando coeficientes de escoamento muito baixos, variando entre 0,06 e 0,26, com média aproximada de 0,12 (Vieira, 2003). Segundo Vieira (2003), o déficit de evapotranspiração real em relação à evapotranspiração potencial varia de 50 mm, até valores superiores a 1.000 mm, caracterizando alto índice de aridez.

O denominado Polígono das Secas é, em geral, caracterizado por distribuição irregular da precipitação no tempo, solos rasos, rios intermitentes e escassos recursos hídricos subterrâneos. Essas características climáticas, pedológicas e hidrológicas, constituem restrições para a utilização regular dos recursos hídricos, notadamente para o desenvolvimento da agricultura que, em razão do regime irregular de chuvas, depende da irrigação para o suprimento de água para as culturas. Com predominância da área localizada sobre formações do tipo cristalino, com solos pouco profundos e de baixa capacidade de infiltração e armazenamento, a ocorrência de águas subterrâneas nessas regiões está limitada a fraturas e fissuras nas rochas e a zonas de aluviões dos rios, formadas pela deposição de sedimentos fluviais. Há de se ressaltar, entretanto, a existência de bacias sedimentares, de ocorrência localizada, com grande potencial hídrico.

A elevada predominância de cursos d'água temporários dificulta, sobremaneira, a gestão dos recursos hídricos na região e a implementação de políticas públicas associadas, limitando as alocações e suprimentos.

Este quadro de incertezas quanto à disponibilidade e à qualidade das águas, gera insegurança na tomada de decisão de políticas de recursos hídricos e de desenvolvimento agropecuário e socioeconômico para a região necessitando, portanto, de medidas de planejamento e gestão dos recursos hídricos, visando atender à demanda da população, de forma permanente.

1.3 POLÍTICAS PÚBLICAS DE RECURSOS HÍDRICOS

1.3.1 Generalidades

É consenso, dentre as estratégias para a América Latina, que a água é um fator essencial aos processos de desenvolvimento e à qualidade de vida. Os recursos hídricos sofrem com a má regulação e com os impactos ambientais decorrentes de diretrizes equivocadas. Parte desses problemas está associada à ausência de políticas públicas consistentes e continuadas.

Conforme a “Carta de Brasília”, oriunda do I Seminário Latino-Americano de Políticas Públicas em Recursos Hídricos, em 2004, a gestão da água deve ser realizada de modo abrangente, considerando-se os aspectos econômicos, legais, sociais, culturais e ambientais dos recursos hídricos.

Um dos aspectos fundamentais é a necessidade de maior articulação e interface entre as políticas de meio ambiente, de saúde, de desenvolvimento regional e de educação, particularmente devido ao caráter essencialmente participativo, desejável

para a gestão. Deste modo, a governança das águas se deve basear em princípios de gestão compartilhada, descentralizada e de ampla participação pública e dos usuários.

Evidentemente, não há modelo de política universal mas, sim, princípios e fundamentos sobre os quais os diversos arcabouços devam se apoiar.

A Declaração de Dublin, de 1992, evidencia que “a escassez e o desperdício da água doce representam sérias e crescentes ameaças ao desenvolvimento sustentável e à proteção ao meio ambiente. A saúde, o bem-estar do homem, a garantia de alimentos, o desenvolvimento industrial e o equilíbrio dos ecossistemas, estarão sob risco se a gestão da água e do solo não se tornar realidade, de forma bem mais efetiva do que tem sido no passado”. Nesta conferência foram estabelecidos os chamados “Princípios de Dublin” que norteiam a gestão e as políticas públicas para as águas, em todo o mundo.

São objetivos da Política Nacional das Águas:

- Assegurar, à atual e às futuras gerações, a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.
- A utilização racional e integrada dos recursos hídricos;
- A prevenção e a defesa contra eventos críticos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos prevê a gestão integrada e tem, como instrumentos para viabilizar sua implantação: os planos de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos d’água em classes segundo os usos preponderantes, a outorga de direito de uso, a cobrança pelo uso da água, a compensação a municípios e o sistema de informações sobre recursos hídricos.

A Agência Nacional de Águas (ANA) foi criada pela Lei n. 9.984, de 17 de julho de 2000, constituindo-se em entidade federal cuja função é a implementação da política nacional de recursos hídricos. A Bacia Hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

Dentre os fundamentos legais da Lei 9433/97, ficou estabelecido que a gestão de recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades, procurando também garantir uma representação minimamente equitativa de estado e sociedade nos comitês de bacia Hidrográfica.

1.3.2 Principais políticas públicas em desenvolvimento no semiárido brasileiro

Construção de açudes: A açudagem é uma das práticas mais tradicionais de armazenamento de água e amplamente adotada no semiárido brasileiro. As primeiras iniciativas remontam ao século 19, cuja maior expansão ocorreu após a década de 60 do século vinte. Os açudes do Nordeste podem ser enquadrados em duas classes principais, conforme Cirilo (2008): os açudes de médio e grande porte, com capacidade de acumulação da ordem de bilhões de metros cúbicos, e os de pequeno porte (ou

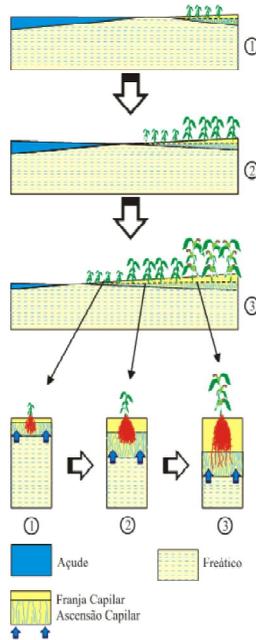
barreiros), amplamente presentes na região, com capacidades variáveis, podendo chegar a centenas de milhares de metros cúbicos. Podem ser citados os reservatórios de Orós, com 2,5 bilhões de m³, Coremas- Mãe d'água, com 1,4 bilhão de m³, Castanhão, com 6,7 bilhões de m³, não se devendo esquecer os lagos de Sobradinho, com 34,1 bilhões de m³, Itaparica, com 11 bilhões de m³ e Xingó, com 3,8 bilhões de m³, voltados principalmente para a geração de energia elétrica.

A SUDENE teve papel decisivo na implantação de açudes no semiárido voltados sobretudo para abastecimento e para a irrigação. Gradualmente, tais corpos de água passaram a apoiar a piscicultura e, assim, o uso múltiplo. A “Missão Francesa”, composta de hidrólogos que atuaram no Nordeste entre os anos 70 e 90, a partir do Programa de Cooperação SUDENE-ORSTOM (atual IRD), foi pioneira no estabelecimento de metodologias de aproveitamento múltiplo das águas dos açudes, particularmente dos de pequeno porte. Deve-se citar a publicação “Manual do Pequeno Açude” (Molle & Cadier, 1992), como de relevância para o planejamento e gestão de tais águas.

Algumas metodologias merecem destaque, como a do aproveitamento da vazante dos pequenos açudes para a irrigação de base familiar. Posteriormente, a técnica foi ampliada para considerar a vazante na própria bacia hidráulica, para cultivos agrícolas de ciclo curto, evidentemente sem o uso de agrotóxicos. Descrições mais detalhadas da técnica podem ser encontradas em Montenegro et al. (2003a), e Antonino & Audry (2001), ambos os estudos aplicando a técnica das vazantes no Açude Cajueiro, na Bacia do Pajeú, Pernambuco. A Figura 1.1 apresenta um perfil teórico de uma vazante e o nível freático do volume de controle, responsável pelo suprimento hídrico, por ascensão capilar, para a zona radicular. À medida em que a cultura se desenvolve, seu sistema radicular extrai água da zona capilar rebaixando, sucessivamente, o lençol freático subjacente. Com efeito, a ascensão capilar em tais vazantes pode ser de elevada magnitude em virtude das altas demandas evapotranspirométricas típicas da região semiárida, estando condicionada (a ascensão) às características hidráulicas dos solos e podendo, assim, atender à demanda hídrica de cultivos de ciclo curto, como o milho. Montenegro & Montenegro (2004) apresentam taxas capilares para algumas classes de solo dominantes no Nordeste, as quais podem atingir valores de 5 mm h⁻¹, em solos franco-siltosos. O lado negativo da ascensão capilar está associado ao risco de salinização do solo quando a água do lençol freático apresenta salinidade elevada.

É exatamente a elevada evapotranspiração de referência, no semiárido brasileiro, o principal fator limitante ao emprego da técnica da açudagem. Vieira (2003) comenta, sobre o baixo rendimento hídrico dos pequenos açudes, da ordem de 25%, definido como a razão entre o volume regularizado anual e a capacidade do reservatório.

Silans (2003) discutiu técnicas para redução da evaporação em açudes e algumas tecnologias têm sido propostas baseadas em filmes plásticos, porém ainda sem comprovada eficiência e viabilidade, particularmente quando se consideram os usos múltiplos dos recursos hídricos.



Fonte: Adaptado de Antonino & Audry (2001)

Figura 1.1 Perfil típico de uma vazante de açude

A qualidade da água dos açudes apresenta elevada sazonalidade, estando sujeita a estratificações verticais de qualidade. Suassuna & Audry (1995) realizaram amplo estudo de caracterização da qualidade da água dos pequenos açudes do Nordeste, e apontaram os riscos de degradação, caso não ocorram uma circulação hídrica devida e a renovação de suas águas. Tal problemática também está presente em açudes de maior porte nos quais as comportas de fundo desempenham papel fundamental para descarga de sedimentos e sais dissolvidos nas camadas mais profundas. Vários são os casos no semiárido onde tais descarregadores de fundo se encontram com mal funcionamento, sejam permanentemente abertos (gerando desperdício de água), ou permanentemente fechados (impedindo a renovação das águas). As Figuras 1.2A e B apresentam duas situações típicas, ambas no Estado de Pernambuco.

Outro aspecto que deve ser ressaltado é o impacto promovido pelos açudes nas bacias hidrográficas circunscritas, nem sempre devidamente avaliado, sobremaneira no caso de pequenos barreiros. Com efeito, a disseminação indiscriminada de pequenos reservatórios é capaz de promover efeitos negativos em outros usuários, particularmente nos de jusante, interferindo na gestão da água em escala de bacia.

Verificam-se elevada densidade de pequenos açudes no semiárido e a necessidade de investigação do impacto nesses açudes sobre a geração de escoamento nas bacias hidrográficas. Com tal objetivo, Silans et al. (2000) desenvolveram o modelo

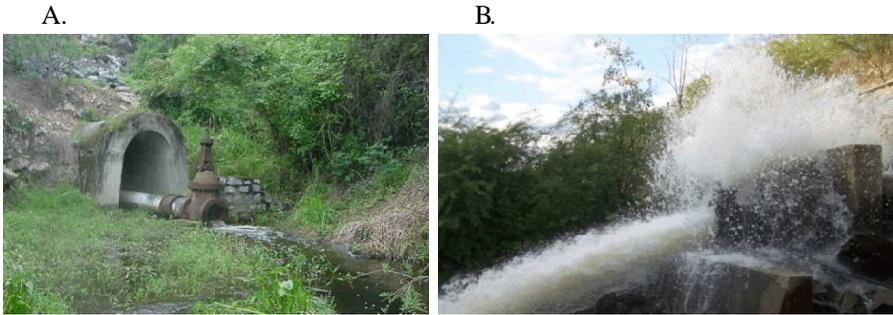


Figura 1.2 Descarga de fundo obstruído no Açude de Pão de Açúcar, Pesqueira, PE (A) e com registro defeituoso no Açude Barra de Juá, Floresta, PE (B)

AÇUMOD, especificamente para o semiárido nordestino; trata-se de um modelo distribuído conceitualmente que simula o processo de transformação da chuva em vazão. Uma importante característica deste modelo é que ele realiza o balanço hídrico dos elementos hidráulicos (açudes e captações d'água) existentes. Assim, o modelo permite simular os efeitos desses elementos no regime de escoamento de uma bacia hidrográfica, constituindo-se em uma relevante ferramenta de apoio ao planejamento dos recursos hídricos.

Em muitos casos, as diretrizes básicas da política de recursos hídricos no que se refere ao uso múltiplo e à prioridade para abastecimento humano em períodos de escassez, não são devidamente observadas. Diversas são as situações nas quais a água é acumulada para atendimento a demandas de irrigação em detrimento da liberação de vazão para abastecimento de populações de jusante. São tais situações que têm motivado o poder público a fortalecer a participação social nos comitês de bacia hidrográfica e criar instâncias como os Conselhos dos Usuários dos Açudes, em que as comunidades possam debater e avaliar seus problemas e buscar alternativas para as devidas soluções.

Perfuração de poços: As águas subterrâneas são estratégicas naturalmente protegidas de agentes poluidores e da evaporação. Entretanto, a potencialidade de águas subterrâneas do Nordeste é bastante limitada devido à predominância de embasamento cristalino. Os poços perfurados no cristalino nordestino, para aproveitar água de suas fraturas, apresentam, em geral, vazão limitada, muitas vezes inferiores a $2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Várias têm sido as ações do Estado com vista à perfuração de poços no cristalino, a maioria delas equivocada, face não apenas à limitada vazão segura de exploração mas também à qualidade inferior de tais águas. Suassuna & Audry (1995) realizaram ampla caracterização das águas dos poços no Nordeste brasileiro e verificaram a predominância de águas apresentando problemas de salinidade e sodicidade. Recentemente, Cruz et al. (2010) investigaram a qualidade das águas subterrâneas no Estado de Sergipe para suporte à expansão desejável da agricultura

familiar, constatando que 75% das águas apresentam elevada salinidade, limitando seu uso. Devem ser mencionadas, também, as bacias subterrâneas sedimentares do Nordeste, as quais podem permitir captação anual da ordem de 20 bilhões de m³, segundo Rebouças (1997). Embora possuam alto potencial, ressalta-se que tais bacias apresentam distribuição espacial concentrada principalmente no Piauí e na Bahia, visto que se situam a grandes profundidades, da ordem de centenas de metros, limitando a viabilidade econômica da sua exploração.

Uma alternativa bastante utilizada para usos em escala local e de caráter familiar, diz respeito aos poços de grande diâmetro (denominados cacimbões ou “Poços Amazonas”), perfurados nos vales aluviais dos rios e riachos intermitentes. Conforme o levantamento de Suassuna & Audry (1995), as águas subterrâneas dos aquíferos aluviais também apresentam, muitas vezes, salinidade e sodicidade elevadas; entretanto, os aquíferos aluviais apresentam mecanismos de renovação e diluições relativamente rápidos, quando comparados aos aquíferos fraturados de cristalino, a depender da sazonalidade das precipitações pluviométricas.

Em vales aluviais, os poços têm desempenhado importante suporte à irrigação de pequena escala de base familiar e para dessedentação animal. Montenegro et al. (2003c) descrevem a dinâmica de recarga subterrânea em vale aluvial na Bacia do Rio Ipanema, em Pernambuco, e a sazonalidade de suas águas, apontando para seu potencial hídrico. Deve-se mencionar, porém, a elevada variabilidade espacial de textura do solo, salinidade e condutividade hidráulica dos vales aluviais, conforme mencionado em Montenegro & Montenegro (2006), requerendo levantamento, mapeamento e monitoramento de suas características químicas que indiquem locais e épocas mais propícias para a exploração de suas águas. Outro aspecto relevante é a vulnerabilidade de tais vales a ações antrópicas, associadas à prática agrícola, conforme salientado por Burte et al. (2003), para vale aluvial no Ceará.

Verifica-se carência de ações das Instituições, Conselhos e Comitês, no que tange ao gerenciamento integrado dos vales aluviais, de modo a disciplinar o uso e a exploração. Observam-se casos de exploração excessiva de Poços Amazonas, os quais são poupados (devido à sua baixa vazão, em geral) da concessão de outorga por direito de uso, causando elevados rebaixamentos potenciométricos. A Figura 1.3 ilustra caso de comercialização de água subterrânea em vale aluvial no município de Pesqueira, sem controle público ou comunitário. Estima-se que cerca de 300 m³ de água sejam comercializados diariamente a partir deste poço Amazonas, o que pode ser considerado elevado frente à realidade da região. O valor cobrado é de R\$ 1,00 por metro cúbico de água, gerando uma receita bruta de R\$ 300,00 por dia. Este valor unitário é similar ao estimado pelo Banco Mundial para o Nordeste Brasileiro (World Bank, 1990)

Um aspecto relevante que deve ser mencionado é a importância do bombeamento através de Poços Amazonas do lençol freático aluvial, como alternativa de drenagem vertical, contribuindo para a renovação e circulação das águas. Este processo de drenagem é ainda mais significativo nos casos em que estão instaladas barragens subterrâneas, como será visto a seguir. Há cerca de 20 anos o cientista João Suassuna,



Figura 1.3 Comercialização de água subterrânea aluvial no semiárido, com captação a partir de poço tipo Amazonas, requerendo disciplinamento de órgãos gestores de recursos hídricos

da Fundaj-PE, alertava para os equívocos da perenização das águas do semiárido, produzindo salinização de água e do solo ressaltando, assim, a relevância da circulação hídrica e da drenagem, tanto em nível superficial quanto no subterrâneo.

Um dos principais desafios desta política pública é a vazão limitada de produção desses poços, tanto dos de cristalino quanto dos de aluvião, com relação aos quais é oportuno mencionar metodologia adotada pelo Serviço de Extensão Rural de Pernambuco, através da extinta CISAGRO, a qual implementou poços Amazonas com ponteiros radiais, de modo a incrementar a área útil de captação e reduzir a altura dos cones de rebaixamento, ao mesmo tempo expandir seu raio. Uma das áreas piloto beneficiadas com o sistema foi um perímetro irrigado de base familiar, em aluvião, adotado como área de assentamento rural do Estado de Pernambuco, denominado Fazenda Nossa Senhora do Rosário. A Figura 1.4 apresenta esquema construtivo das ponteiros radiais.

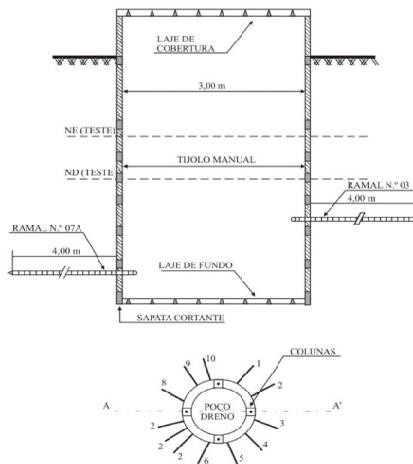


Figura 1.4 Desenho esquemático típico de Poço Amazonas, com ponteiros radiais

As ponteiros radiais raramente têm sido adotadas nas instalações mais recentes, possivelmente por requererem suporte metodológico e tecnológico não disponível a agricultores familiares.

Em verdade, faltam incentivos e diretrizes públicas no sentido de incrementar a exploração racional de vales aluviais no semiárido nordestino, incluindo a adoção de técnicas de recarga artificial, com estruturas de pequeno porte e baixo custo, adequadas aos aluviões. Como relevante publicação no assunto pode ser citado o Workshop de Recarga Artificial de Tempe, no Arizona. Dentre os artigos publicados nesta conferência podem ser recomendados os Hoffmann & Steinkampf (1999) e Anderson et al. (1999).

Construção de cisternas rurais: A captação de águas de chuva tem elevada importância para a população difusa do semiárido, devendo estar voltada, prioritariamente, para o uso doméstico, a partir da captação em telhados. As técnicas de captação, armazenamento e manejo da água da chuva ganharam forte impulso a partir da década de 90, com o estabelecimento de Programas Governamentais e Não-governamentais na construção de cisternas rurais, em particular a cisterna de placas, em todo o semiárido brasileiro. No meio acadêmico nacional as técnicas foram mais amplamente discutidas e aperfeiçoadas a partir da criação da Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva- ABCMAC, esforço conjunto da Embrapa Semiárido, IRPAA (Instituto Regional de Pequena Agricultura Apropriada) e UFRPE.

Gnadlinger (2000) apresenta ampla revisão das metodologias utilizadas em todo o mundo, incluindo os sistemas de captação utilizados na região de Petrolina, PE, e Juazeiro, BA. Programa Governamental de destaque no assunto é o denominado “Programa 1 milhão de Cisternas”- PIMC, cuja meta é a disseminação de cisternas de placa no semiárido, com participação direta da Agência Nacional de Águas- ANA, bem como de ONG’s. Este Programa tem ampliado a oferta de água para a comunidade dispersa e melhorado as condições de vida das famílias. Mesmo tendo aumentado os volumes de água, o Programa ainda carece de ações efetivas no tocante à qualidade da água armazenada. Algumas comunidades contam com a participação e orientação de agentes de saúde porém programas de monitoramento e controle de qualidade ainda estão longe de serem efetivos.

De modo a possibilitar também cultivos de hortas e pomares, tem-se incentivado a captação de água em pisos impermeabilizados (calçadões), com pedra ou cimento, destinando essas águas para os animais e plantas. Pretende-se, assim, melhorar a renda e agregar maior valor à água captada. Esta metodologia, denominada P1+2, está em expansão na região. A Figura 1.5 apresenta vista do sistema integrado, com cisterna adaptada. Segundo Lima (2007), com a água de uma cisterna de 16 mil litros (outra que não é a de consumo doméstico) é possível irrigar pequenas áreas como um “quintal produtivo” de 10 m² de verduras, regar mudas ou ter água para pequenos animais.



Fonte: Lima (2007)

Figura 1.5 Sistema de captação de água de chuva implementado pela ASA (Articulação para o Semiárido), integrando quintal produtivo, para horta e pequenos animais. Programa “Uma Terra e Duas Águas (P1+2)”

Para avanços efetivos nas ações de captação, experiências de sucesso oriundas de outros países devem ser debatidas, adaptadas e difundidas. Cabo Verde, a título de exemplo, possui vários sistemas de captação e conservação de água de chuva, os quais têm sido apresentados no contexto do projeto em rede financiado pela Finep, denominado CISA (Cooperação Internacional para o Semiárido). Dentre as Universidades integrantes estão a UFPE, a UFCG, a UFBA, a UFRN, a UFAL e a UFRPE, no Brasil, além da Texas Tech University, dos EUA, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, de Portugal, e órgãos gestores de Cabo Verde. A Figura 1.6A apresenta dispositivo de captação de larga escala, enquanto a Figura 1.6B apresenta dique de captação, a jusante de vertedor, ambos implantados em Cabo Verde.

Do ponto de vista de dimensionamento dessas estruturas de captação para apoio às políticas públicas associadas, devem ser fomentados mais estudos para incremento

A.



B.



Fotos da Dra. Ângela Moreno, coordenadora local do projeto CISA/ Finep

Figura 1.6 Placa de captação e sistema de armazenamento (A) e dique de captação de água de chuva (B), em Cabo Verde

de sua eficiência. Algumas publicações recentes apontam para esta demanda, cabendo citar Gama et al. (2009), com relação a balanço hídrico em cisternas, e Dornelles et al. (2010), abordando questões técnicas para o funcionamento adequado de reservatórios de captação e seu dimensionamento para atendimento à demanda, de modo a evitar o comportamento deficitário de tais estruturas.

Implantação de barragens subterrâneas: As barragens subterrâneas são dispositivos de impermeabilização total ou parcial do fluxo, construídos transversalmente aos vales aluviais, de modo a interceptar o escoamento em subsuperfície. São indicadas em vales que apresentem reduzida espessura da zona saturada e cujas águas não possuam altos teores de sais dissolvidos. A Figura 1.7A ilustra a instalação de um septo impermeável da barragem, o qual deve ser assentado sobre o embasamento cristalino enquanto a Figura 1.7B apresenta fotografia de aproveitamento de aluvião com barragem subterrânea.



Figura 1.7 Abertura de trincheira para construção de barragem subterrânea (A) e vista de septo de lona plástica já instalada (B)

Vários são os exemplos bem-sucedidos de barragens subterrâneas que possibilitaram cultivos diversos, dentre eles de hortaliças. Várias organizações não-governamentais vêm atuando na instalação de tais dispositivos.

Salientam-se, porém, os riscos associados a tais dispositivos, particularmente o de provocar a salinização do solo em áreas com águas subterrâneas com média a alta salinidade. Com efeito, os septos tendem a elevar os lençóis freáticos, aumentando o fluxo por ascensão capilar para a superfície. Desta forma, é necessário, conduzir bombeamentos em taxas elevadas, de modo a promover a drenagem vertical do aquífero associado. Além disso, deve-se controlar as lâminas de irrigação dos cultivos à montante das barragens, para não promoverem elevadas lavagens do perfil, que tenderiam a atingir a zona saturada e, então, salinizar as águas armazenadas. A Figura 1.8A apresenta evidências de ascensão capilar a partir de lençol freático raso, e um esquema de funcionamento da técnica das barragens subterrâneas. Note-se que na

Figura 1.8B há duas alternativas para a cota de coroamento do septo impermeável: a mais elevada incrementa a capacidade de armazenamento, mas aumenta também os riscos de salinização; na cota mais baixa tem-se uma espessura saturada do freático menor e, em contrapartida, menor risco de salinização secundária do aluvião. Ressalta-se ser esta última opção (mais segura e sustentável) raramente utilizada.

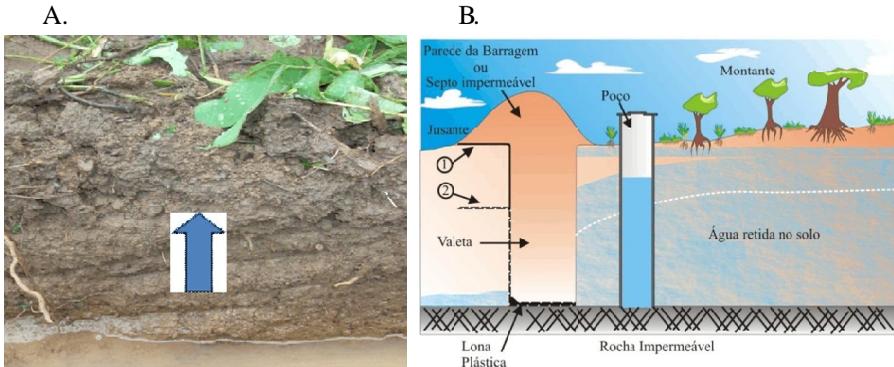


Figura 1.8 Evidência de ascensão capilar (A) e desenho esquemático em perfil de um vale aluvial com barragem subterrânea, podendo-se notar duas cotas possíveis para o coroamento do septo de impermeabilização (B)

Dessalinização e aproveitamento de água salobra: Conforme já discutido, as águas superficiais e subterrâneas no Nordeste Brasileiro possuem, em geral, elevadas concentrações iônicas, conferindo elevada salinidade a qual pode estar acompanhada de alcalinidade igualmente alta. Os íons predominantes são o sódio e o cloreto. Conforme verificado por Audry & Suassuna (1995), as águas subterrâneas do cristalino são predominantemente salobras, requerendo tratamento para sua utilização e potabilidade.

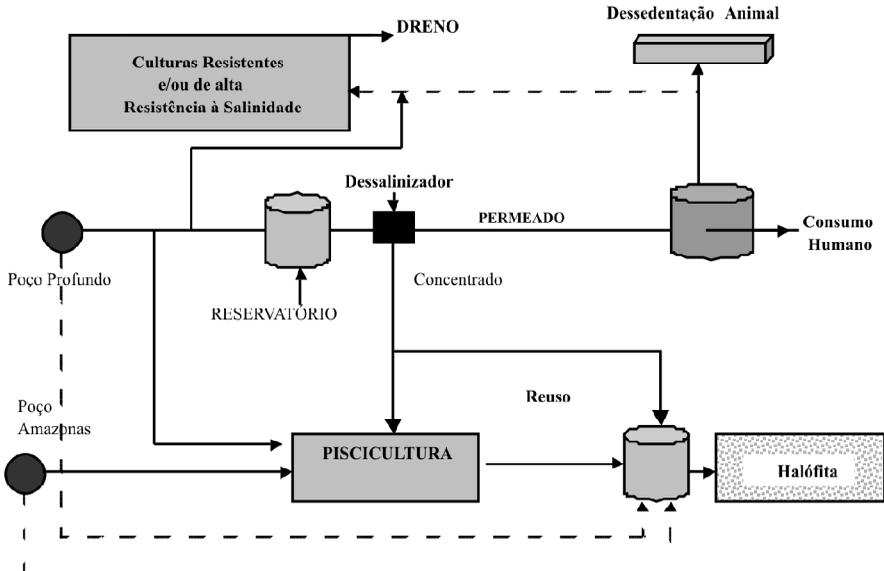
Neste sentido, a União tem apoiado e disseminado o uso de dessalinizadores com sistema de tratamento por osmose reversa. Ações governamentais, tanto federais quanto estaduais têm multiplicado a instalação de dessalinizadores, associados a poços de cristalino, podendo ser citado o “Programa Água Doce”, com envolvimento da Embrapa e UFCG, ligado ao Ministério do Meio Ambiente.

Várias comunidades rurais têm-se beneficiado com o sistema embora se deva ressaltar que os custos de manutenção e operação dos dessalinizadores ainda são muito elevados, em particular com relação às membranas utilizadas. Por outro lado, as vazões reduzidas, típicas dos poços de cristalino, limitam as disponibilidades de água doce tratada. Adicionalmente, há um grande desafio ambiental relacionado ao processo de tratamento, que é a produção de rejeito com elevada concentração de sais, o qual não pode ser lançado diretamente ao solo ou corpos d’água, sob pena de causar forte impacto ao meio ambiente.

Os fatores supracitados (elevado custo de manutenção, baixo rendimento, geração de rejeitos salinos) se têm constituído nos maiores desafios desta política pública requerendo, deste modo, um modelo de gestão próprio e descentralizado, com forte participação dos usuários e que amplie as alternativas de uso da água, de maneira que o sistema atinja, de forma integrada, sua viabilidade econômica. Tal desafio ainda permanece até os dias atuais.

Diferentes avanços metodológicos e tecnológicos foram obtidos por Institutos de Pesquisa e Universidades, para incrementar o aproveitamento das águas salobras oriundas dos dessalinizadores, fornecendo apoio tecnológico a esta política no sentido de agregar maior valor econômico ao processo de dessalinização. Montenegro et al. (2003b) apresentam a experiência do Instituto Xingó e UFRPE, duas das Instituições pioneiras na utilização dos rejeitos para produção de halófitas (*Atriplex Nummularia*) e Tilápia, em nível de pequena comunidade rural, no município de Poço Redondo, SE. A Figura 1.9 apresenta um esquema integrado de aproveitamento das águas oriundas do processo de dessalinização, adotado e disseminado pelo Instituto Xingó, em parceria com o Departamento de Tecnologia Rural e com o Departamento de Pesca, ambos da UFRPE.

A Embrapa Semiárido tem desenvolvido relevantes estudos no tocante a alternativas de aproveitamento dos rejeitos, merecendo destaque os tanques de evaporação de águas salobras, de modo a possibilitar o aproveitamento do sal presente. O leitor interessado em aprofundar o conhecimento sobre o potencial de



Fonte: Montenegro et al. (2003c)

Figura 1.9 Esquema de aproveitamento integrado de águas oriundas do processo de dessalinização

produção de Atriplex a partir de rejeitos pode consultar Porto et al. (2006), enquanto a eficiência de fitorremediação promovida pela Atriplex está descrita, por exemplo, em Leal et al. (2008).

Ainda com relação a alternativas de aproveitamento de águas salobras no semiárido, cabe mencionar a hidroponia. Dentre os recentes estudos abordando esta técnica para a produção de hortaliças, podem ser consultados Santos et al. (2010a), que apresentam resultados promissores capazes de incrementar a segurança alimentar e nutricional das pequenas populações rurais.

Relevantes contribuições ao manejo agrícola de cultivos utilizando águas salinas têm sido desenvolvidas nas Universidades do Nordeste, ampliando-se o conhecimento sobre o reúso de água para a irrigação e investigando lâminas de irrigação capazes de maximizar a eficiência do uso da água. Pode ser citado o trabalho de Carvalho et al. (2011) no qual os autores avaliaram o efeito da cobertura morta e de intervalos de irrigação utilizando água moderadamente salina sobre a produtividade do repolho e sobre suas variáveis relacionadas, em vale aluvial no semiárido; Eloi et al. (2011) investigaram o efeito de diferentes níveis de salinidade no solo provocados pelo uso da fertirrigação, nas características de frutos do tomateiro; Medeiros et al. (2011) estudaram o efeito de diferentes níveis de salinidade da água de irrigação na produção e qualidade do melão Cantaloupe híbrido “Sedna”, e verificaram que o incremento do nível de salinidade na água de irrigação influenciou negativamente o rendimento do híbrido de melão, enquanto Gurgel et al. (2010) avaliaram o efeito de duas águas de salinidades diferentes sobre o crescimento do meloeiro (*Cucumis melo* L.) e concluíram que, em geral, o crescimento do melão foi favorecido com o uso de água mais salina. Por outro lado, Nery et al. (2009) estudaram os efeitos da salinidade da água de irrigação sobre o crescimento do pinhão-manso em ambiente protegido e verificaram que a planta apresentou crescimento reduzido com a aplicação de água mais salina. Deste modo, ainda há significativo debate sobre o potencial de uso das águas salobras na agricultura irrigada cabendo, portanto, investimentos e fomentos para que avanços efetivos possam ser devidamente implementados em escala regional.

Reaproveitamento de águas servidas: As águas servidas de origem doméstica são abundantes nos aglomerados urbanos e na zona rural das regiões semiáridas e se constituem em desafios para os serviços de saneamento básico, frente aos elevados custos para implantação de sistemas de coleta e tratamento e, ao mesmo tempo, às ameaças à saúde pública e aos riscos de poluição e contaminação dos corpos hídricos.

As políticas públicas dos setores de meio ambiente e saneamento apontam para o enquadramento dos corpos d'água quanto aos usos pretendidos, o que implica em restrições aos lançamentos de cargas poluidoras nos cursos d'água (em sua grande maioria intermitentes) e reservatórios, particularmente no contexto de usos múltiplos, priorizando o abastecimento humano e a dessedentação animal.

Pesquisas relativas ao aproveitamento hidroagrícola de águas servidas têm sido ampliadas significativamente nos últimos anos, em sinergia com as políticas de saneamento e diretrizes voltadas para técnicas de tratamento simplificado.

As Universidades e Centros de Pesquisa têm desenvolvido estudos e aprimorado tecnologias para os tratamentos simplificados de águas servidas e para a disposição controlada de esgotos com tratamento primário ou secundário ao solo.

Dentre as pesquisas objetivando a produção agrícola com águas residuárias, podem ser citados Silva (2007), para a produção de milho, Souza et al. (2010a), para a produção de mamona, e Miranda (2010), com produção de algodão colorido. Constatou-se, na última pesquisa, que a adoção de esgoto com tratamento secundário em reatores UASB, para cultivo de algodão dispensou o uso de adubação orgânica, tendo em vista os nutrientes presentes em tal água; já Silva (2010) constatou a importância do esgoto de tratamento secundário (também tratado em reatores UASB) na produção de mamona variedade Energia, no semiárido de Pernambuco, abordando também culturas oleaginosas cultivadas com esgoto doméstico tratado, devendo-se mencionar as contribuições científicas de Souza et al. (2010b) e Nobre et al. (2010), ambas abordando o cultivo do girassol.

A Figura 1.10A apresenta uma vista de unidade piloto de reúso hidroagrícola de esgoto, na comunidade de Mutuca, Pesqueira, PE, onde o estudo de Miranda (2010) foi desenvolvido. Esta unidade é resultante de parceria do Governo Federal (através do CNPq e Ministério da Ciência e Tecnologia), do Governo Estadual de Pernambuco (através da Secretaria de Recursos Hídricos), do Governo Municipal (Secretarias de Educação e Agricultura de Pesqueira-PE), e Universidades Federais (UFRPE e UFPE, com atuação também da UFCG); já a Figura 1.10B apresenta a unidade piloto de reúso hidroagrícola de esgoto, no município de Ibimirim, PE, onde a pesquisa de Silva (2010) foi realizada, em parceria com o CNPq, a UFRPE, a UFCG e com a Prefeitura Municipal.

Não obstante os esforços dos Programas de Pós-Graduação da região em produzir informações relacionadas ao uso controlado de águas residuárias na agricultura

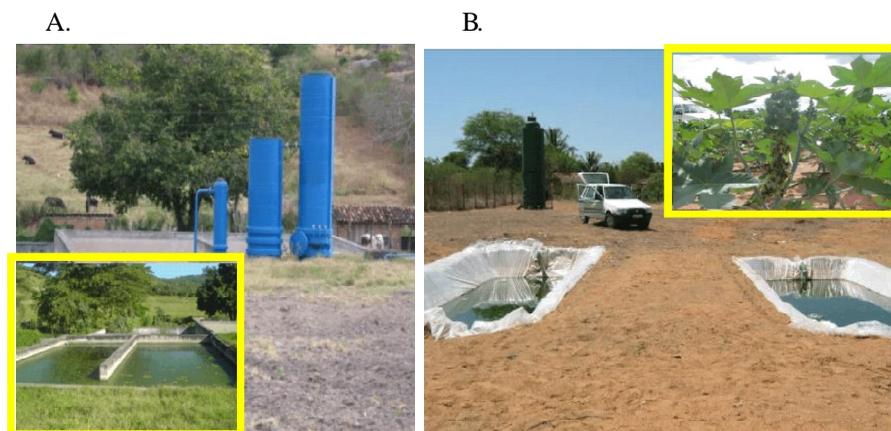


Figura 1.10 Unidade de aproveitamento hidroagrícola utilizando esgoto, em Mutuca, PE (A) e Ibimirim, PE (B)

como alternativa de tratamento, ainda são incipientes as ações dos Órgãos setoriais de saneamento na incorporação dessas tecnologias nos sistemas de tratamento. Conforme ressalta Cirilo (2010), a reutilização de efluentes de esgotos ainda é muito tímida e inexpressiva, resumindo-se a projetos piloto, necessitando de ampla inserção junto aos órgãos setoriais e de gestão, além da inclusão em novos projetos de saneamento básico, principalmente para os pequenos aglomerados urbanos.

Transporte de água a grande distâncias- Adutoras e Canais: Para este caso, particularmente visando suprir o abastecimento humano, tem-se adotado a construção de adutoras conforme recomenda Cirilo (2008). Essas adutoras captam água a partir de reservatórios de grande porte ou de poços profundos instalados em áreas sedimentares.

Vários são os exemplos de obras deste tipo no semiárido, como o Canal da Integração, no Ceará, e ampla rede de adutoras no Rio Grande do Norte. Outro importante sistema é o da Adutora do Pajeú, que deverá atender a 19 municípios de Pernambuco.

Adicionalmente, merecem destaque os canais da transposição do Rio São Francisco, objetivando conduzir água para os Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Essas águas serão destinadas, prioritariamente, ao consumo da população urbana de 390 municípios do agreste e sertão. Em anos nos quais o armazenamento do reservatório de Sobradinho superar sua capacidade, as vazões derivadas poderão contribuir para usos múltiplos. Mais detalhes sobre o projeto podem ser encontrados em Brasil (2000) e em Cirilo (2008). Amplo debate tem-se desenvolvido em torno deste projeto, face à urgência de ações amplas de revitalização na bacia do São Francisco e à urgência de se ampliar as ações voltadas para o aumento da eficiência no uso da água e controle nas perdas por condução, questionando-se também sua viabilidade econômica.

1.3.3 Apoio tecnológico à implementação das políticas públicas de recursos hídricos

Sempre que se tornou clara a necessidade de aproveitamento dos recursos hídricos de forma integrada e com múltiplos usos, conforme previsto nos fundamentos da Lei 9.433/97, além do surgimento de vários estudos e pesquisas no meio científico relacionados à gestão dos recursos hídricos, observou-se um crescente esforço dos Ministérios da Ciência e Tecnologia e da Educação em fomentar investigações de P&D que buscassem uma eficiência maior no uso da água, ao mesmo tempo em que permitissem avanços no tocante à proteção ambiental dos ecossistemas. Um dos aspectos prioritários diz respeito à formação de recursos humanos. A formação técnica e profissional em recursos hídricos tem-se ampliado além dos cursos de Engenharia civil, envolvendo gradualmente cursos e Programas interdisciplinares, voltados para a Engenharia Agrícola e Engenharia Ambiental, contemplando aspectos setoriais como energia, água potável, conservação do solo e água, saneamento e manejo da irrigação. Na última década ações importantes no tocante a pesquisas integradas à

realidade brasileira foram implementadas, buscando-se reduzir diferenças regionais e ao mesmo tempo fomentar a interação e à cooperação entre pesquisadores e Instituições. Redes de pesquisa e Programas multidisciplinares foram consolidados, podendo-se citar a Rede PROSAB (na área de saneamento) e a Rede REHISA (na área de hidrologia experimental no semiárido) e também o Programa Xingó, desenvolvendo pesquisas e extensão no semiárido e contando com a atuação de seis universidades do Nordeste.

Gradualmente, motivados em parte pelos fundamentos da política nacional de recursos hídricos, preconizando a participação de diferentes atores sociais no processo decisório, os Programas e incentivos de fomento ampliaram as concessões de bolsas, passando a abrigar, de modo crescente, ações de extensão e transferência de tecnologia. Criou-se, assim, um ambiente propício à ampliação da ação tecnológica, multidisciplinar e integrada, direcionando Editais de Fomento voltados para pesquisas em Rede, devendo-se citar a Rede Sul-Americana coordenada pela UFRB, que reúne pesquisadores do Nordeste do Brasil, Chile, Argentina, Equador e Bolívia, voltados para o debate e proposição de técnicas de manejo e busca da sustentabilidade da irrigação em regiões áridas e semiáridas.

1.3.4 Monitoramento participativo e sistemas de alerta

O monitoramento de recursos hídricos é essencial para um planejamento adequado e gestão das águas, devendo incluir aspectos de infraestrutura, quantidade e qualidade. Deve ser considerado um instrumento essencial da política das águas, haja vista estar inserido em Legislações Estaduais, como na Lei das Águas do Estado de Pernambuco (Lei 12.984/2005).

Considerando que um dos fundamentos da política de recursos hídricos é a gestão descentralizada com a participação do Poder Público e dos usuários, é notória a relevância do monitoramento também ocorrer de maneira descentralizada, de forma a consolidar a consciência social relativa ao uso racional promovendo, desta maneira, ações de educação ambiental. Dentre as possibilidades para implementação deste modelo de gerenciamento estão as medições pluviométricas manuais, sobretudo na zona rural, medições climatológicas em estações simplificadas, monitoramentos relativos à água subterrânea (prioritariamente nível potenciométrico e condutividade elétrica) e medições fluviométricas (particularmente nível e concentrações de sedimentos).

Para viabilizar um monitoramento adequado e descentralizado, é imprescindível haver integração entre as Instituições Públicas responsáveis pela atividade, Universidades, Órgãos de Assistência Técnica, além da interação entre as esferas federal, estadual e municipal, de modo a promover a capacitação de técnicos locais possibilitando que os mesmos atuem como agentes locais de água.

Para exemplificar, a Unidade de reúso da Figura 1.10A dispõe de estação climatológica com “display”, para que as informações possam ser utilizadas nas aulas de Ciências e Matemática do Ensino Fundamental no município. Conduz-se,

assim, um modelo de gestão integrado, com monitoramento conduzido por professora municipal (prefeitura), em projeto operado pela SRH-PE, e condução de extensão e cultivos pela UFRPE/UFCG/UFPE, com a participação federal (através das Universidades) no treinamento, acompanhamento e análise das informações.

Fica claro, mais uma vez, que para uma condução adequada da política de recursos hídricos a integração com as políticas de educação e de meio ambiente é essencial.

Adicionalmente, deve ser ressaltada a necessidade de monitoramento da infraestrutura hídrica e hidráulica, constituída de açudes, canais, sistemas de irrigação, estações de medição, implantadas ao longo de vários anos, empregando-se diferentes tecnologias, requerendo atenção especial tanto à sua segurança quanto a prováveis impactos sociais e ambientais, que possam ocorrer. Vieira (2003) resalta a necessidade de um sistema de monitoramento e controle dessas obras, destacando:

- A criação e atualização permanente de cadastro técnico das obras e estruturas;
- A realização de manutenção preventiva das obras, inclusive para incrementar sua segurança e prevenir a ocorrência de catástrofes;
- A definição e atualização de uma estratégia de operação adequada tanto aos períodos normais quanto aos períodos de escassez.

Fica evidente a necessidade de alinhamento entre as diretrizes de recursos hídricos e aquelas relativas à irrigação, tanto em nível de grandes perímetros irrigados quanto de pequenos perímetros, de base familiar. Para que tal alinhamento ocorra efetivamente faz-se mister um diálogo contínuo entre os usuários e os Serviços de Assistência Técnica, além do envolvimento de Órgãos Federais, tais como DNOCS e CODEVASF, no semiárido brasileiro.

As estratégias de monitoramento devem contribuir, então, para ampliação do conhecimento relativo ao meio-ambiente, ampliação da base de dados disponíveis, sendo essencial para o estabelecimento de sistemas de alerta com relação a eventos extremos, de seca e de enchentes. Entram em cena dois outros aspectos de fundamental relevância: a comunicação e a transmissão de dados, para permitir a tomada de decisão. Investimentos elevados têm sido realizados pelos governos, em especial pelos federal e estadual, para instrumentação automática de bacias hidrográficas no semiárido, visando ao monitoramento em tempo real, de variáveis hidrológicas e agroclimatológicas. Além das universidades e das Secretarias Estaduais de Recursos Hídricos, a Agência Nacional de Água- ANA vem implementando sistemas de medição e transmissão de informações, os quais são disponibilizados em páginas de internet. Espera-se que tais sistemas contribuam para a tomada de decisão na gestão de recursos hídricos e que haja uma articulação devida com os setores da defesa civil. Conforme destaca Vieira (2003), já se dispõe de tecnologia adequada à previsão de enchentes (antecedência e permanência), sendo necessário que os órgãos gestores e as universidades garantam assistência técnica aos Comitês e Associações, para que os sistemas de alerta sejam instalados e devidamente operados.

1.3.5 Integração do planejamento e regionalização

Muito se avançou com relação à implementação da política de recursos hídricos aos planos diretores de bacias e à condução da gestão descentralizada da água. Entretanto, ainda se faz conveniente ampliar a interlocução das diferentes esferas de governo (federal, estadual e municipal), permitindo maior atuação dos estados e municípios, em sintonia com as demandas da sociedade. Além desta integração vertical cabe salientar a importância da articulação interinstitucional dos órgãos gestores da oferta de água com os órgãos setoriais dos diversos usos, como abastecimento, irrigação e aquicultura.

Além das integrações supracitadas, ressalta-se a importância da estruturação de um sistema regional de ação, conforme sugerido por Vieira (2003). Faz-se relevante a criação de uma Câmara do semiárido tal como, também, de mecanismos de cooperação entre os Comitês de bacias e as Agências de água na região em que possam ser debatidos temas relacionados às especificidades do semiárido, possibilitando e induzindo ações conjuntas interestaduais, definidas e conduzidas através de Fóruns Regionais.

1.3.6 Controle de processos de desertificação e enfrentamento das mudanças climáticas

A região semiárida do Nordeste apresenta elevada vulnerabilidade aos processos de desertificação, em virtude das suas condições climáticas e de fatores antrópicos. Várias políticas federais e estaduais têm sido desenvolvidas em torno do tema, buscando o controle de processos erosivos e a proteção dos recursos hídricos, da vegetação e da biodiversidade. O Ministério do Meio Ambiente tem fomentado diversas iniciativas, como o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação, buscando redução da pobreza e conservação além do manejo sustentável dos recursos naturais. A gestão dos recursos hídricos e a segurança hídrica são reconhecidas como temas indispensáveis na construção de um programa de combate à desertificação amplo, especialmente quando se consideram as consequências do aquecimento global sobre as regiões semiáridas, cujas secas favorecem a desertificação.

Nessas regiões, entretanto, inúmeras iniciativas ainda são pontuais e descontinuadas, impossibilitando avanços estruturadores; é o que se verifica, por exemplo, no tocante à proteção da caatinga e ao controle do desmatamento, associados a uma política fundiária e de desenvolvimento humano ainda incipiente com referência, em particular, às áreas de assentamento rural. As atividades agrícolas, sobretudo no contexto da agricultura familiar, continuam sendo em sua maioria, desenvolvidas com baixo nível tecnológico não obstante os desenvolvimentos tecnológicos nas Instituições de pesquisa e nas Universidades. A expansão da fronteira agrícola tem ampliado os riscos de desertificação, como discutido por Barbosa et al. (2009), analisando as alterações na cobertura vegetal e as perdas de vegetação nativa, no semiárido da Paraíba. Ações de manejo e conservação do solo são cada vez mais

urgentes, já havendo produção científica nacional consolidada que aponte para alternativas apropriadas e de baixo custo, podendo-se citar os trabalhos de Andrade et al. (2009), empregando culturas de cobertura para manutenção da qualidade física do solo cultivado com milho, e os artigos de Fidalski et al. (2010) e Santos et al. (2010b), relativos à importância da cobertura morta para incremento da umidade do solo. Conforme apresentado por Santos et al. (2008), a ausência de práticas conservacionistas no semiárido induz a uma perda elevada de água, de solo e de nutrientes, dentre eles o carbono orgânico, comprometendo a sustentabilidade da região.

Recentes análises do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) ratificam que, nos últimos anos, está ocorrendo um aumento na temperatura média no planeta e que os eventos extremos vêm acontecendo com maior frequência e intensidade. O tema mudança do clima já faz parte da realidade política e econômica internacional, com repercussão multisetorial, requerendo investigações, desenvolvimentos científicos e adoção de inovações. De acordo com o CGEE (2009), o setor ligado à ciência e à tecnologia no Brasil ainda carece de diretrizes e programas amplos que possibilitem a sustentabilidade do País no futuro, frente a previsões de aumento de temperaturas médias globais entre 2 e 4,5 °C até o final do século. Como consequência dessas mudanças, o semiárido tende a sofrer diminuição na disponibilidade de água afetando, em consequência, sua economia. Faz-se necessário e urgente o aprofundamento dos estudos sobre os cenários climáticos, vulnerabilidade e impactos sociais e ambientais e, em especial, as estratégias de adaptação da sociedade. Estudos de Santos et al. (2010bc) apontam para incremento dos índices de aridez e hídrico e redução para o índice de umidade no semiárido, até o final do século.

Conforme o IPCC (2007), os efeitos da evolução do clima sobre as vazões e recargas dos aquíferos ainda estão sujeitos a elevadas incertezas, particularmente do efeito sinérgico entre os cenários de precipitação e evaporação. Montenegro & Ragab (2010) avaliaram os impactos no escoamento superficial e recarga subterrânea na Bacia do Ipanema, Pernambuco, utilizando projeções de precipitação geradas pelos modelos CSMK3 e HADCM3, e observaram altas incertezas nas previsões. Associadas a incrementos previstos para a evapotranspiração potencial, alterações drásticas nos recursos hídricos são passíveis de ocorrer. Caso prevaleça o decréscimo na precipitação, a recarga subterrânea poderá ser reduzida em cerca de 27% para o período de 2010-2039 e o escoamento superficial em 26%, para o mesmo período. Salienta-se que ainda são pouco conhecidos os mecanismos de adaptação da vegetação diante das alterações do clima. Com efeito, Serrat-Capdevila et al. (2011) avaliaram o efeito da temperatura na evapotranspiração de alguns cultivos de semiárido e sugeriram que as taxas de evapotranspiração real permanecerão quase inalteradas devido a mecanismos de regulação estomatal, na região estudada. Este resultado aponta para a importância em se avançar em pesquisas relacionadas a perdas de água pelas plantas como, por exemplo, a investigação de Vellame et al. (2011), com relação a fluxo de seiva.

Ante os iminentes impactos das mudanças climáticas, o CGEE (2009) ressalta as seguintes medidas voltadas para o semiárido:

- Diagnóstico das Instituições e instrumentos ligados às áreas ambiental e de mudanças climáticas;
- Esforços no sentido de caracterizar a vulnerabilidade do semiárido a mudanças no uso da terra, a alterações no clima e ao conflito pelo uso dos recursos naturais;
- Investigações dos impactos das mudanças do clima sobre a biodiversidade, especialmente da caatinga, matas ciliares e matas das encostas;
- Implementação de ações integradas de Ciência, Tecnologia e Inovação, visando à segurança alimentar de territórios rurais;
- Implementação de melhoramentos tecnológicos para captação, armazenamento e tratamento de água;
- Definição, em nível de estados do governo federal, de programas de conscientização e educação ambiental sobre mudanças climáticas e vulnerabilidades.

1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A água é fator essencial de desenvolvimento socioeconômico do semiárido havendo, nesta região, elevadas restrições de disponibilidade e conflitos, pelo seu uso. Cabe mencionar o conflito entre o uso da água para agricultura e abastecimento humano. Tal situação tem induzido relevantes avanços tecnológicos voltados para o aumento da eficiência dos sistemas de irrigação e implementação de ações inovadoras relativas ao reúso de efluentes e águas servidas para produção agrícola. A política nacional de recursos hídricos tem ampliado as ações de gestão compartilhada e descentralizada, buscando garantir o uso múltiplo das águas. São inegáveis os avanços no gerenciamento dos recursos hídricos e na ampliação de disponibilidades na zona rural, embora as articulações institucionais ainda sejam modestas na região. Verifica-se a urgência de maior integração entre as políticas de recursos hídricos, de meio-ambiente, de saúde e de educação. Em particular, fazem-se necessários o fortalecimento da assistência técnica aos produtores, principalmente aos familiares, e a adoção de medidas estruturais de apropriação tecnológica, em particular no tocante à conservação de água e solo. Os cenários de mudanças climáticas para a região ressaltam a urgência de maiores investimentos em ciência, tecnologia e inovação, que propiciem convivência adequada com as incertezas futuras. Adicionalmente, a formação de recursos humanos em gestão da água nos mais diversos níveis, terá papel fundamental para o desenvolvimento harmonioso e sustentável da região semiárida nordestina.

1.5 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, Finep e CT-Hidro, pelo suporte a projetos mencionados neste capítulo; aos engenheiros Robertson Fontes e Thais Emanuelle Santos, pelo valioso apoio na elaboração deste documento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, R.; Klisch, M.; Banton, D. Aquifer storage recovery projects, The 9th Symposium on artificial recharge of groundwater, 1999. p.103-112.
- Andrade, R. S.; Stone, L. F.; Silveira, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.411-418, 2009.
- Antonino, A. C. D.; Audry, P. Utilização de água no cultivo de vazante no semi-árido do Nordeste do Brasil. Recife: CNPq. Tópicos Especiais em Recursos Hídricos e Tecnologia Ambiental, n.2, 2001. 86p.
- Barbosa, I. S.; Andrade, L. A.; Almeida, J. A. P. Evolução da cobertura vegetal e uso agrícola do solo no município de Lagoa Seca, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.614-622, 2009.
- Brasil. Ministério da Integração Nacional. Projeto de transposição de águas do rio São Francisco para o Nordeste setentrional. Brasília, DF, 2000. 10v.
- Burte, J.; Coudrain, A.; Frischkorn, H.; Chaffaut, I.; Kosuth, P. Human impacts on components of hydrological balance in an alluvial aquifer in the semiarid Northeast, Brazil. *Hydrological Sciences Journal*, v.50, p.95-110, 2005.
- Carvalho, J. F.; Montenegro, A. A. A.; Soares, T. M.; Silva, E. F. F.; Montenegro, S. M. G. L. Produtividade do repolho utilizando cobertura morta e diferentes intervalos de irrigação com água moderadamente salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.256-263, 2011.
- CGEE- Centro de Gestão de Estudos Estratégicos. Subsídios para uma agenda nacional de ciência, tecnologia e inovação relativa a vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças climáticas, Brasília: DF, 2009. 62p.
- Cirilo, J. A. C. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. *Estudos Avançados*, v.22, p.61-82, 2008.
- Cirilo, J. A. C. Água e desenvolvimento: Estudo de caso no semiárido brasileiro. Caruaru: UFPE. 2010. 74p. Tese Professor Titular
- Cruz, M. A. S.; Resende, R. S.; Amorim, J. R. A. Análise da distribuição espacial de parâmetros de qualidade das águas subterrâneas para irrigação no semi-árido do Estado de Sergipe, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.15, p.105-113, 2010.
- Dornelles, F.; Tassi, R.; Goldenfum, J. A. Avaliação das técnicas de dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água de chuva. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.15, p.59-68, 2010.
- Eloi, W. M.; Duarte, S. N.; Soares, T. M.; Silva, E. F. F. Influência de diferentes níveis de salinidade nas características sensoriais do tomate. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.16-21, 2011.
- Fidalski, J.; Auler, P. A. M.; Beraldo, J. M. G.; Marur, C. J.; Faria, R. T.; Barbosa, G. M. C. Availability of soil water under tillage systems, mulch management and citrus rootstocks. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.34, p.917-924, 2010.

- Gama, D. A.; Dantas, M. S.; Nóbrega, R. L. B.; Galvão, C. O. Monitoramento e simulação do balanço hídrico em cisternas rurais no semiárido paraibano. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 7, 2009, Caruaru. Anais... Caruaru. 2009. CD Rom
- Gnadlinger, J. Técnica de diferentes tipos de cisternas, construídas em comunidades rurais do semiárido brasileiro. Simpósio de Captação e Manejo de Água de Chuva, 1, 2000, Petrolina. Anais... Petrolina: Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva. CD-Rom
- Gurgel, M. T.; Uyeda, C. A.; Gheyi, H. R.; Oliveira, F. H. T.; Fernandes, P. D.; Silva, F. V. Crescimento de meloeiro sob estresse salino e doses de potássio. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.3–10, 2010.
- Hoffmann, J. P.; Steinkampf, W. C. A study of recharge processes in an ephemeral stream in Tucson, Arizona, Symposium on Artificial Recharge of Groundwater, 9, Tucson. Anais... Tucson. 1999. p.49-56.
- IPCC- Climate change 2007: The physical science basis. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. 2007.
- Leal, I. G.; Acioly, A. M. A.; Nascimento, C. W. A.; Freire, M. B.; Montenegro, A. A. A.; Ferreira, F. I. Fitorremediação de solo salino sódico por *Atriplex Nummularia* e gesso de jazida. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.1065-1072, 2008
- Lima, V. A. S. A ASA e o programa de formação e mobilização social para a convivência com o semi-Árido, In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 6, 2007. Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva. CD Rom
- Medeiros, D. C.; Medeiros, J. F. D.; Pereira, F. A. L.; Souza, R. O.; Souza, P. A. Produção e qualidade de Melão Cantaloupe cultivado com água de diferentes níveis de salinidade. Revista Caatinga, v.24, p.92-98, 2011
- Molle, F.; Cadier, E. Manual do pequeno açude. Recife: Sudene, 1992. 89p.
- Montenegro, A. A. A.; Montenegro, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, p.30-37, 2006.
- Montenegro, A. A. A.; Montenegro, S. M. G. L.; Antonino, A. C. D.; Monteiro, A. L. Evolução da zona saturada em agricultura de vazante- Açude Cajueiro-PE. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.8, p.93-100, 2003a.
- Montenegro, A. A. A.; Montenegro, S. M. G. L.; Marinho, I.; Silva, V. P.; Andrade, A.; Silva, J. G. Uso de Água Subterrânea Salina no cultivo de halófitas no semi-árido nordestino. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.8, p.75-84, 2003b.
- Montenegro, A. A. A.; Ragab, R. Hydrological response of a Brazilian semiarid catchment to different land use and climate change scenarios: Modelling study. Hydrological Processes, v.24, p.2705 - 2723, 2010.
- Montenegro, S. M. G. L.; Montenegro, A. A. A. Aproveitamento sustentável de aquíferos aluviais no semi-árido In: Água subterrânea: Aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento. 1.ed. Recife: UFPE, v.1, 2004, p.61-126.

- Montenegro, S. M. G. L.; Montenegro, A. A. A.; Mackay, R.; Oliveira, A. S. C. Dinâmica hidro-salina em aquífero aluvial utilizado para a agricultura irrigada familiar em região semi-árida. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, p.85-92, 2003c.
- Nery, A. R.; Rodrigues, L. N.; Silva, M. B. R.; Fernandes, P. D.; Chaves, L. H. G.; Dantas Neto, J.; Gheyi, H. R. Crescimento do pinhão-mansão irrigado com águas salinas em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.551-558, 2009.
- Nobre, R. G.; Gheyi, H. R.; Soares, F. A. L.; Andrade, L. O.; Nascimento, E. C. S. Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.747-754, 2010.
- Oliveira, F. A.; Medeiros, J. F.; Oliveira, M. K. T.; Lima, C. J. G. S.; Almeida Júnior, A. B.; Amâncio, M. G. Desenvolvimento inicial do milho-pipoca irrigado com água de diferentes níveis de salinidade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.4, p.149-155, 2009.
- Porto, E. R.; Amorim, M. C. C.; Dutra, M. T. D.; Paulino, R. V.; Brito, L. T. 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, p.97-103, 2006.
- Rebouças, A. C. Água na Região Nordeste: Desperdício e escassez. *Estudos Avançados*, v.11, p.127-154, 1997.
- Santos, A. N.; Soares, T. M.; Silva, E. F. F.; Silva, D. J. R.; Montenegro, A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.961-969, 2010a.
- Santos, D. N.; Silva, V. P. R.; Sousa, F. A. S.; Silva, R. A. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.492-500, 2010c.
- Santos, T. E. M.; Montenegro, A. A. A.; Silva Junior, V. P.; Montenegro, S. M. G. L. Erosão hídrica e perda de carbono orgânico em diferentes tipos de cobertura do solo no semi-árido, em condições de chuva simulada. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.13, p.29-34, 2008.
- Santos, T. E. M.; Silva, D. D.; Montenegro, A. A. A. Temporal variability of soil water content under different surface conditions in the semiarid region of Pernambuco State. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1733-1741, 2010b.
- Serrat-Capdevila, A.; Scott, R. L.; Shuttleworth, W. J.; Valdés, J. B. Estimating evapotranspiration under warmer climates: Insights from a semi-arid riparian system. *Journal of Hydrology*, v.399, p.1-11, 2011.
- Silans, A. M. B. P. Redução da evaporação em açudes- o estado da arte. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, p.101-110, 2003.
- Silans, A. M. B. P.; Almeida, C. N.; Albuquerque, D. J.; Paiva, A. E. D. B. D. Aplicação do Modelo Hidrológico distribuído AÇUMOD à Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe - Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.5, p.5-20, 2000.

- Silva, M. M. Irrigação com efluentes secundários no crescimento, produtividade e concentração de nutrientes no solo e na mamoneira. Campina Grande: UFCG, 2010. 100p. Tese Doutorado
- Silva, V. P. Efeitos da fertirrigação com efluente de lagoa de polimento nos atributos do solo e na produção de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Recife: UFPE. 2007. 128p. Tese Doutorado
- Souza, N. C.; Mota, S. B.; Bezerra, F. M. L.; Aquino, B. F.; Santos, A. B. Produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.478-484, 2010a.
- Souza, R. M.; Nobre, R. G.; Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Soares, F. A. L. Utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo do Girassol. Revista Caatinga, v.23, p.125-133, 2010b.
- Suassuna, J.; Audry, P. A Salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão nordestino: Caracterização, variação sazonal e limitações de uso, Recife: CNPq, 1995. 128p.
- Vellame, L. M.; Coelho Filho, M. A.; Paz, V. P. S.; Coelho, E. F. Gradientes térmicos naturais na estimativa de fluxo de seiva pelo método de Granier, Revista Caatinga, v.24, p.116-122, 2011.
- Vieira, V. P. P. B. Desafios da gestão integrada de recursos hídricos no semi-árido- Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.8, p.7-17, 2003.
- World Bank- Toward equitable and sustainable rural water supplies: A contingent valuation study in Brazil. WB Economic Review, v.4, p.115-134, 1990.

Capítulo 2

Recursos hídricos em regiões semiáridas

José C. de Araújo¹

¹ Universidade Federal do Ceará

- 2.1 Introdução
 - 2.2 Balanço hídrico e temporalidade
 - 2.3 Disponibilidade hídrica
 - 2.3.1 Reservatórios
 - 2.3.2 Garantia associada à disponibilidade e impacto do assoreamento
 - 2.3.3 Qualidade da água
 - 2.4 Uso eficiente da água
 - 2.5 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões semiáridas:
Estudos e aplicações
ISBN 978-85-64265-03-5



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB

UFRB

Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia
Cruz das Almas - BA

2 Recursos hídricos em regiões semiáridas

2.1 INTRODUÇÃO

As regiões semiáridas se caracterizam por seu balanço hídrico deficitário, particularmente no que se refere às trocas com a atmosfera. De acordo com Falkenmark & Chapman (1993, p.71), uma região semiárida tem coeficiente de aridez entre 0,20 e 0,50. O coeficiente de aridez consiste na razão entre a precipitação média anual e a evaporação potencial anual. De fato, ao estudar a Bacia Experimental de Aiuaba, localizada na região semiárida brasileira, Araújo & Piedra (2009) avaliaram seu coeficiente de aridez em 0,26, enquanto a bacia de Jaruco, de clima úmido tropical em Cuba, por exemplo, gerou coeficiente de 0,66.

Esta definição, porém, não revela as principais questões associadas à vida em regiões semiáridas. Do ponto de vista hidrológico, seu aspecto mais proeminente é a contínua interrupção na disponibilidade natural de água. Em contraponto, nas regiões áridas há constante indisponibilidade natural, enquanto nas regiões úmidas há disponibilidade natural contínua. Como consequência ocorre, no semiárido, carência de intervenção humana para que a vida social se viabilize (Aragão Araújo, 1990), fazendo com que tais regiões sejam de baixa densidade populacional nos diversos continentes. No caso brasileiro, entretanto, sua região semiárida (possivelmente a mais habitada do globo) apresenta a mesma densidade média do país, superior a 20 habitantes por km², o que gera um desafio incontestável.

Entende-se, por recursos hídricos a água disponível com elevada garantia associada (intra e interanual), com qualidade e acessível a todos os setores populacionais que dela necessitem. Neste contexto se reitera, como fundamental, a existência de um sistema participativo de gestão das águas, através de comitês representativos de bacias (sobre o tema sugere-se a leitura de Sales, 1999). Para exemplificar, é oportuno analisar o programa de cooperação para a construção de pequenas barragens do Governo Federal brasileiro, segundo o qual os proprietários de terra cederiam uma área de sua propriedade em prol da construção de um açude a ser construído com recursos públicos. Como, constitucionalmente, é bem público, tanto os proprietários quanto os moradores circunvizinhos teriam livre acesso à água

e haveria uso mais racional dos recursos financeiros, pois não seria necessário, ao Estado, indenizar as terras inundadas. O programa, no entanto, não ampliou o acesso da população à água posto que, raramente, o acesso ao açude foi permitido, exceto aos proprietários, que se consideram os legítimos donos da água armazenada em suas terras. Estabelece-se, assim, uma relação direta entre propriedade fundiária (Brito, 2006) e água garantida na região, transformando a pretensa posse da água em uma forte moeda político-eleitoral (Araújo, 2011). Em síntese e com base no caso acima exposto, entende-se que a existência de disponibilidade hídrica não garante, por si, a existência de recursos hídricos (sobre o tema ver também Silliman et al., 2008). Para isto, é fundamental um sistema democrático e participativo de gestão.

Neste capítulo serão discutidos os recursos hídricos em regiões semiáridas, com foco principal na região semiárida brasileira.

2.2 BALANÇO HÍDRICO E TEMPORALIDADE

O balanço hídrico da região semiárida brasileira pouco difere daqueles observados em outras regiões isoclimáticas do globo (Frischkorn et al., 2003; Mahé et al., 2005; Cantón et al., 2001; Mamede, 2008). Sua precipitação anual média oscila entre 500 e 850 mm com mais de 70% das chuvas concentradas no quadrimestre janeiro – abril; sua evaporação potencial anual média (tanque classe A) varia de 2.100 a 2.600 mm; sua evaporação real média varia de 450 a 700 mm anuais; seu solo é geralmente raso sobre embasamento cristalino (Gaiser et al., 2003; Güntner & Bronstert, 2004) e seus rios principais são intermitentes. Como se pode observar na Figura 2.1, o período de precipitação excedente pode ser extremamente curto em regiões semiáridas, exigindo inexoravelmente que haja acumulação de água em reservatórios (naturais ou artificiais), para que possa ser utilizada no período seco, seja intra ou interanual.

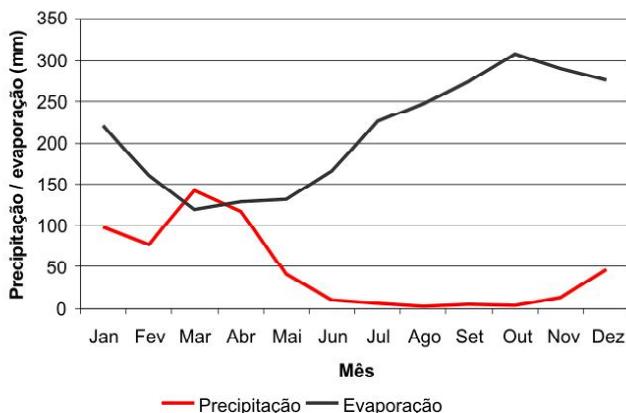


Figura 2.1 Balanço hídrico na bacia semiárida do Açude Benguê, região semiárida cearense

2.3 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

A disponibilidade hídrica é uma questão de fluxo de água, não de volume, como nos assevera Chapra (1997). Não se pode, portanto, falar em disponibilidade hídrica em termos volumétricos (milhões ou bilhões de m^3 , por exemplo), mas em termos de vazão (milhões de m^3 por ano, por exemplo), pois se trata de um ciclo com a água movendo-se constantemente de um estado para outro. Para se avaliar a disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica faz-se necessário, inicialmente, identificar seus principais reservatórios para, através de balanço hídrico multianual, avaliar sua capacidade de suporte. Entende-se aqui a capacidade de suporte hidrológica como o potencial de água que se pode explorar de um reservatório sem que o mesmo se degrade com o tempo, quantitativa ou qualitativamente. Portanto, para que haja sustentabilidade a disponibilidade hídrica potencial deve corresponder à capacidade de suporte da bacia.

2.3.1 Reservatórios

Os principais reservatórios naturais de água são os rios, os aquíferos e o solo. Na ausência ou na sua insuficiência, os reservatórios artificiais (açudes, por exemplo) têm papel crucial na potencialização dos recursos hídricos. Discorre-se, a seguir, sobre esses quatro tipos de reservatório.

Nas regiões semiáridas os rios são, em grande escala, intermitentes ou mesmo efêmeros, motivo pelo qual os mesmos não se prestam – quando nessas condições – como fonte hídrica garantida. No entanto, os rios podem ser perenizados, isto é, tornados artificialmente perenes por força de geração de reservatórios artificiais e/ou por gastos energéticos. As principais formas de perenização de rios são: construção de barragens com liberação de descargas nos cursos d'água (Aragão Araújo, 1990; Campos, 1996; Araújo et al., 2006; van Oel et al., 2008); transposição de bacias e uso conjunto de águas subterrâneas e superficiais (González Cabrera, 2011).

Os aquíferos fissurais encontrados no embasamento cristalino de muitas regiões semiáridas geralmente têm vazão limitada (inferior a $2 m^3 h^{-1}$, no caso brasileiro), reduzida capacidade de reposição (Frischkorn et al., 2003) e elevada salinidade (Voerkelius et al., 2003; Burte et al., 2005). Segundo Araújo et al. (2006), no estado do Ceará apenas 10% da demanda por água são atendidos por reservas subterrâneas, principalmente pelo fato de mais de 75% de sua superfície estarem sobre o embasamento cristalino. Apesar disto, nas áreas semiáridas localizadas sobre aquíferos sedimentares a água subterrânea pode ser a principal fonte hídrica, como relatam Fontenele et al. (submetido). Os autores op. cit. afirmam que, no Cariri cearense (400.000 habitantes), mais de 90% da demanda são atendidos por água subterrânea, casos em que há três grandes desafios para o sistema de gestão (sobre o tema recomenda-se a leitura de Wang et al., 2012). Primeiro, faz-se necessário avaliar, de modo consistente, a real disponibilidade do recurso hídrico - tarefa reconhecidamente mais complexa em sistemas subterrâneos que em sistemas superficiais – (Acheampong

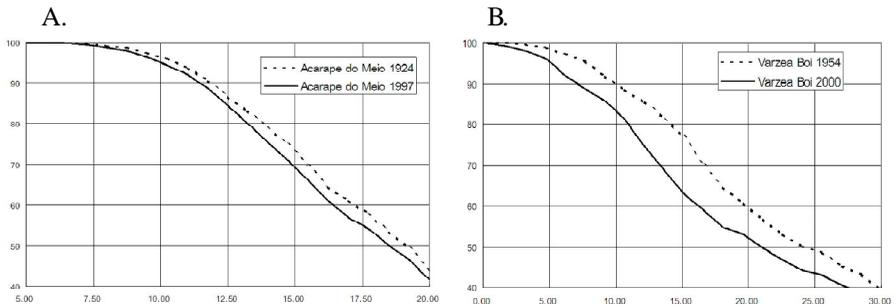
& Hess, 1998; Chen et al., 2010; Machado et al., 2007; Verbovsek & Veselic, 2008; García Rivero, 2011) e controlar seu uso, que ocorre de forma dispersa (Mendonça et al. 2005). O segundo desafio é evitar a contaminação dos aquíferos, posto que sua descontaminação é, em muitos casos, uma tarefa extremamente custosa, em termos energéticos e temporal (Arraes et al., 2008; Farfán González, 2011; Moraga López, 2011; Gutiérrez Hernández, 2011; Rodríguez Piña, 2011). Por fim, o terceiro desafio consiste em prover as elevadas taxas energéticas para sua exploração sem o que o uso de águas subterrâneas possa tornar-se inviável. Associada à última questão, é bom lembrar que a operação e a manutenção de sistemas de bombeamento exigem pessoal com qualificação tecnológica, o que nem sempre se verifica.

O solo consiste no principal reservatório natural, coletando a água excedente por ocasião dos eventos chuvosos e retornando-a por ocasião dos momentos de baixos níveis de precipitação e dos cursos d'água (Haan et al., 1994). Acontece, porém, que o solo em regiões semiáridas não raramente é raso, além de estar submetido a elevadas taxas de evaporação e evapotranspiração da vegetação, principalmente sua fração localizada na profundidade efetiva das raízes (Güntner & Bronstert, 2004). Burte et al. (2005) modelaram o fluxo da água subterrânea em uma bacia semiárida de mesoescala (10² km²), demonstrando que o solo – mesmo limitado – pode ser um importante elemento de transferência de água (das chuvas mas, principalmente, da perenização dos rios) capaz de atender a demandas que não estejam localizadas diretamente sobre o vale do rio, porém sobre seu aluvião.

Por fim, nas situações em que os reservatórios naturais se apresentarem insuficientes para atender às demandas sociais e ambientais no semiárido, há que se construir reservatórios artificiais, particularmente os açudes, gerados a partir do barramento dos cursos d'água. Esses reservatórios recebem o excedente hídrico escoado nos eventos pluviométricos capazes de superar as abstrações iniciais de sua bacia e os guarda para disponibilizar a água nos períodos de estio. De acordo com o balanço hídrico supra-anual dos principais reservatórios da região semiárida brasileira, a disponibilidade hídrica (entendida como a vazão capaz de ser extraída do açude com garantia anual de, pelo menos, 90%) oscila de 20 a 50% da vazão afluente. A vazão não regularizada (de 80 a 50%) é geralmente evaporada e/ou vertida. De acordo com Araújo & Piedra (2009), a lâmina de água disponível em bacias semiáridas é de apenas 7% daquela disponível em bacias tropicais úmidas. Mesmo assim, o número de tais reservatórios nas regiões semiáridas é de grande monta em quase todo o globo: na Austrália (Callow & Smettem 2009; Pisaniello et al. 2006); na China (Li & Wei 2008); na Romênia (Rãdoane & Rãdoane 2005); na Espanha (Mamede 2008; de Vente et al. 2005; Verstraeten et al. 2003); nos Estados Unidos (Minear & Kondolf 2009; Nicklow & Mays 2008), no Canadá (Teegavarapu & Simonovic 2002) e no Brasil (Lima Neto et al., 2011; Malveira et al., 2012; Araújo, 2011). Para melhor compreensão da importância desses reservatórios para o semiárido brasileiro, recomenda-se também a leitura de Araújo (1990), Campos (1996) e Araújo & Malveira (2010).

2.3.2 Garantia associada à disponibilidade e impacto do assoreamento

Para se avaliar a disponibilidade hídrica de um reservatório deve-se proceder a um balanço hídrico multianual, propondo uma vazão de retirada (vazão regularizável), para a qual se calculará a garantia associada. Muitas vezes, pela carência de dados, usa-se construir uma série sintética estocástica de vazões afluentes ao reservatório (McMahon & Mein, 1986; Campos, 1996) para proceder, então, ao balanço hídrico. Para um resultado confiável é imprescindível que a regra de operação da simulação seja consistente com a regra efetivamente praticada pelos operadores. Ao final de cada ano de simulação registra-se se o mesmo foi exitoso ou não. Um ano é considerado exitoso caso seja possível liberar a vazão regularizável sem que se explore o volume de reserva estratégico do reservatório e não exitoso em caso contrário. A garantia associada à vazão regularizável é dada, ao final da simulação, pela razão entre os anos exitosos e o total de anos. Este procedimento é repetido várias vezes, alterando-se a vazão regularizável até que haja um número significativo de pares vazão regularizável versus garantia associada. A Figura 2.2 mostra tais curvas para dois reservatórios. A disponibilidade de água em um reservatório é função, portanto, da garantia de longo prazo com a qual se deseja trabalhar. Esta garantia é função, fundamentalmente, do tipo de uso; para usos múltiplos costuma-se admitir 90% como patamar razoável.



Obs.: No eixo das abscissas estão representadas as vazões regularizáveis (em $\text{hm}^3 \text{ano}^{-1}$) e nos eixos das ordenadas estão representadas as garantias anuais associadas

Figura 2.2 Curvas de vazão regularizável versus garantia para os açudes Acarape do Meio (bacia em elevado estado de preservação) (A) e Várzea do Boi (bacia degradada) (B) nos respectivos anos de construção e, anos depois, de modo a se perceber o impacto do assoreamento sobre a disponibilidade hídrica

No entanto, há fatores que podem alterar a disponibilidade hídrica com o tempo como, por exemplo, os usos de montante (van Oel et al., 2008). No caso da região semiárida brasileira verifica-se que os mais proeminentes fatores de degradação da disponibilidade hídrica são o assoreamento – tratado neste item – e a poluição – tratada no próximo item. Araújo (2003) avaliou o aporte de sedimentos a sete açudes semiáridos (450 toneladas por km^2 de bacia a cada ano) e, conseqüentemente, o

assoreamento que aí se verificou, concluindo que a taxa de decaimento volumétrico média é de 1,85% a cada década. Em trabalho posterior, Araújo et al. (2006) avaliaram o impacto dessa redução volumétrica – associada às respectivas alterações geomorfológicas – sobre a curva de vazão regularizável versus garantia ou, em outras palavras, sobre a disponibilidade hídrica. Os autores op. cit. concluíram que tal impacto é considerável não só pela redução de volume mas por gerar reservatórios de geometria mais aberta, incrementando o já considerável processo de evaporação. O estado de conservação das bacias hidrográficas tem, aí, papel fundamental. Comparando-se o açude Acarape do Meio (localizado no exutório de uma bacia preservada) com o açude Várzea do Boi (localizado no exutório de uma bacia degradada), observa-se (Figura 2.2) que o impacto do assoreamento sobre o primeiro açude é nitidamente reduzido. Por fim, os autores indicam que o estado do Ceará perde, anualmente, mais de $0,35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de vazão regularizável (com 90% de garantia) devido apenas ao assoreamento.

De modo análogo, Teixeira (2011) avaliou a bacia semiárida do açude Poilão, localizada na ilha de Santiago, em Cabo Verde, e concluiu que a razão de aporte de sedimentos (SDR) na bacia, é de 24%; que sua produção de sedimentos anual é de 1.055 t km^{-2} (mais do dobro do semiárido brasileiro); que no ano 2026 o fundo do reservatório se elevará 7,6 m e que o reservatório perderá 37% da sua capacidade de estocagem original em 20 anos, ou seja, que a taxa de assoreamento média é de 1,8% ao ano (nove vezes superior à taxa observada no semiárido brasileiro).

Observe-se que a erosão hídrica em regiões tropicais semiáridas pode ser muito superior àquela medida em regiões tropicais úmidas. De fato, Piedra (2011) avalia que a produção média de sedimentos em cinco bacias da parte ocidental de Cuba seja cerca de um terço da observada no semiárido brasileiro ($104 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2}$, ou 150 t km^{-2}). Além disso, o impacto relativo da sedimentação de açudes semiáridos sobre a disponibilidade hídrica é consideravelmente superior ao de açudes de regiões úmidas (Araújo & Piedra, 2009). Tais resultados indicam, portanto, que a política de recursos hídricos de regiões semiáridas não pode, absolutamente, prescindir de uma política de preservação do solo.

2.3.3 Qualidade da água

Água poluída é água indisponível. No entanto, o que se verifica atualmente no semiárido brasileiro é a ocorrência frequente de reservatórios eutrofizados cuja água não se presta para a maioria dos usos para os quais foi planejada (Datsenko et al., 1999). O tratamento à base de cloro de águas eutrofizadas pode gerar subprodutos de elevado potencial patogênico. Viana et al. (2009), por exemplo, avaliaram o potencial de danos à saúde de trihalometanos gerados na rede de abastecimento de Fortaleza, Ceará, após o tratamento de águas eutrofizadas advindas de açudes localizados na região semiárida - o problema é, portanto, real e atual.

O uso do solo e as formas de utilização da água em uma bacia hidrográfica influenciam diretamente a qualidade da água e no caso da eutrofização não é diferente.

Em uma pesquisa na área semiárida nordestina, Feitosa (2011, ver também Pinheiro, 2011; Pinheiro et al., 2011) analisou o estado trófico de doze açudes cujas capacidades variam de 0,06 a 20 hm³. A análise se baseou em parâmetros físicos (transparência, temperatura e turbidez), químicos (pH, amônia, nitrito, nitrato, nitrogênio total, clorofila-a) e biológicos (coliformes termotolerantes). Os resultados indicam que os níveis tróficos estão avançados devido, possivelmente, ao aporte de nutrientes provindos de efluentes domésticos (resíduos sólidos e líquidos), do uso de agrotóxicos, do desmatamento das matas ciliares e, sobretudo, da presença contínua de animais nas margens dos açudes. Os autores concluíram que todos os doze açudes estão eutrofizados ou hipereutrofizados (Figura 2.3).

A.



B.



Fotos: grupo Hidrosed

Figura 2.3 Presença constante do gado dentro dos açudes no semiárido (A) e eutrofização dos açudes no semiárido (B), no caso o açude Paus Brancos em Madalena, CE

Outra causa – mais recente – de eutrofização dos açudes da região semiárida, é a prática de peixamento intensivo com o uso de ração. Esta nova modalidade de uso das águas deve ser objeto de estudos criteriosos posto que a continuidade da prática, como ora se observa, comprometerá de modo insustentável a qualidade de nossas águas.

Em contraponto ao peixamento intensivo, no entanto, pode-se tornar efetiva a prática de biomanipulação, ferramenta biológica utilizada para controlar altas densidades de algas e restabelecer a qualidade da água em lagos e reservatórios, conservando sua biodiversidade, aumentando a produção pesqueira e promovendo suas funções sociais, econômicas e ambientais. Em conjunto com ações de saneamento da bacia de drenagem, a biomanipulação se apresenta como técnica promissora para a recuperação de reservatórios eutrofizados. O preceito basilar da biomanipulação consiste na utilização de organismos aquáticos (peixes, por exemplo) no sentido de melhorar a qualidade do ecossistema aquático (Wiegand, 2011; Mustapha, 2010; Panosso et al., 2007).

2.4 USO EFICIENTE DA ÁGUA

O século XXI trouxe um novo paradigma para a convivência com a região semiárida e com as secas: a gestão das águas, a partir de uma visão integrada da bacia hidrográfica. A nova abordagem, que complementa e substitui a então hegemônica visão 'engenheirística' de ampliação da infraestrutura coloca, entre outros temas, a gestão da demanda (Araújo, 2011). Três dos principais desafios para a boa gestão dos recursos hídricos do semiárido são, indubitavelmente, a redução de perdas nos sistemas de transporte; a melhoria na eficiência da irrigação e o reúso das águas. Os sistemas de adução e transporte de água são uma relevante fonte de desperdício. Construídas geralmente por organismos governamentais e entregues à operação de usuários, tais infraestruturas permanecem quase sempre sem manutenção adequada. Faz-se necessário, também, nessa instância, empoderar (política, técnica e financeiramente) os usuários para monitorar – adutoras, estações de bombeamento, canais de diversos níveis hierárquicos e comportas – de modo que seja dada manutenção tão logo surjam os primeiros sinais de vazamento no sistema. Estima-se que tais perdas correspondam a até 35% da vazão escoada.

Sabe-se que a irrigação é a maior usuária de água – entre 60 e 70% da demanda – em todos os continentes. No semiárido seu consumo é da ordem de 6 a 20 mil m³ por hectare a cada safra, dependendo de condições climáticas e edáficas. O uso de métodos mais eficientes de irrigação pode gerar economia de água em até um terço, considerando-se a eficiência do sistema como um todo. Por exemplo, uma redução de 10% na demanda para irrigação de uma safra em um hectare (admita consumo de 10.000 m³ ha⁻¹ e safra de 130 dias) gera água suficiente para abastecer 50 pessoas com consumo médio diário de 150 L por habitante. Joca (2001) avaliou a viabilidade técnico-financeira de tais alterações para perímetros irrigados no semiárido nordestino, concluindo por sua viabilidade técnico-financeira e pela elevada aceitação dos irrigantes quanto à alteração no sistema de irrigação; no entanto, os irrigantes demonstraram baixa aceitação da possibilidade de mudança de culturas a irrigar como forma de redução da demanda hídrica, principalmente pelo fato de já conhecerem bem a cadeia produtiva de sua cultura e os riscos associados. O incremento da eficiência na irrigação deve, portanto, ser considerado na política de gestão de recursos hídricos – em especial de regiões com escassez de água.

Por fim, entende-se que o reúso é o mais relevante instrumento para garantir a sustentabilidade hídrica das regiões secas. Lembrando o conceito de Chapra (1997) anteriormente mencionado, a disponibilidade da água é fundamentalmente uma questão de fluxo. Portanto, se se consegue usar a água duas vezes, dobra-se automaticamente sua disponibilidade. Observe-se que, nas regiões secas, esse instrumento é ainda mais importante pois nas regiões de clima ameno – nas quais a evaporação potencial se assemelha à precipitação – comumente há um *reúso natural*, uma vez que a água usada pode infiltrar-se no solo e ser reconduzida aos cursos d'água. A fração de água de reúso natural no caso do semiárido brasileiro, por exemplo,

é desprezível, dada à elevada evaporação e à constituição do embasamento cristalino, cujas fissuras pouco se intercomunicam (Frischkorn et al., 2003). A prática do reúso vem despertando grande interesse do meio acadêmico, que propõe o reúso das águas não somente para o meio urbano mas também para o meio rural (Mota, 2000). De fato, Pinheiro et al. (2011) demonstram a viabilidade de reúso em uma área de assentamento rural semiárida, através da tecnologia da *fossa verde*, como se pode ver na Figura 2.4. Advoga-se, portanto, que os sistemas de abastecimento urbanos e rurais do semiárido sejam dotados de infraestrutura que possibilite o reúso de todas as águas, como forma de uso racional desse recurso natural mas também socialmente definido.

A.



B.



Fotos: grupo Hidrosed

Figura 2.4 Estrutura de uma fossa verde (A), instrumento de reúso de águas servidas rurais, conforme construído no Assentamento 25 de Maio, Madalena, CE, e fossa verde concluída e cultivada (B)

2.5 CONCLUSÕES

- O conceito de recursos hídricos envolve água disponível com garantia, qualidade e acessibilidade, sendo imprescindível a existência de um sistema participativo de gestão;
 - A disponibilidade hídrica é uma questão de fluxo, não de volume;
 - Os principais reservatórios naturais de água são rios, aquíferos e solo; na sua ausência ou insuficiência, deve-se recorrer aos reservatórios artificiais, como os açudes;
 - Entre os fatores que alteram a disponibilidade hídrica nas regiões de escassez hídrica estão os usos de montante, o assoreamento e a poluição;

- A política de recursos hídricos, portanto, deve dialogar com a política de preservação dos solos;
- Água poluída é água indisponível;
- O número de reservatórios da região semiárida brasileira que estão eutrofizados, é excessivo, não se prestando ao fim para os quais foram construídos;
- Duas das principais causas dessa eutrofização são o acesso de gado às bacias hidráulicas e a prática de peixamento intensivo. Urge adotar medidas preventivas e/ou corretivas;
- A gestão da demanda das águas deve ter papel central no processo de gestão das águas de regiões secas;
- Entre os principais desafios da gestão estão a redução de perdas nos sistemas de adução, a melhoria na eficiência da irrigação e o reúso das águas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acheampong, S. Y.; Hess, J. W. Hydrogeologic and hydrochemical framework of the shallow groundwater system in the southern Voltaian sedimentary basin, Ghana. *Hydrogeology Journal*, v.4, p.527-537, 1998.
- Araújo, J. A. A. Barragens do Nordeste do Brasil, 2 ed. Fortaleza: DNOCS, 1990, 260p.
- Araújo, J. C. de. Assoreamento em reservatórios do semiárido: modelagem e validação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, p.39-56, 2003.
- Araújo, J. C. de. Las pequeñas represas y su relación con el uso racional de los recursos hídricos. In: *Convención Internacional de Geografía, Medioambiente y Ordenamiento Territorial*, 2, 2011, Havana. Anais... 2011. CD Rom
- Araújo, J. C. de; Gonzalez Piedra, J. I. Comparative hydrology: analysis of a semiarid and a humid tropical watershed. *Hydrological Processes*, v.23, p.169-1178, 2009.
- Araújo, J. C. de; Güntner, A.; Bronstert, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. *Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrologiques*, v.51, p.157-170, 2006.
- Araújo, J. C. de; Malveira, V. T. C. Pequenas Barragens de Terra. In: *Andrade, E.M. et al. Manejo da Caatinga*. Fortaleza: Edição BNB, 2010. Fortaleza, Cap. 7
- Arraes, A. A.; Barreto, F. M. S.; Araújo, J. C. de. Use of Atrazine and groundwater availability in Brazil: case study Tianguá. In: *World Water Congress of IAHR*, 13, 2008, Montpellier. Anais... 2008. Montpellier: IAHR: CD Rom
- Brito, L. Sociabilidade no assentamento rural de Santana: Terra e trabalho na construção do ser social. Fortaleza: UFC, 2006. 280p. Tese Doutorado
- Burte, J.; Coudrain, A.; Frischkorn, H.; Chaffaut, I.; Kosuth, P. Human impacts on components of hydrological balance in an alluvial aquifer in the semiarid Northeast, Brazil. *Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrologiques*, v.50, p.95-110, 2005.
- Callow, J.N., Smettem, K.R.J. The effect of farm dams and constructed banks on hydrologic connectivity and runoff estimation in agricultural landscapes. *Environmental Modelling and Software*, v.24, p.959-968, 2009.

- Campos, J. N. B. Dimensionamento de reservatórios: o método do diagrama triangular de regularização. 1.ed. Fortaleza: UFC, 1996. 71p.
- Cantón, Y.; Domingo, F.; Solé-Benet, A.; Puigdefàbregas, J. Hydrological and erosional response of a badland system in semiarid SE Spain. *Journal of Hydrology*, v.252, p.65-84, 2001.
- Chapra, S. C. Surface water-quality modelling. New York: McGraw-Hill, 1997. 844p.
- Chen, L. H.; Chen, C. T.; Pan, Y. G. Groundwater level prediction using SOMRBFN multisite model, *Journal of Hydrological Engineering*, v.8, p.624-631, 2010.
- Datsenko, I. S.; Santaella, S. T.; Araújo, J. C. de. Peculiaridades do processo de eutrofização dos açudes da região semi-árida. In: Congresso Brasileiro de Saneamento e Engenharia Ambiental, 20, 1999, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 1999. CD Rom
- de Vente, J.; Poesen, J.; Verstraeten, G. The application of semi-quantitative methods and reservoir sedimentation rates for the prediction of basin sediment yield in Spain. *Journal of Hydrology*, v.305, p.63-68, 2005.
- Falkenmark, M.; Chapman, T. Hidrología comparada: Un enfoque ecológico a los recursos hídricos y de suelo. 1.ed. Madrid: UNESCO-CEDEX, 1993. 492p.
- Farfán González, H. Estimación de la vulnerabilidad de acuíferos y análisis de sensibilidad paramétrica del modelo EPIK. In: Convención Internacional de Geografía, Medioambiente y Ordenamiento Territorial, 2, 2011, Havana. Anais... 2011. CD Rom
- Feitosa, L. S. Aspectos limnológicos da pequena açudagem no semiárido: estudo de caso dos açudes do Assentamento 25 de Maio, Madalena, Ce. Fortaleza: UFC, 2011. 121p.
- Fontenele, S. B.; Mendonça, L. A. R.; Araújo, J. C. de; Santiago, M. M. F.; Gonçalves, J. Y. B. Relationship between hydrogeological parameters in the Araripe sedimentary basin, Brazil. *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE. 2012. (No prelo)
- Frischkorn, H.; Araújo, J. C. de; Santiago M.M.F. Water resources of Ceará and Piauí. In: Gaiser, T.; Krol, M.; Frischkorn, H.; Araújo, J.C. de. Global change and regional impacts. Berlin: Springer-Verlag, 2003. p.87-94.
- Gaiser, T.; Krol, M.; Frischkorn, H.; Araújo, J. C. de. (Eds.) Global change and regional impacts. 1.ed. Berlin: Springer-Verlag, 2003. 428p.
- García Rivero, A. E. Caracterización del estado de las aguas del río Ariguanabo al cierre del periodo seco 2010-2011. In: Convención Internacional de Geografía, Medioambiente y Ordenamiento Territorial, 2, 2011, Havana. Anais... 2011. CD Rom
- González Cabrera, N. A. La hidrogeología urbana y el papel de las aguas subterráneas en el desarrollo económico y social de la ciudad de Pinar del Río, Cuba. In: Convención Internacional de Geografía, Medioambiente y Ordenamiento Territorial, 2, 2011, Havana. Anais... CD Rom
- Güntner, A.; Bronstert, A. Representation of landscape variability and lateral redistribution processes for largescale hydrological modelling in semi-arid areas. *Journal of Hydrology*, n.297, p.136-161, 2004.

- Gutiérrez Hernández, J. E. Sostenibilidad hidrológico ambiental en cuencas urbanizadas. In: Convención Internacional de Geografía, Medioambiente y Ordenamiento Territorial, 2, 2011, Havana. Anais... CD Rom
- Haan, C. T.; Barfield, B. J.; Hayes J. C. Design hydrology and sedimentology for small catchments. 1.ed. San Diego: Academic Press, 1994. 588p.
- Li, X.-G.; Wei, X. An improved genetic algorithm-simulated annealing hybrid algorithm for the optimization of multiple reservoirs. *Water Resources Management*, v.22, p.1031-1049, 2008.
- Lima Neto, I. E.; Wiegand, M. C.; Araújo, J. C. de. Sediment redistribution due to a dense reservoir network in a large semiarid Brazilian basin. *Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrologiques*, v.56, p.319-333, 2011.
- Machado, C. J. F.; Santiago, M. F. S.; Mendonça, L. A. R.; Firschron, H.; Mendes Filho, J. Hydrochemical and flow modeling of aquitard percolation in the Cariri Valley-Northeast Brazil. *Aquatic Geochemistry*, v.2, p.187-196, 2007.
- Mahé, G.; Paturol, J. E.; Servat, E.; Conway, D.; Dezetter, A. Impact of land use change on soil water holding capacity and river modelling of the Nakambe River in Burkina-Faso. *Journal of Hydrology*, v.300, p.33-43, 2005.
- Malveira, V. T. C.; Araújo, J. C. de; Güntner, A. Hydrological impact of a high density reservoir network in the semiarid north-eastern Brazil. *Journal of Hydrological Engineering, ASCE*, v.17, p.109-117, 2012.
- Mamede, G. L. Reservoir sedimentation in dryland catchments: modeling and management. Potsdam: Universidade de Potsdam, 2008. 100p. Tese Doutorado
- McMahon, T. A.; Mein, R. G. River and reservoir yield. 1.ed. Littleton: Water Resources Publications, 1986. 368p.
- Mendonça, L. A. R.; Frischkorn, H.; Santiago, M. F.; Mendes Filho, J. Isotope measurements and ground water flow modeling using MODFLOW for understanding environmental changes caused by a well field in semiarid Brazil. *Environmental Geology*, v.8, p.1045-1053, 2005.
- Miner, J. T.; Kondolf, G. M. Estimating reservoir sedimentation rates at large spatial and temporal scales: A case study of California. *Water Resources Research*, v.45, W12502, 2009.
- Moraga López, G. Modelo en SIG para determinar la vulnerabilidad a contaminación de águas superficiales y subterráneas, Península de Nicoya, Costa Rica. In: Convención Internacional de Geografía, Medioambiente y Ordenamiento Territorial, 2, 2011, Havana. Anais... 2011. CD Rom
- Mota, S. Reúso de águas: A experiência da Universidade Federal do Ceará. 1.ed. Fortaleza: UFC. 274p.
- Nicklów, J. W.; Mays, L. W. Optimization of multiple reservoir networks for sedimentation control. *Journal of Hydraulic Engineering*, v.126, p.232-242, 2008.
- Piedra, J. I.G. Pérdidas de suelo por la erosión hídrica en cuencas del occidente de Cuba. In: Convención Internacional de Geografía, Medioambiente y Ordenamiento Territorial, 2, 2011, Havana. Anais... CD Rom

- Pinheiro, L. S. Proposta de índice de priorização de áreas para saneamento rural: estudo de caso Assentamento 25 de Maio, Ceará. Fortaleza: UFC, 2011. 135p. Dissertação Mestrado
- Pinheiro, L. S.; Coelho, C. F.; Araújo, J. C. de. Proposta de modelo de saneamento rural para a região semiárida. In: Convención Internacional de Geografía, Medioambiente y Ordenamiento Territorial, 2, 2011, Havana. Anais... 2011. CD Rom
- Pisaniello, J. D.; Zhifang, W.; McKay, J. M. Small dams safety issues – engineering / policy models and community responses from Australia. *Water Policy*, v.8, p.81-95, 2006
- Rădoane, M.; Rădoane, N. Dams, sediment sources and reservoir silting in Romania. *Geomorphology*, v.71, p.112-125, 2005.
- Rodriguez Piña, M. Control litológico y geomorfológico sobre la composición química del agua en la Sierra del Rosario, Cuba. In: Convención Internacional de Geografía, Medioambiente y Ordenamiento Territorial, 2, 2011, Havana. Anais... CD Rom
- Sales, C. A. T. Contribuição para um modelo de alocação de água no Ceará. Fortaleza: UFC, 1999. 114p. Dissertação Mestrado
- Silliman, S. E.; Hamlin, C.; Crane, P. E.; Boukan, M. International collaborations and incorporating the social sciences in research in hydrology and hydrologic engineering. *Journal of Hydrologic Engineering*, v.13, p.13-19, 2008.
- Teegavarapu, R. S. V.; Simonovic, S. P. Optimal operation of reservoir systems using simulated annealing. *Water Resources Management*, v.16, p.401-428, 2002.
- Teixeira, J. J. L. Hidrossedimentologia e disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica da barragem de Poilão, Cabo Verde. Fortaleza: UFC, 2011. 100p. Dissertação Mestrado
- van Oel, P. R.; Krol, M.; Hoekstra, A. Y.; Araújo, J. C. de. The impact of upstream water abstractions on reservoir yield: the case of the Orós Reservoir in Brazil. *Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrologiques*, v.53, p.857-867, 2008.
- Verbovsek, T.; Veselic, M. Factors influencing the hydraulic properties of wells in dolomite aquifers of Slovenia. *Hydrogeology Journal*, v.4, p.779-795, 2008.
- Viana, R. B.; Cavalcante, R. M.; Braga, F. M. G.; Viana, A. B.; Araújo, J. C. de; Nascimento, R. F.; Pimentel, A. S. Risk assessment of trihalomethanes from tap water in Fortaleza, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v.151, p.317-325, 2009.
- Verstraeten, G.; Poesen, J.; de Vente, J.; Koninckx, X. Sediment yield variability in Spain: a quantitative and semi-qualitative analysis using reservoir sedimentation rates. *Geomorphology*, v.50, p.327-348, 2003.
- Voerkelius, S.; Külls, C.; Santiago, M. M. F.; Frischkorn, H.; Semrau, L. A. S.; Heinrichs, G.; Gil, M. M. L. Investigations on water management and water quality in Picos/PI and Tauá/CE. In: Gaiser, T.; Krol, M.; Frischkorn, H.; Araújo, J. C. de. Global change and regional impacts. Berlin: Springer-Verlag, 2003. p.173-184.
- Wang, G. L.; Huang, L. L.; Liang, G. H. Application of a multi-person and multiobjective decision-making model in groundwater resources management. *Journal of Hydrologic Engineering, ASCE*, 2012. (No prelo)

Wiegand, M. C. Conservação de água: proposta metodológica para recuperação de açudes eutrofizados no semiárido com uso de biomanipulação. Fortaleza: UFC, 2011. Projeto Tese

Capítulo 3

Evaporação da água de reservatórios: Medição e estimativa por métodos micrometeorológicos

Aureo S. de Oliveira¹, Francisco A. de C. Pereira¹,
Greice X. S. Oliveira¹ & Valéria P. Borges²

¹ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

² Universidade Federal de Campina Grande

- 3.1 Introdução
 - 3.2 A camada limítrofe planetária
 - 3.3 Aerodinâmica da evaporação
 - 3.3.1 Em termos de flutuações turbulentas
 - 3.3.2 Em termos de variáveis médias
 - 3.4 Evaporação via balanço de energia
 - 3.5 Evaporação via modelos combinados
 - 3.6 Tanques de evaporação
 - 3.7 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões semiáridas:
Estudos e aplicações
ISBN 978-85-64265-03-5



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB

UFRB

Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia
Cruz das Almas - BA

3 Evaporação da água de reservatórios: Medição e estimativa por métodos micrometeorológicos

3.1 INTRODUÇÃO

O estudo da evaporação da água diretamente de reservatórios (açudes, barragens, lagos e tanques de armazenamento) é de especial importância em regiões áridas e semiáridas, entre elas o Nordeste Brasileiro, onde altas taxas evaporativas contrastam com crescentes demandas de água para abastecimento doméstico, industrial, produção vegetal e animal, entre outros fins.

A taxa de evaporação (quantidade de água evaporada por unidade de área e de tempo) é uma estimativa necessária quando se trata de regular a oferta de água, face as diferentes demandas. O conhecimento da evaporação é variável relevante, por exemplo, em estudos de planejamento da irrigação, manejo de reservatórios, hidrologia urbana e modelagem da disponibilidade de água superficial e subterrânea (Jensen, 2010). Em reservatórios de água em que se tenha controle fácil das vazões de entrada e saída bem como da lâmina d'água precipitada, o conhecimento da evaporação permite estimar com precisão as perdas por percolação profunda no fundo do reservatório (Tanny et al., 2008). Outro aspecto que torna relevante a avaliação da evaporação é o fato de que no contexto do ciclo hidrológico, ao entrar na fase de evaporação a água se torna indisponível e não pode mais ser recuperada (Brutsaert, 1982). As consequências para o planejamento e manejo dos recursos hídricos, são evidentes.

Quantificar a água evaporada de reservatórios não é uma tarefa fácil. O uso de tanques de evaporação foi no passado, e ainda é, uma das principais ferramentas para esse fim. Em muitos países, inclusive nos Estados Unidos, o tanque Classe A ainda é parte integrante da rotina de órgãos oficiais de controle e regulação da oferta de água (Jensen, 2010). No entanto, devido às suas desvantagens os tanques evaporimétricos vêm dando lugar a métodos mais sofisticados e de custo relativamente baixo, graças aos modernos sistemas eletrônicos de coleta e armazenamento de dados.

Brutsaert (2010) classificou os métodos de estudo da evaporação da água em dois grupos principais: (a) nos métodos de transferência de massa ou aerodinâmicos, que consistem primariamente na descrição dos mecanismos de transporte de vapor

d'água (vpd) no ar próximo à superfície e (b) nos métodos energéticos, que focalizam nos aspectos de suprimento de energia do fenômeno da evaporação. Outro grupo (c) consiste dos métodos de balanço de massa, fundamentado no princípio de conservação da matéria.

Brutsaert (2010) sugere que se dê preferência aos métodos do grupo (a), visto que descrevem, de forma mais direta, os mecanismos de transporte de vpd. Os métodos dos grupos (b) e (c) são técnicas de obtenção indireta da evaporação da água. Lembra o autor, no entanto, que a distinção entre métodos dos grupos (a) e (b) não é absoluta já que, na prática, não há como separar o transporte de massa do de energia sendo comum, portanto, estudos combinarem técnicas dos dois métodos, a exemplo de Allen & Tasumi (2005). Os métodos do grupo (c) apesar de conceitualmente serem os mais interessantes são, na prática, de difícil aplicação e os sujeitos a erros mais expressivos no fechamento do balanço, devido às dificuldades inerentes à estimativa e/ou medição independente de todos os componentes do ciclo hidrológico (Brutsaert, 2010).

A seleção da melhor técnica para uma situação em particular é, em grande parte, função da disponibilidade de dados, tipo ou tamanho da massa hídrica (espelho d'água e profundidade) e da precisão exigida na determinação da evaporação (Jensen, 2010). O objetivo do presente capítulo é rever alguns aspectos da teoria dos métodos meteorológicos (aerodinâmicos e energéticos) de medição e estimativa da evaporação da água a partir de superfícies livres, com destaque para alguns exemplos de aplicação.

3.2 A CAMADA LIMÍTROFE PLANETÁRIA

A evaporação da água de reservatórios e de outras superfícies ocorre numa região da atmosfera conhecida como camada limítrofe planetária (CLP). Na literatura de micrometeorologia e ciências atmosféricas são muitos os autores que descrevem as características da CLP em termos de estratificação e dinâmica, a exemplo de Stull (1988), Brutsaert (1982, 2010), Arya (2001), Wallace & Hobbs (2006) e Wyngaard (2010), só para citar alguns.

A CLP é a parte inferior da atmosfera na qual a natureza e as propriedades da superfície afetam diretamente a turbulência do ar (Brutsaert, 1982). Ela se forma em resposta às interações entre a atmosfera e a superfície subjacente (terra ou água) durante períodos de tempo de algumas horas a aproximadamente um dia (Arya, 2001). Em escalas maiores de tempo essas interações podem ir além do limite superior da CLP e alcançar toda a profundidade da troposfera.

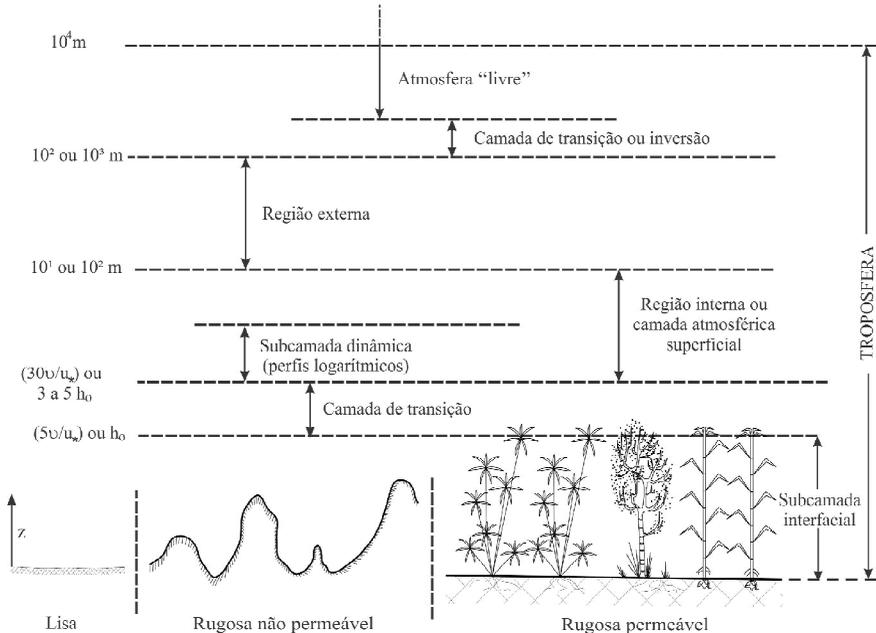
A espessura da CLP sobre os continentes varia consideravelmente de dezenas de metros a vários quilômetros, e depende, sobretudo, das taxas de aquecimento diurno e resfriamento noturno da superfície. Segundo Arya (2001), a espessura da CLP no verão e sobre superfície de solo seco pode variar de menos de 100 m na parte da manhã a vários quilômetros no final da tarde. Por outro lado, sobre extensas superfícies hídricas (lagos, mares e oceanos), as oscilações diurnas da CLP são menos pronunciadas, haja vista que a água sofre menor variação de temperatura

devido à maior capacidade calórica. Em sua concepção mais simples pode-se, portanto, imaginar a CLP com uma camada de influência que se expande e se contrai num ritmo padronizado em resposta ao ciclo diário do Sol (Oke, 1995).

Os autores são unânimes em reconhecer essa relação de causa e efeito entre a dinâmica vertical da CLP e o ciclo de aquecimento e resfriamento da superfície planetária. Em termos de estratificação, porém, há discordância apenas nos detalhes e os autores dividem a CLP em três camadas principais. A partir da superfície tem-se a subcamada interfacial ou camada de rugosidade (*roughness layer*); em seguida uma região interna ou camada superficial (*surface layer*) e no limite superior, a região externa (*outer layer*).

Segundo Brutsaert (2010), assume-se que acima da CLP domina a atmosfera livre onde o vento é mais influenciado pelos gradientes horizontais de pressão e movimento de rotação da Terra e menos pelos efeitos da fricção com a superfície planetária. Zonas de transição e eventuais superposições entre as camadas podem ocorrer, pois em se tratando de dinâmica de fluidos não se deve esperar mudanças abruptas nem limites rígidos. Por apresentar maior riqueza de detalhes, a Figura 3.1 adaptada de Brutsaert (2010), ilustra a estratificação da CLP para os propósitos deste capítulo.

Na região externa da CLP o movimento do ar é quase que independente da natureza da superfície e mais influenciado pelas correntes de ar da atmosfera superior (Brutsaert, 1982). Nela não somente os efeitos de gradientes de pressão sobre o deslocamento



Adaptado de Brutsaert, 2010

Figura 3.1 Subcamadas da camada limítrofe planetária

do ar são relevantes como também a força de Coriolis, devido à rotação da Terra. Esses efeitos são menos pronunciados sob condições de atmosfera instável caracterizada por turbulência convectiva termal. Neste caso específico a região externa é denominada camada de mistura ou camada de convecção (*mixed or convection layer*) (Garratt, 1992; Brutsaert, 1982).

Diferente do que ocorre na camada externa, na região interna ou camada atmosférica superficial (CAS) o movimento do ar é fortemente influenciado pelas características da superfície. Brutsaert (2010) sugere que a espessura da CAS é equivalente a 1/10 da CLP. Por outro lado, como se vê da Figura 3.1, a CAS não se estende até a superfície, ficando seu limite inferior definido por $30 \cdot v/u_*$, no caso de superfície lisa e 3 a $5 \cdot h_0$, no caso de superfície rugosa, sendo v a viscosidade do ar, h_0 a altura típica (média) dos elementos de rugosidade e u_* a velocidade de fricção do vento.

Diferente de outros autores, Brutsaert (1982, 2010) reconhece o que denomina de subcamada dinâmica na porção inferior da CAS. Predomina nesta camada o regime turbulento e os perfis de velocidade média do vento e de outras propriedades do ar (temperatura, umidade específica, concentração de gases, etc.) são funções logarítmicas da altura.

Em contato direto com a superfície e seus elementos está a subcamada interfacial. Nesta subcamada o movimento do ar é altamente irregular (Oke, 1995) e definitivamente relacionado à natureza (tamanho, espaçamento, contorno, permeabilidade, arquitetura, etc.) dos elementos de rugosidade da superfície. Sobre superfícies “lisas” (neve, água líquida em ventos calmos, gelo plano, etc.) sua espessura é da ordem de $5 \cdot v/u_*$ ou h_0 , no caso de superfícies rugosas (Brutsaert, 2010).

Oke (1995) ainda considera, no caso extremo (limite inferior da subcamada interfacial), a existência de uma subcamada laminar não turbulenta, de alguns milímetros, que adere a todas as superfícies e estabelece uma zona tampão entre a superfície e o ambiente de livre difusão mais acima. Nesta camada o transporte de massa e energia se dá por difusão e os coeficientes de difusividade molecular, não são negligíveis como no fluxo turbulento (Brutsaert, 1982), e, portanto, devem ser levados em conta na parametrização dos fluxos.

Uma característica dominante da CLP diz respeito à habilidade da turbulência em misturar e transportar massa, calor e momentum verticalmente (Arya, 2001), e uma das principais razões para o estudo da CLP é quantificar os fluxos associados e a variação de altura dos fluxos através da espessura total da camada limítrofe (Garratt, 1992).

3.3 AERODINÂMICA DA EVAPORAÇÃO

Segundo Brutsaert (2010), é razoável assumir que, à medida em que o ar flui paralelo a uma superfície homogênea, em média a concentração de qualquer propriedade transportada pelo ar varia apenas na vertical, mantendo-se constante na direção horizontal. Com base nesta premissa e do ponto de vista essencialmente

aerodinâmico, as opções seguintes para determinação da evaporação da água de superfícies livres serão aqui abordadas: (1) aerodinâmica em termos de flutuações turbulentas e (2) em termos de variáveis médias.

3.3.1 Em termos de flutuações turbulentas

Devido à natureza turbulenta do ar nas proximidades da superfície planetária, torna-se praticamente impossível descrever em detalhe, em dado instante do tempo e ponto do espaço, a velocidade, a temperatura e outras variáveis associadas ao fluxo (Brutsaert, 2010). Esta caracterização só pode ser conseguida em termos estatísticos. Neste sentido, é prática comum considerar essas variáveis como somas de média e partes flutuantes (Swinbank, 1951) o que, genericamente, pode ser representado por $p = \bar{p} + p'$, sendo p o valor instantâneo da variável, \bar{p} o valor médio (média temporal) e p' o valor da parte flutuante.

No movimento de vórtices e transporte de uma propriedade p , deve-se considerar a massa do vórtice que, por unidade de volume, representa sua densidade (ρ), a velocidade vertical (w) e o conteúdo volumétrico da propriedade nele contida. A representação matemática da densidade de fluxo P da referida propriedade, em termos de média e partes flutuantes, é dada por:

$$P = \overline{(\bar{\rho} + \rho')(\bar{w} + w')(\bar{p} + p')} \quad (3.1)$$

Expandindo-se a Eq. 1, tem-se:

$$P = (\overline{\bar{\rho}\bar{w}\bar{p}} + \overline{\bar{\rho}\bar{w}p'} + \overline{\bar{\rho}w'\bar{p}} + \overline{\bar{\rho}w'p'} + \overline{\rho'\bar{w}\bar{p}} + \overline{\rho'\bar{w}p'} + \overline{\rho'w'\bar{p}} + \overline{\rho'w'p'}) \quad (3.2)$$

As simplificações seguintes (Oke, 1995; Burba & Anderson, 2010) são comumente aplicadas à Eq. 2 para estimativa do fluxo P :

(a) Todos os termos com apenas uma quantidade seguida de apóstrofo (segundo, terceiro e quinto termos) são eliminados, pois por definição a média de todas as suas flutuações tende a zero;

(b) Termos contendo flutuações da densidade do ar ρ podem ser descartados (sexto, sétimo e oitavo termos), desde que se possa assumir ρ constante na atmosfera inferior;

(c) Se as observações são feitas sobre superfícies uniformes, ou seja, em áreas que favoreçam o movimento vertical preferencial, os termos contendo a velocidade vertical média do vento podem ser negligenciados, caso em que se elimina o primeiro termo.

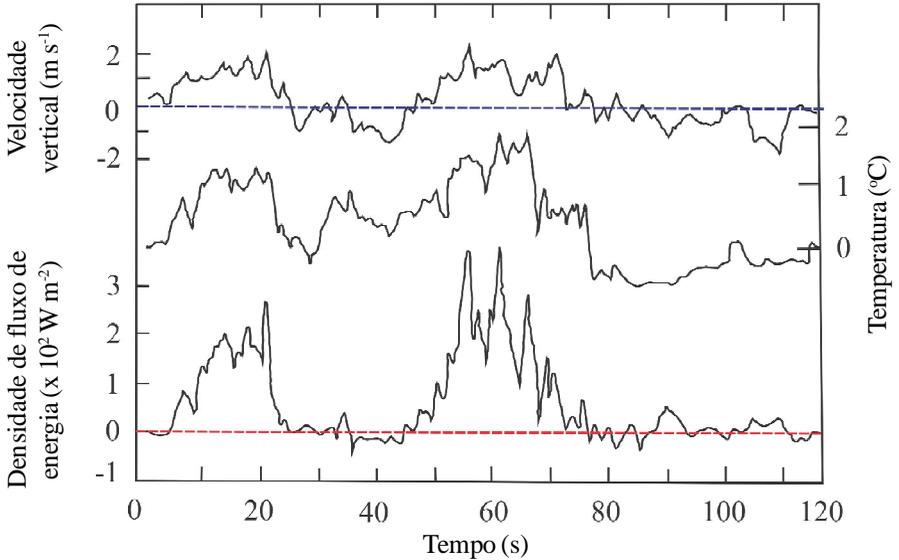
Uma vez aplicadas às simplificações acima, a Eq. 3.2 reduz-se a:

$$P = \overline{\rho w' p'} \quad (3.3)$$

De acordo com Oke (1995), é importante observar que apesar de as médias individualizadas das flutuações w' e p' tenderem a zero no tempo, a média das

covariâncias instantâneas de w e p , ou seja, a média temporal de seus produtos instantâneos ($w'p'$), raramente é negligível.

A Figura 3.2, adaptada de Oke (1995), ilustra a flutuação turbulenta da velocidade vertical do vento, temperatura do ar e fluxo de calor sensível na CLP no intervalo de 120 segundos. As medições foram feitas a 23 m de altura e sobre área de gramínea.



Obs.: Adaptado de Oke (1995)

Figura 3.2 Relações entre flutuações da velocidade vertical (w) e temperatura do ar (T), e o fluxo de calor sensível instantâneo (H). Instrumentos a 23 m de altura sobre gramínea em condições de atmosfera instável

No caso particular da evaporação da água a densidade de fluxo vertical de vapor d'água (v_{pd}) é dada por:

$$E = \overline{\rho w'q'} = \left(\frac{0,622}{P_{atm}} \right) \overline{\rho w'e'} \tag{3.4}$$

em que:

E - fluxo vertical de vpd, $kg\ m^{-2}\ s^{-1}$

ρ - densidade média do ar úmido, $kg\ m^{-3}$

q' - erro (desvio) instantâneo da umidade específica em relação à média, kg de vpd por kg de ar úmido

w' - desvio instantâneo da velocidade vertical de deslocamento do ar em relação à média, $m\ s^{-1}$

P_{atm} - pressão atmosférica, Pa

e' - desvio instantâneo da pressão atual de vpd em relação à média, Pa

0,622 - razão entre os pesos moleculares da água e do ar seco (18,016/28,966)

Na Eq. 3.5 a densidade do ar úmido (ρ) é a soma da umidade absoluta ou densidade do vpd, ρ_v (kg m^{-3}) com a densidade do ar seco, ρ_{as} (kg m^{-3}), ou seja:

$$\rho = \rho_v + \rho_{\text{as}} \quad (3.5)$$

A densidade ρ_v é a massa de vpd por unidade de volume de ar úmido; a nível médio do mar e temperatura de 0 °C, $\rho_{\text{as}} = 1,29 \text{ kg m}^{-3}$ (Brutsaert, 1982). O valor de ρ pode, também, ser determinado em função da pressão atmosférica local, da temperatura do ar e pressão atual de vpd, como se segue (Ham, 2005):

$$\rho = \frac{P_{\text{atm}}}{R_d T} \left(1 - \frac{0,378e}{T} \right) \quad (3.6)$$

em que:

T - temperatura do ar, K

R_d - constante universal dos gases, igual a 287,04 J $\text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$

e - pressão atual de vpd, Pa

A Eq. 3.4 constitui o princípio fundamental do método da correlação de vórtices em turbilhão (*eddy correlation*). Esta técnica fornece diretamente a evaporação da água por meio da medição das flutuações w' e q' (Brutsaert, 1982; Tanny et al., 2008) e do cálculo do produto entre elas ($w'q'$) (correlação cruzada) integrado para intervalos em geral de 15 a 30 minutos (Brutsaert, 2010). O emprego deste método não se restringe apenas às superfícies hídricas mas tem sido amplamente utilizado na determinação do fluxo de calor latente (λE) a partir de superfícies vegetadas (diferentes graus de cobertura) e não vegetadas (solo nu, por exemplo); é considerado um método de referência para avaliação e parametrização de modelos de estimativa de λE .

A correlação de vórtices em turbilhão é igualmente utilizada para medir o fluxo de calor sensível H , um dos componentes do balanço de energia (Figura 3.2). Técnicas fundamentadas no balanço de energia serão apresentadas neste capítulo para estimativa da evaporação da água. O valor instantâneo de H é obtido por:

$$H = \rho c_p \overline{w'T'} \quad (3.7)$$

em que:

H - fluxo de calor sensível, J $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$

c_p - calor específico do ar a pressão constante, 1013 J $\text{kg}^{-1} \text{°C}^{-1}$ para ar úmido

T - desvio instantâneo da temperatura do ar em relação à média, °C

Segundo Allen et al. (1996) o conceito de correlação de vórtices fundamenta-se na correlação estatística entre fluxos verticais de vapor ou calor sensível, de acordo com os componentes para cima e para baixo de vórtices em turbilhão. Capturar essas flutuações requer medições rápidas (alta frequência) das propriedades T, w, e ou q. É comum o uso de frequências de 5 a 10 Hz, ou seja, cinco a dez medições a cada segundo.

A componente vertical da velocidade do vento (w) é geralmente medida usando-se um anemômetro sônico (Allen et al., 1996). A temperatura do ar (T) é medida com termopares ultrafinos (diâmetro da ordem de 13 μm). A umidade específica do ar (q) é medida usando-se higrômetros de resposta rápida. Todas as medições devem ser feitas no mesmo ponto do espaço para que correspondam às características do mesmo vórtice (Allen et al., 1996).

O método da correlação de turbilhões possui, como qualquer outro, vantagens e desvantagens. A principal vantagem é que permite medição direta da evaporação da água podendo, portanto, ser adotado como referência para avaliação de modelos de estimativa (Tanny et al., 2008). Constituem as principais desvantagens o alto custo do equipamento, a demanda por pessoal treinado em física da atmosfera e o grande volume de dados para processamento e análise, incluindo-se as várias correções que necessitam ser feitas nos dados (Burba & Anderson, 2010). No entanto e segundo esses autores, os resultados alcançados com o método compensam os investimentos em recursos financeiros, pessoal e tempo. Brutsaert (2010) também destaca a sensibilidade do método ao perfeito alinhamento vertical do sensor de velocidade do vento, o que pode levar o sensor a medir parte da componente horizontal u' como sendo w' . A observância de uma bordadura mínima durante a instalação dos sensores é outro aspecto relevante a ser observado, de forma a garantir o equilíbrio das propriedades do ar (umidade e temperatura) com a superfície evaporante (Allen et al., 1996).

Este método tem sido amplamente utilizado em estudos de evaporação da água. Em Israel, Tanny et al. (2008) instalaram um sistema de correlação de turbilhões para medir a evaporação da água de um reservatório de 600 m de lado e profundidade média de 3,5 m. O reservatório Eshkol é parte do sistema nacional de abastecimento hídrico daquele país. Por se tratar de um reservatório artificial, os sensores foram instalados a 75 cm acima do nível médio da água, numa plataforma permanente posicionada no centro do reservatório. Neste estudo a técnica de correlação de vórtices foi utilizada como referência para avaliação do desempenho de várias versões do modelo combinado de Penman (1948). A Figura 3.3 ilustra a estrutura montada pelos pesquisadores de Israel no referido reservatório.

Em Idaho, Estados Unidos, Allen & Tasumi (2005) utilizaram a correlação de vórtices (Figura 3.4) para estudar a evaporação da água do American Falls (42,8°N e 112,7°W), o maior reservatório daquele estado, na primavera-verão de 2005, quando áreas



Cortesia de Josef Tanny, Volcani Center, Israel

Figura 3.3 Exemplo de instrumentação micrometeorológica instalada no centro de um reservatório em Israel para estudo de evaporação da água

A.



B.



Cortesia de Richard Allen, University of Idaho, USA

Figura 3.4 Instrumentação às margens do reservatório American Falls, Idaho, Estados Unidos, mostrando um sistema de correlação de vórtices (A) e um sistema de razão de Bowen (B)

irrigadas se multiplicam no entorno. Diferente de Tanny et al. (2008), o equipamento no American Falls foi instalado nas margens do reservatório, paralelo a um sistema de razão de Bowen (Figura 3.4). Detalhes sobre a operacionalização do equipamento de razão de Bowen são apresentados no item 3.4 – Evaporação via Balanço de Energia. Segundo os autores, os fluxos evaporativos no American Falls foram, em média, 40% menores que a evapotranspiração (ET) de referência da alfafa, sugerindo que o reservatório apresenta relativa eficiência em armazenar água.

3.3.2 Em termos de variáveis médias

Neste grupo a principal técnica (*bulk-transfer approach*) se baseia na parametrização da média do produto das flutuações (Eq. 3.8) a partir de valores médios no tempo da velocidade do vento e da umidade específica do ar, medidos em dois níveis (alturas) acima da superfície evaporante. Matematicamente tem-se, para uso em superfícies hídricas:

$$E = \rho \overline{w'q'} = \rho C_e \bar{u}_1 (\bar{q}_s - \bar{q}_2) \quad (3.8)$$

em que:

C_e - coeficiente adimensional de transferência de massa, neste caso vpd

\bar{u} - velocidade média do vento na direção horizontal, $m s^{-1}$

q_s - umidade específica a nível da superfície evaporante, $kg kg^{-1}$

A Eq. 8 sugere que os níveis de medição da velocidade do vento e da umidade específica do ar são diferentes e indicados pelos subscritos 1 e 2. A umidade específica a nível da superfície evaporante, é aproximada por $q^*(T_s)$, ou seja, valor de saturação da umidade específica determinada em função da temperatura da água, T_s ($^{\circ}C$). A temperatura da superfície T_s é medida com o auxílio de um termômetro infravermelho. Segundo Brutsaert (1982), para um valor constante e conhecido de C_e esta técnica pode ser implementada em escala rotineira com dados médios de velocidade do vento (u), temperatura da superfície da água (T_s) e umidade específica do ar (q), obtidos regularmente.

Sob condições de atmosfera neutra e sendo o nível inferior para obtenção de q a própria superfície da água ($z = 0$), a estimativa de C_e é simplificada como se segue:

$$C_e = \frac{k^2}{\ln\left(\frac{z_2 - d_0}{z_{ov}}\right) \ln\left(\frac{z_1 - d_0}{z_{om}}\right)} \quad (3.9)$$

em que:

z_1 e z_2 - alturas de medição, respectivamente, da velocidade do vento e da umidade específica, m

- d_o - deslocamento do plano zero, m
 z_{ov} - coeficiente de rugosidade para o transporte de vpd, m
 z_{om} - coeficiente de rugosidade para o transporte de momentum, m
 k - constante de von Karman, igual a 0,41.

Em termos práticos, z_{ov} , z_{om} e d_o são determinados experimentalmente. No caso de superfície hídrica, $d_o = 0$ (Brutsaert, 2010). Tanny et al. (2008) justificam valor nulo para d_o na água ao explicar que cristas e vales das pequenas ondas virtualmente se anulam e assim a altura média da superfície não se altera. Valores tabelados de z_{om} para diferentes superfícies são apresentados por Brutsaert (2010). Para superfícies hídricas extensas, z_{om} varia de 0,0001 a 0,0005, correspondendo a valores de z_{ov} variando de 0,0005 a 0,0025, ou seja, $z_{ov} \cong 5 \cdot z_{om}$, para superfícies lisas, segundo o mesmo autor.

O coeficiente C_e varia com a altura de medição de u e q e depende se a atmosfera é estável, instável ou neutra, entre outros fatores (Brutsaert, 2010). Sobre pequenos reservatórios, o autor menciona que C_e pode depender da extensão da bordadura na direção contrária à predominante do vento. No caso de reservatórios de tamanho médio (1 a 10 km de espelho d'água), C_e seria independente da bordadura. No estudo da evaporação do American Falls, em Idaho, Allen & Tasumi (2005) adotaram $C_e = 0,0012$ com base em trabalho anterior de Kondo (1975). Este valor como primeira aproximação é recomendado por Brutsaert (2010), podendo haver, no entanto, para obtenção de melhores resultados, necessidade de calibrar C_e para cada reservatório.

Quando condições de atmosfera neutra não são garantidas e C_e varia significativamente, Brutsaert (1982, 2010) recomenda a utilização de métodos de perfil médio (*mean profile*) para estimativa da evaporação. Neste caso, a velocidade do vento e a concentração de vpd são medidas em dois ou mais níveis acima da superfície evaporante. Neste grupo de métodos a técnica mais conhecida inclui a razão de Bowen (β), definida como se segue:

$$\beta = \frac{H}{\lambda E} \quad (3.10)$$

em que:

- H - fluxo de calor sensível, $W m^{-2}$
 λE - fluxo de calor latente, $W m^{-2}$

Assumindo iguais os coeficientes de difusão turbulenta de vpd e calor (teoria da similaridade), pode-se reescrever β em termos das medições em dois níveis na camada de ar acima da superfície evaporante, como:

$$\beta = \frac{c_p(\bar{T}_1 - \bar{T}_2)}{\lambda(\bar{q}_1 - \bar{q}_2)} = \frac{c_p P_{atm}(\bar{T}_1 - \bar{T}_2)}{\lambda \varepsilon(\bar{e}_1 - \bar{e}_2)} = \gamma \frac{(\bar{T}_1 - \bar{T}_2)}{(\bar{e}_1 - \bar{e}_2)} \quad (3.11)$$

em que:

γ - constante psicrométrica, kPa °C⁻¹

T - temperatura do ar, °C

e - pressão atual de vpd, kPa

Combinando-se as Eqs. 3.10 e 3.11 e resolvendo para λE , tem-se:

$$\lambda E = \frac{H(\bar{e}_1 - \bar{e}_2)}{\gamma (\bar{T}_1 - \bar{T}_2)} \quad (3.12)$$

Portanto, conforme definida na Eq. 10, a razão de Bowen resulta numa expressão simples para estimativa da evaporação da água, em termos do fluxo de calor sensível e de valores médios de umidade e temperatura medidos na camada atmosférica acima da superfície evaporante (camada superficial, Figura 3.1). Determinação independente de H pode ser obtida por meio de medições da componente vertical do vento e temperatura do ar (Eq. 3.7).

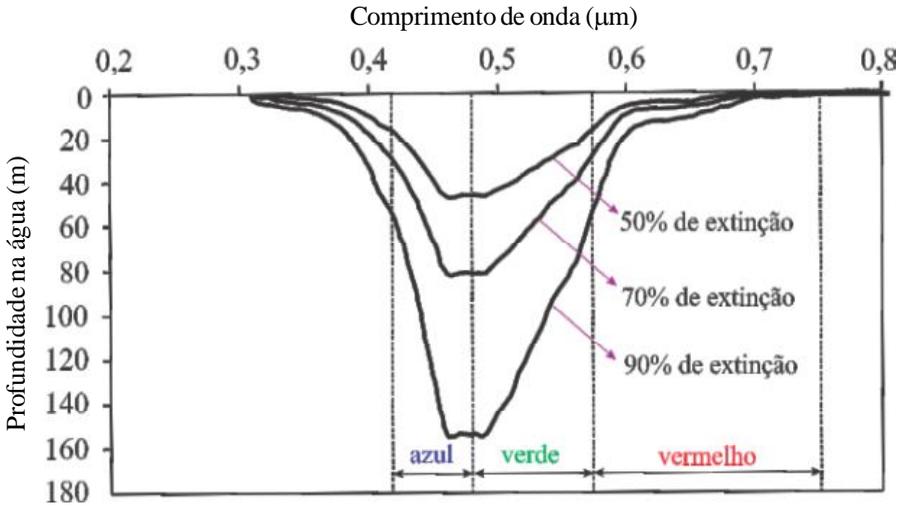
A Eq. 3.10 é combinada, comumente, com o balanço de energia para determinação da evaporação, conforme discutido no próximo item deste capítulo. Neste sentido, um método (aerodinâmico) serve de comparação independente para outro (energético).

3.4 EVAPORAÇÃO VIA BALANÇO DE ENERGIA

Em reservatórios profundos e de água relativamente clara, a massa hídrica armazena quantidades expressivas de energia. Este fenômeno ocorre em virtude da penetração da radiação solar na água, abaixo da superfície. A absorção da radiação solar em água pura varia amplamente com o comprimento de onda da radiação (Figura 3.5). A profundidade média de absorção é muito rasa para comprimentos de onda inferiores a 0,4 μm , mas é relativamente grande para comprimentos de onda entre 0,4 e 0,6 μm , intervalo em que se concentra principalmente a radiação visível azul e verde (Jensen, 2010).

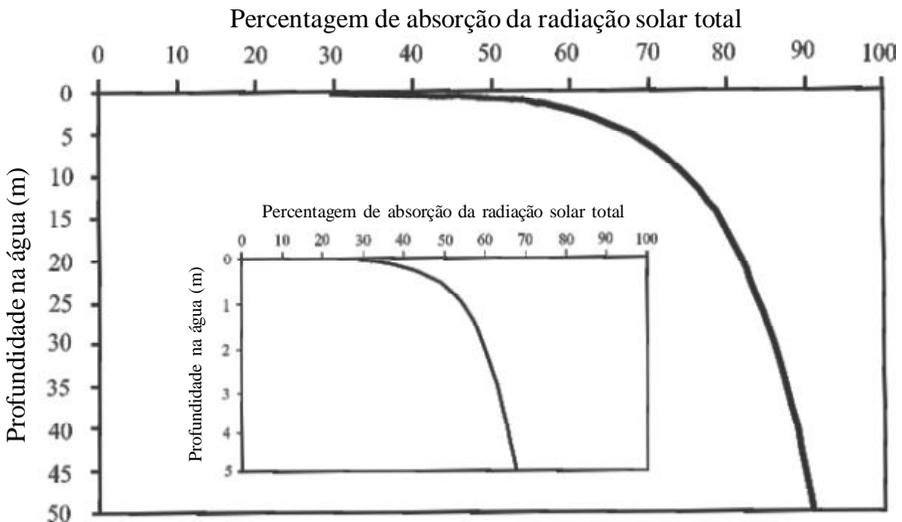
A curva de absorção da radiação solar, considerando-se 100% do intervalo espectral, em água pura, ou seja, completamente clara, é mostrada na Figura 3.6. Mais da metade da radiação solar incidente é absorvida até 1 m de profundidade. Em corpos hídricos naturais, no entanto, a profundidade até onde a radiação solar alcança, depende da turbidez da água (Allen & Tasumi, 2005), isto é, maior turbidez, menor a profundidade. A turbidez é uma medida de redução da transparência da água devido à absorção e ao espalhamento da luz por matéria em suspensão. Alteram a turbidez da água materiais dissolvidos ou em suspensão como sedimentos, fitoplâncton, bactérias, vírus, e substâncias orgânicas e inorgânicas presentes na água.

Sendo a evaporação um fenômeno de superfície, qualquer radiação solar armazenada como calor não fica imediatamente disponível para consumo na evaporação (Allen & Tasumi, 2005). O calor armazenado fica disponível quando transferido para a superfície, por condução e convecção.



Obs.: Adaptado de Jensen (2010)

Figura 3.5 Profundidade de penetração da radiação solar na água pura em função do comprimento de onda



Obs.: Adaptado de Jensen (2010)

Figura 3.6 Percentagem de absorção da radiação solar total com a profundidade em água pura

Em lagos e reservatórios de climas temperados, por exemplo, o calor é armazenado na primavera e verão e liberado para uso na evaporação durante o outono e inverno. Este descompasso se torna mais evidente nos corpos hídricos mais profundos como

observaram Yamamoto & Kondo (1968) em estudos no lago Nojiri (profundidade média de 21 m), Japão. Tasumi (2005) em revisão recente, apresentou resultados de vários estudos ocorridos naquele país. Em corpos hídricos de menor profundidade, por outro lado, incluindo o tanque classe A, a curva de evaporação da água segue a de radiação solar incidente; portanto, com evaporação máxima no verão.

O método do balanço de energia é muito demandante em dados e cálculos. Quando aplicado a corpos hídricos (reservatórios), há componentes específicos a se considerar pois a variação do armazenamento de energia na massa hídrica leva em conta, também, a energia transportada pelo acréscimo (*inflow*) e saída de água (*outflow*) e a energia removida pela evaporação em função da temperatura média da superfície (Jensen, 2010). Assim, reescrevendo a Eq. 3.13 em termos de fluxos diários, tem-se:

$$\delta Q_t = R_n - \lambda \rho_w E - H + Q_v - Q_w \quad (3.13)$$

em que:

δQ_t - variação diária da energia armazenada na água, MJ m⁻² dia⁻¹

R_n - saldo de radiação, MJ m⁻² dia⁻¹

$\lambda \rho_w E$ - energia convertida em calor latente, MJ m⁻² dia⁻¹

λ - calor latente de vaporização da água, MJ kg⁻¹

ρ_w - densidade da água, kg m⁻³

E - taxa de evaporação da água, m³ m⁻² dia⁻¹

H - fluxo de calor sensível na interface superfície-atmosfera, MJ m⁻² dia⁻¹

Q_v - energia líquida transportada (entradas-saídas), MJ m⁻² dia⁻¹

Q_w - energia transportada pela água evaporada, MJ m⁻² dia⁻¹

O saldo de radiação (R_n) pode ser medido com o auxílio de um saldo radiômetro ou estimado como se segue:

$$R_n = R_{ns} + R_{nl} = (R_g - \alpha_w R_g) + [R_{ai} - ((1 - \epsilon_w)R_{ai} + \epsilon_w \sigma T_s^4)] \quad (3.14)$$

em que:

R_{ns} - saldo de radiação de ondas curtas, MJ m⁻² dia⁻¹

R_{nl} - saldo de radiação de ondas longas, MJ m⁻² dia⁻¹

R_g - radiação solar incidente (direta + difusa), MJ m⁻² dia⁻¹

α_w - albedo da água, adimensional

R_{ai} - radiação atmosférica incidente, MJ m⁻² dia⁻¹

ϵ_w - emissividade da água, adimensional

σ - constante de Stefan-Boltzmann, 4,901·10⁻⁹ MJ m⁻² dia⁻¹ K⁻⁴

T_s - temperatura da superfície hídrica, K.

A radiação solar incidente (R_g) pode ser medida com um piranômetro ou estimada com base na temperatura do ar via equação de Hargreaves (Hargreaves, 1985) ou na

razão entre o número real (n) e o número máximo de horas de brilho solar (N) via equação de Angstrom (Black et al., 1954). O albedo da água (α_w), cujo valor médio varia de 0,04 a 0,15 (Brutsaert, 1982; 2010) depende de vários fatores relacionados à qualidade da água, rugosidade da superfície (agitação da água) e inclinação da radiação incidente. Jensen et al. (2005) estimaram α_w a partir da altura do sol (graus) em estudo de evaporação no Lago Berryessa, Califórnia. A emissividade da água (ε_w) varia de 0,92 a 0,97 (Arya, 2001). Jensen et al. (2005) utilizaram 0,97 e Allen & Tasumi (2005) usaram $\varepsilon_w = 0,99$ no reservatório American Falls, Idaho. A diferença ($1 - \varepsilon_w$) é o “albedo” de onda longa, da ordem de 0,03. A temperatura da superfície hídrica (T_s) pode ser medida com um termômetro infravermelho.

A radiação atmosférica incidente (R_{ai}) depende da emissividade atmosférica que, por sua vez, é função da temperatura da atmosfera e grau de cobertura do céu pelas nuvens. A estimativa da emissividade atmosférica em dias de céu claro é razoavelmente simples e vários modelos estão disponíveis (Brutsaert, 1975; Prata, 1996), em geral baseados na pressão atual de vapor d’água (e_a) e temperatura do ar (T_a) medidas na estação meteorológica. Para condições de céu coberto com nuvens, a emissividade pode ser estimada com um modelo sugerido por Monteith & Unsworth (2008).

Jensen et al. (2005) estimaram o saldo de radiação de ondas longas (R_{nl}) na superfície do lago Berryessa, usando um modelo semelhante ao da FAO 56 (Allen et al., 1998) que calcula a emitância de onda longa para céu claro e a corrige para o efeito da nebulosidade, como se segue:

$$R_{nl} = \sigma T_s^4 \left(0,38 - 0,14\sqrt{e} \right) \left(1,28 \frac{R_g}{R_{go}} - 0,28 \right) \quad (3.15)$$

em que:

- e - pressão atual de vapor d’água obtida na estação meteorológica, kPa
- R_{go} - radiação solar incidente em dia de céu claro, MJ m⁻² dia⁻¹

O modelo mais simples para obtenção de R_{go} estima a transmissividade atmosférica com base na altitude local, como se segue:

$$R_{go} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5}A)R_o \quad (3.16)$$

em que:

- A - altitude local, m
- R_o - radiação solar extraterrestre, MJ m⁻² dia⁻¹

A radiação solar extraterrestre é a radiação incidente no topo da atmosfera, estimada corrigindo-se a constante solar pela distância relativa Terra-Sol e pelo cosseno do

ângulo zenital, obtidos em função da época do ano e latitude local. Allen et al. (1998) apresentaram todos os passos para estimativa de R_o .

O componente Q_w na Eq. 13, representa a energia transportada, ou seja, subtraída da massa hídrica pela água evaporada (Jensen et al., 2005). Q_w corresponde a menos de 1% do calor latente utilizado na evaporação (λE) sendo, portanto, comumente desprezado no cômputo do balanço de energia do reservatório (Allen & Tasumi, 2005). O valor de Q_w pode ser calculado como se segue:

$$Q_w = \rho_w C_w \frac{E}{1000} T_s \quad (3.17)$$

em que:

C_w - calor específico da água, MJ kg⁻¹ K⁻¹

E - taxa de evaporação, mm dia⁻¹

T_s - temperatura da superfície hídrica, K

1000 - constante usada para converter mm em m

O componente Q_v compreende vários processos de entrada e saída de água que podem alterar o calor armazenado na massa hídrica, como escoamento superficial, aporte artificial de água, precipitação etc. (entradas) e infiltração lateral e no fundo do reservatório, bombeamento da água, liberação via vertedouros etc. (saídas). Matematicamente, Q_v por unidade de área e tempo em regiões tropicais pode ser estimado como se segue (Jensen, 2010):

$$Q_v = (V_r T_r + V_p T_p + V_i T_i - V_o T_o) \frac{\rho_w C_w}{A} \quad (3.18)$$

em que:

V_r - volume de água de escoamento difuso para dentro da bacia hidráulica, m³ dia⁻¹

T_r - temperatura da água de escoamento, K

V_p - volume de água precipitada na bacia hidráulica, m³ dia⁻¹

T_p - temperatura da água de precipitação, K

V_i - volume de água de entrada na bacia hidráulica via curso d'água (rio), m³ dia⁻¹

T_i - temperatura da água do curso principal, K

A - área superficial da bacia hidráulica, m²

Argumenta Jensen (2010) que a energia transportada para a massa hídrica como prevê a Eq. 18, é muito pequena quando comparada a outros termos do balanço de energia, podendo ser, por isso mesmo, desprezada em muitos estudos. Em alguns casos, porém, é um termo relevante, como no da água represada próximo ao corpo da barragem, ponto em que a água tende a apresentar temperaturas muito baixas com a

profundidade e, quando liberada, pode causar variação significativa no armazenamento de energia da massa hídrica.

Um dos maiores empecilhos à aplicação do balanço de energia ou de qualquer método combinado, é estimar a energia armazenada ou liberada do reservatório quando dados de temperatura da água não estão disponíveis (Jensen, 2010). Em havendo dados, o componente Q_t pode ser estimado através da análise sucessiva de perfis de temperatura (Brutsaert, 2010); como exemplo, a Figura 3.7 ilustra dois perfis de temperatura da água, obtidos no verão e outono no Lago Berryessa, Califórnia, Estados Unidos (Jensen et al., 2005).

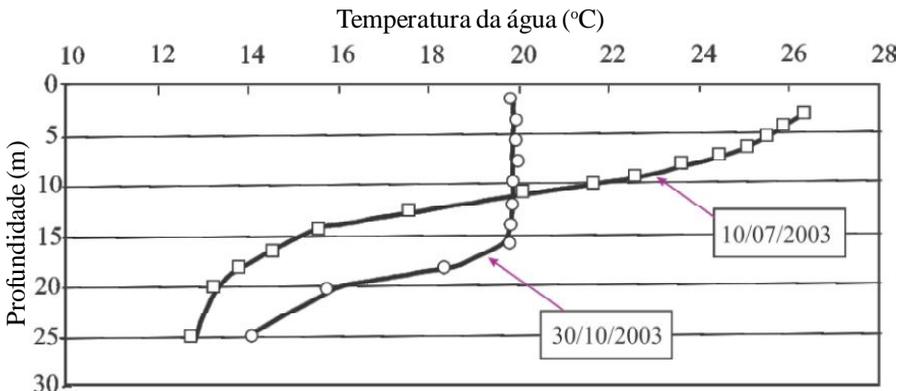


Figura 3.7 Perfil termal do Lago Berryessa, Califórnia, Estados Unidos, em dia de verão (10 de julho de 2003) e outono (30 de outubro de 2003)

Com base em perfis termais, Jensen et al. (2005) derivaram modelos lineares para estimativa de Q_t naquele lago, em função dos balanços de onda curta e onda longa, como mostrado a seguir:

$$\delta Q_t = 0,5R_{ns} - 0,8R_{nl}, \text{ para } DDA < 180 \quad (3.19a)$$

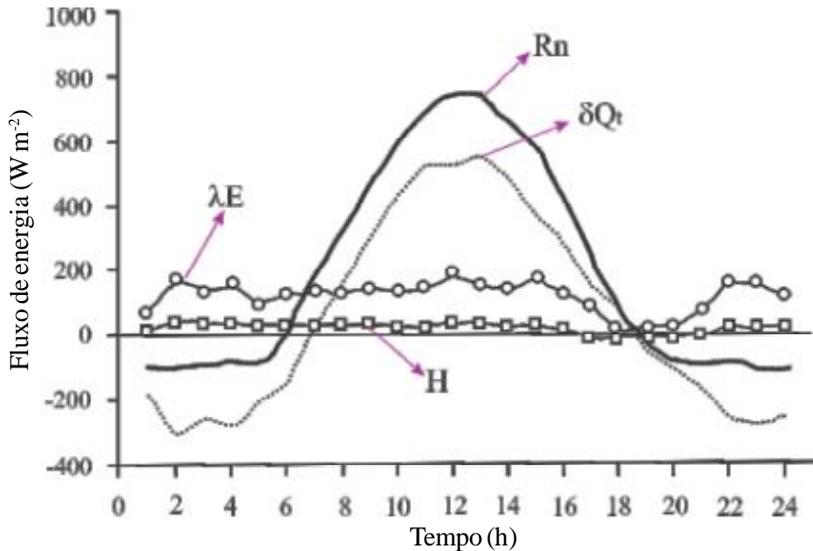
$$\delta Q_t = 0,5R_{ns} - 1,3R_{nl}, \text{ para } DDA > 180 \quad (3.19b)$$

em que:

DDA - número de ordem do dia do ano

Allen & Tasumi (2005) estudaram a evaporação da água do reservatório American Falls, sul de Idaho. Instrumentos instalados e operados na margem do lago permitiram a coleta de dados para solução de modelos aerodinâmicos e do balanço de energia. Neste estudo, os autores negligenciaram Q_w e Q_v e obtiveram δQ_t como termo residual na Eq. 13. Portanto, δQ_t pode ser obtido via perfis de temperatura ou como termo

residual do balanço de energia. A Figura 3.8 ilustra a variação média horária do δQ_t em relação aos demais componentes do balanço de energia no mês de julho de 2004, segundo Allen & Tasumi (2005).



Obs.: Adaptado de Allen & Tasumi (2005)

Figura 3.8 Média horária dos componentes R_n , λE , H e densidade de fluxo de energia armazenada (δQ_t) durante o mês de julho de 2004 para o reservatório American Falls, Idaho

Definidos os procedimentos de obtenção de R_n e δQ_t , a determinação da evaporação da água do reservatório (λE) como resíduo do balanço de energia requer, necessariamente, o cálculo do fluxo de calor sensível (H) por um método aerodinâmico (Eq. 7); neste caso δQ_t é obtido via perfis de temperatura.

Allen & Tasumi (2005) também utilizaram no reservatório American Falls, um sistema de razão de Bowen (Eqs. 10 e 11), conforme mostra a Figura 3.4. As posições dos equipamentos (correlação de vórtices e razão de Bowen) eram ajustadas em função do avanço ou recuo do leito do reservatório, de modo que os instrumentos pudessem ficar o mais próximo possível do leito para leituras representativas na camada atmosférica desenvolvida sobre o reservatório.

A equação do balanço de energia com razão de Bowen para estimativa da evaporação, é:

$$\lambda E = \frac{R_n - \delta Q_t}{1 + \beta} \quad (3.20)$$

em que:

β - razão de Bowen, adimensional

Δ - diferença de valores da propriedade do ar entre as alturas 1 e 2

3.5 EVAPORAÇÃO VIA MODELOS COMBINADOS

Uma equação consistindo de um componente energético e outro aerodinâmico para estimativa da evaporação, tem as vantagens do método do balanço de energia sem, no entanto, demandar muitos dados, porque o uso de modelos deste tipo requer a medição de variáveis meteorológicas em apenas uma única altura acima da superfície (Brutsaert, 1982; Oke, 1995), facilitando a aplicação prática, especialmente nos dias de hoje, com a proliferação de sensores eletrônicos de custo mais acessível.

O modelo combinado de uso mais comum é o de Penman (Penman, 1948), aqui apresentado em sua forma geral para reservatórios (Jensen, 2010):

$$\lambda E = \frac{\Delta(R_n - \delta Q_t) + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} \quad (3.21)$$

em que:

λE - fluxo de calor latente, MJ m⁻² dia⁻¹

γ - constante psicrométrica, 0,066 kPa °C⁻¹

Δ - inclinação da curva de pressão de saturação de vpd em temperatura média do ar, kPa °C⁻¹

E_a - termo aerodinâmico, MJ m⁻² dia⁻¹

O termo aerodinâmico expresso em MJ m⁻² dia⁻¹, contém a seguinte função empírica do vento (Jensen, 2010):

$$E_a = 6,43(a_w + b_w U_z)(e_z^0 - e_z) \quad (3.22)$$

em que:

a_w e b_w - são coeficientes da função vento

U_z - velocidade horizontal do vento na altura z acima da superfície, m s⁻¹

e_z^0 - pressão de saturação de vpd na altura z, kPa

e_z - pressão atual de vpd na altura z, kPa

z - altura acima da superfície, m

A constante 6,43 é necessária para expressar λE em MJ m⁻² dia⁻¹. Este fator se torna 0,268 para λE em MJ m⁻² h⁻¹. Vários valores para os coeficientes empíricos a_w e b_w têm sido propostos (Penman, 1948; Cuenca & Nicholson, 1982). Penman (1948) propôs, inicialmente, $a_w = 1,0$, mas com base nos estudos do Lago Hefner, em Oklahoma,

Estados Unidos, alterou-o mais tarde para 0,5 (Penman 1956, 1963) e $b_w = 0,54 \text{ s m}^{-1}$ com $z = 2 \text{ m}$ e computado, usando a temperatura média diária.

No Lago Berryessa, Jensen et al. (2005) usaram a equação de Penman-Monteith para estimar a evaporação. Nesta equação se faz, por definição, a resistência da superfície ao fluxo de vpd (r_s) nula e $\lambda ET = \lambda E$, já que não há transpiração. Considerando igualmente nulo o componente Q_w (energia transportada com a água evaporada) e assumindo Q_v significativo, a forma da equação de Penman-Monteith tal como utilizada por Jensen et al. (2005) para intervalos diários, é:

$$\lambda E = \frac{\Delta(R_n - \delta Q_t + Q_v) + \rho_a c_p (e_z^o - e_z)/r_a}{\Delta + \gamma} \quad (3.23)$$

em que:

- r_a - resistência aerodinâmica ao transporte turbulento de calor, s m^{-1}
- γ - constante psicrométrica, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$

A resistência aerodinâmica (r_a) para as estimativas diárias de λE , pode ser obtida, como se segue, para condições de neutralidade atmosférica:

$$r_a = \frac{\text{Ln}\left(\frac{z_U - d}{z_{om}}\right) \text{Ln}\left(\frac{z_T - d}{z_{oh}}\right)}{k^2 U_z} \quad (3.24)$$

em que:

- z_U - altura de medição da velocidade do vento U_z , m
- z_T - altura de medição da temperatura do ar T, m
- d - deslocamento do plano zero, m
- z_{om} - altura de rugosidade superficial para transferência de momentum, m
- z_{oh} - altura de rugosidade superficial para transferência de calor, m
- k - constante de von Karman constante = 0,41
- U_z - velocidade horizontal do vento medida à altura z, m s^{-1}

Como mencionado anteriormente, o valor de d para superfícies hídricas pode ser assumido nulo (Brutsaert, 1982; Tanny et al., 2008). Para z_{om} pode-se adotar um valor entre 0,0001 a 0,0006 m e, para z_{oh} o valor é geralmente semelhante a z_{om} ou mesmo excedendo aquele quando aplicado à água (Brutsaert, 1982, 2010).

Inúmeros estudos reportam o uso de modelos combinados, bem como de outros mais simples, para estimativa da evaporação da água a partir de superfícies livres (Warnaka & Pochop, 1988; Winter et al., 1995; Singh & Xu, 1997). Em estudo recente de evaporação de reservatório em Israel, Tanny et al. (2008) empregaram várias formulações do modelo combinado de Penman em comparação com medições via

correlação de vórtices em turbilhão. A diferença básica entre as formulações estava na equação utilizada para estimar o termo aerodinâmico (E_a) da equação original de Penman (Eq. 21). Das cinco formulações avaliadas as melhores estimativas diárias da evaporação no período estudado (média 3% menor em relação à correlação de turbilhões) foram obtidas com as chamadas formulações Penman-Monteith-Unsworth [$E_a = (\rho \cdot c_p / \gamma \cdot r_a) (e_s - e_a)$] e Penman-Brutsaert [$E_a = f(u)(e_s - e_a)$].

Um aspecto importante a considerar no uso de modelos combinados segundo Jensen (2010), é que de uma estação em terra não se pode esperar dados meteorológicos que representem fielmente uma superfície hídrica. Um exemplo deste caso é o estudo de Amayreh (1995), que estimou a evaporação do Lago do Urso (profundidade média de 30 m), na fronteira Idaho-Utah, usando o modelo de PM com dados coletados por uma estação meteorológica próxima (em terra). A evaporação diária estimada do lago mostrou-se maior no verão e menor no inverno. Também no verão o calor sensível H no lago, calculado como resíduo do balanço de energia (Eq. 13), mostrou-se consistentemente negativo. Esta tendência para o H não era de se esperar e ocorreu provavelmente porque o calor latente λE foi superestimado no verão em detrimento do armazenamento de calor Q_t na massa hídrica. Este exemplo sugere que a evaporação de lagos profundos não pode ser estimada pela equação de PM com dados de uma estação meteorológica regional (tipo estações oficiais), sem se considerar o efeito da energia armazenada no reservatório (Tasumi, 2005).

3.6 TANQUES DE EVAPORAÇÃO

Medir diretamente a evaporação em reservatórios (lagos, açudes, etc) via variação de nível da água é, por exemplo, praticamente impossível, pois além da evaporação, vários outros componentes do balanço hídrico alteram a profundidade da lâmina d'água (Jones, 1992).

Em tanques com menor volume de água tem-se um controle maior, sendo possível medir diretamente e com mais precisão a lâmina d'água evaporada (Volpe & Oliveira, 2003). A evaporação do tanque normalmente excede a evaporação do lago e, portanto, a lâmina d'água evaporada do tanque é reduzida por um fator denominado coeficiente do tanque, para se estimar a evaporação do reservatório.

O método parte da premissa de que há uma correlação positiva entre as lâminas evaporadas do reservatório e do tanque, estando este instalado nas proximidades daquele e, portanto, em condições atmosféricas semelhantes. Assim:

$$E_{V_R} = k_T E_{V_T} \quad (3.25)$$

em que:

E_{V_R} - altura de lâmina d'água evaporada do reservatório, mm

k_T - coeficiente do tanque, adimensional

E_{V_T} - altura de lâmina d'água evaporada do tanque, mm

Vários são os fatores que afetam a evaporação da água nos tanques, além das condições atmosféricas (radiação solar, temperatura, umidade do ar e ventos). Jones (1992) ainda acrescenta: o tipo de tanque utilizado, o ambiente no entorno do tanque (bordadura no sentido oposto ao do vento), operação e manuseio (incluindo a turbidez da água) e as trocas de calor entre o tanque e a superfície do solo.

Existem diversos tipos de tanques reportados na literatura, com diferentes características de construção, instalação e operação, fato que tornou uns mais aceitos que outros. Os mais utilizados são o tanque Classe A do *National Weather Service Bureau* dos Estados Unidos, o tanque telado de Young, o tanque Colorado, o tanque BPI, o tanque GGI-3000 e o GGI-20 m². Existem ainda os tanques flutuantes. A Tabela 3.1 apresenta as características dos vários tipos de tanques evaporimétricos, não incluindo os flutuantes. Com exceção do tanque Classe A, os demais são instalados enterrados com o limite superior da água a nível do solo e variação máxima permitida de 50 mm, para reposição.

O tanque Classe A é um dos mais utilizados em estudos de evaporação de lagos (Jones, 1992; Jensen, 2010) e se tem tornado mundialmente aceito, inclusive no Brasil,

Tabela 3.1 Características de alguns tanques de evaporação

Tanque	Dimensões (cm)				Detalhes
	D	L	C	P	
Classe A (*)	121	-	-	25	Metálico, em chapa de aço-galvanizado.
Young	61	-	-	91	Enterrado 84 cm. Instalado coberto por tela (orifício de 0,64 cm). Água ao nível do solo no limite superior. Origem: Estados Unidos.
Colorado	-	91	91	46	Enterrado 36 cm. Água ao nível do solo no limite superior. Variação máxima de 50 mm no nível da água. Origem: Estados Unidos.
BPI	183	-	-	61	Enterrado 51 cm. Água ao nível do solo no limite superior. Metálico, em chapa de aço galvanizado. Origem: Estados Unidos.
GGI-3000	62	-	-	60 na parede 68 no centro	Formato cilíndrico com base cônica. Enterrado 60 cm. Metálico, em chapa de aço galvanizado. Ainda muito utilizado no leste da Europa. Espelho d'água de 3000 cm ² . Origem: Rússia.
Symons	-	183	183	61	Enterrado 53 cm. Água ao nível do solo no limite superior. Origem: Inglaterra.
GGI-20 m ²	500	-	-	200	Enterrado 192 cm, com base plana de concreto ou chapa espessa de aço galvanizado. Espelho d'água de 20 m ² . Água ao nível do solo no limite superior. Origem: Rússia.

Obs.: Adaptado de Jones (1992)

D = diâmetro; L = largura; C = comprimento e P = profundidade

(*) Mais detalhes no texto

devido também ao seu uso em manejo da irrigação, já que desde 1977 (Doorenbos & Pruitt, 1977) existem coeficientes de tanque para estimativa da evapotranspiração (ET) de referência, a partir de Ev_T (Eq. 25). Para a mesma finalidade, Allen et al. (1998) também apresentaram coeficientes do tanque Colorado.

Detalhes de um conjunto evaporimétrico Classe A são mostrados na Figura 3.9. O tanque Classe A é instalado sobre uma base de madeira e em nível, o que o mantém a aproximadamente 15 cm acima da superfície. Essa distância impede trocas de calor diretamente com o solo, porém não impede trocas de calor entre o ar e o tanque em toda a sua extensão condição que, naturalmente, não ocorre nos lagos e reservatórios (Jones, 1992).



Figura 3.9 Conjunto evaporimétrico Classe A e seus componentes: poço tranquilizador com micrômetro de gancho, tanque propriamente dito e estrado de madeira. Detalhe de um micrômetro de gancho à direita

Quando em operação, a profundidade máxima de água no tanque é de 22,5 cm e a mínima de 20 cm correspondendo, portanto, a uma variação de nível máxima permitida de 25 mm. Quando o nível mínimo é alcançado o tanque é zerado, acrescentando-se água até o limite superior. As leituras são feitas com o micrômetro de gancho (escala vertical graduada em mm), apoiado numa peça também metálica, denominada poço tranquilizador (Figura 3.9). Como o próprio nome sugere, o objetivo do poço é manter o nível da água parado quando da leitura. No fundo do poço há um orifício para entrada da água. A leitura é feita quando a ponta do gancho tangencia o nível da água por baixo; isto se consegue girando a escala horizontal, o que faz a vertical se movimentar para cima ou para baixo. Ao se alcançar a posição desejada faz-se a leitura dos inteiros na escala vertical e dos décimos na escala horizontal.

Não havendo chuva, a diferença entre duas leituras consecutivas é a lâmina d'água evaporada. Caso ocorra chuva no intervalo entre duas leituras (geralmente 24 h), o tanque funcionará como pluviômetro e a lâmina precipitada entrará no cômputo

da evaporada. Pode ocorrer de a água no tanque transbordar, o que neste caso invalida totalmente o registro da evaporação para aquele dia. O cálculo da lâmina d'água evaporada é feita como se segue:

$$Ev_T = L_{i-1} - L_i + P + H_T \quad (3.26)$$

em que:

Ev_T - lâmina d'água evaporada entre leituras sucessivas, mm

L_{i-1} - leitura inicial do nível da água, mm

L_i - leitura final do nível da água, mm.

P - lâmina d'água medida no pluviômetro, mm.

H_T - lâmina d'água transbordada do tanque (desconhecida), mm.

Como em qualquer processo de medição, também no tanque Classe A existem erros associados às leituras. Segundo Villa Nova et al. (2005), um dos problemas quando se usa o micrômetro de gancho está relacionado à capacidade do observador de utilizar um nônio (escala horizontal) e também visualizar com perfeição o ponto de contato do micrômetro com a água. Atualmente, é possível automatizar a leitura dos tanques evaporimétricos por meio de sensores de pressão conectados a um sistema de coleta e armazenamento de dados. Esta alternativa elimina os erros aleatórios associados à manipulação do micrômetro de gancho ou qualquer outra escala que dependa de leitura manual. Nessa linha, Chow (1994) desenvolveu um sistema eletrônico completo de medição automática e simultânea da evaporação e da chuva.

No uso de tanques evaporimétricos para estimativa da evaporação de lagos e reservatórios, Pereira et al. (1997) destacam algumas limitações do método, relacionadas à dependência do coeficiente k_T e o tipo de tanque e aos problemas de exposição do tanque. Neste caso, pode-se ter: (a) tanque flutuante sobre o lago; (b) tanque instalado nos limites da borda do lago (em terra mas sob influência da presença do lago); (c) instalado nas vizinhanças do lago, mas, afastado o suficiente para não ser influenciado pelo lago, e (d) instalado em ambiente terrestre, sem lago, a partir do que são feitas projeções de evaporação em reservatórios e futuros lagos. Outro aspecto a ser considerado é que tais coeficientes são dependentes da extensão da superfície e da profundidade do corpo d'água, tal como, também, das condições de cobertura de superfície no entorno.

Fu et al. (2004) estudaram coeficientes de tanques para conversão de água evaporada em superfícies livremente expostas à atmosfera, baseados em 6 anos de evaporação do Rio Nansihu, na China, utilizando 14 tipos de tanques diferentes. Entre algumas de suas conclusões, observaram que o coeficiente encontrado depende do tipo de tanque, em razão do modo de instalação, estruturas e sua composição. O tanque de 20 cm de diâmetro apresentou coeficiente médio anual de 0,6 e o tanque de 100 m² indicou evaporação praticamente igual à do tanque GGI-20 m².

Oliveira (2003) usou, no semiárido do Nordeste (Cariri e Sertão da Paraíba) diferentes tipos de tanques evaporimétricos com a finalidade de determinar o mais adequado e viável processo de medida. O autor observou que, devido à sua exposição e constituição metálica, o tanque classe A foi muito mais influenciado pelas condições atmosféricas, resultando em superestimativa da evaporação ao tanque GGI-20 m². Com o uso de tanques tubulares de cimento, as medidas da evaporação foram muito mais precisas; ao contrário do observado com o tanque Classe A, que apresentou maior variação nos valores de k_T (0,93 a 0,76), entre os períodos frio e quente, os tubulares mostraram menores variações no k_T (1,00 a 0,93).

Após utilizar o modelo de Penman-Monteith (Eq. 23) para avaliar o uso do tanque Classe A para estimativa da evaporação do Lago Berryessa, na Califórnia, Jensen et al. (2005) concluíram que o uso de dados meteorológicos diários, estimativas do calor armazenado (Eqs. 19a e 19b) e controle da energia líquida em trânsito (Eq. 18) em conjunto com o modelo de Penman-Monteith forneceram estimativas diárias aceitáveis da evaporação do lago.

Este é um exemplo de que alternativas existem ao uso de tanques de evaporação para operacionalização de reservatórios, evitando problemas comuns como: (a) falta de representatividade associada, por exemplo, a diferenças no armazenamento de calor, não contabilização pelo tanque da energia em trânsito no reservatório e bordadura deficiente na direção oposta aos ventos predominantes; (b) mudanças na posição do tanque (no caso do tanque Classe A) para locais muito diferentes daqueles de onde os coeficientes foram derivados; (c) manutenção inadequada da área onde o tanque está instalado, com problemas de sombreamento; (d) qualidade da água no interior do tanque, com impurezas e elevada turbidez e (e) variação de nível da água devido ao acesso ao tanque, de animais terrestres e pássaros.

3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desta revisão são destacados os seguintes aspectos mais relevantes:

1. Informação sobre as taxas de evaporação da água de reservatórios é de ampla aplicação no manejo da água para fins de abastecimento tanto em áreas rurais quanto urbanas. É de especial importância em zonas áridas e semiáridas onde os totais de água evaporada superam os de precipitação, exigindo, portanto, nessas regiões planejamento mais criterioso do uso dos recursos hídricos.

3. A utilização de tanques evaporimétricos fornece, de forma prática, estimativas da evaporação de superfícies livres de água, entretanto vários fatores afetam a precisão e confiabilidade destas medidas: tipo de tanque utilizado, instalação e operação do tanque, precisão nas leituras e dependência de coeficientes empíricos para transformar as medidas em evaporação de reservatórios.

4. Os métodos aerodinâmicos e energéticos empregados na determinação da evaporação de reservatórios são mais indicados que os métodos baseados no balanço de massa, apesar deste apresentar conceituação mais sólida. O balanço de massa é

difícil de ser aplicado, pois a estimativa da evaporação requer a determinação da percolação da água no fundo do reservatório.

5. O método aerodinâmico da correlação de vórtices em turbilhão mede diretamente a taxa de evaporação e a despeito do alto custo dos equipamentos e da necessidade de pessoas qualificadas para operá-lo e interpretar os dados, é considerado referência para o ajuste de modelos de estimativas.

6. Massas hídricas armazenam mais energia que o solo e a magnitude dos componentes do balanço de energia variam com a dimensão do lago (profundidade) e turbidez da água. Os efeitos da turbidez da água sobre as taxas de evaporação, especialmente em regiões tropicais demandam mais estudos com possível estabelecimento de modelos de estimativa, partindo da premissa de que águas turvas evaporam a maiores taxas em relação a águas transparentes.

7. Medições da evaporação da água de reservatórios por métodos micrometeorológicos podem contribuir para melhorar a precisão das estimativas baseadas em produtos de sensoriamento remoto. Nesse contexto, o papel da turbidez da água é relevante devido à variabilidade espacial da qualidade da água numa mesma cena e da variabilidade temporal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO. 300p. 1998. Irrigation and Drainage paper no. 56
- Allen, R. G.; Pruitt, W. O.; Businger, J. A.; Fritschen, L. J.; Jensen, M. E.; Quinn, F. H. Evaporation and Transpiration. In Wooton, T. P.; Cecilio, C. B.; Fowler, L. C.; Hui, S. L. (ed.) Hydrology Handbook, New York: ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice no. 28, Chapter 4, p.125-252, 1996.
- Allen, R. G.; Tasumi, M. Evaporation from American Falls Reservoir in Idaho via a combination of Bowen ratio and eddy covariance. In: EWRI World Water and Environment Resource Congress of the ASCE, Anchorage, 2005. Proceedings... Anchorage. 2005. 17p.
- Amayreh, J. A. Lake evaporation: a model study. Logan: Utah State University, 1995. 178p. PhD Dissertation
- Arya, S. P. Introduction to Micrometeorology. 2.ed. New York: Academic Press, 2001. 420p. International Geophysics Series no. 79
- Black, J. N.; Bonython, C. W.; Prescott, J. A. Solar radiation and duration of sunshine. Proceedings of the Royal Meteorological Society, v.80, p.231-235. 1954.
- Brutsaert, W. On a derivable formula for long wave radiation from clear skies. Water Resources Research, v.11, p.742-744, 1975.
- Brutsaert, W. Evaporation into the atmosphere: theory, history, and applications. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1982. 299p. Environmental Fluid Mechanics Series

- Brutsaert, W. Hydrology: An introduction. New York: Cambridge University Press, 2010. 610p.
- Burba, G. G.; Anderson, D. J. A brief practical guide to eddy covariance flux measurements: principles and workflow examples for scientific and industrial applications. Lincoln: LI-COR Biosciences, 2010. 211p.
- Chow, T. L. Design and performance of a fully automated evaporation pan. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.68, p.187-200, 1994.
- Cuenca, R. H.; Nicholson, M. T. Application of Penman equation wind function. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE*, v.108, p.13-23, 1982.
- Doorenbos, J.; Pruitt, W. O. Guidelines for prediction of crop water requirements. 2.ed., Rome: FAO, 1977. 179p. FAO Irrigation and drainage Paper, 24
- Fu, G.; Liu, C.; Chen, S.; Hong, J. Investigation of conversion coefficients for free water surface evaporation of different evaporation pans. *Hydrological Processes*, v.18, p.2247-2262, 2004.
- Garratt, J. R. The atmospheric boundary layer. Cambridge: Cambridge University Press. 1992. 316p. Cambridge Atmospheric and Space Science Series
- Ham, J. M. Useful equations and tables in Micrometeorology. In: Viney, M. K.; Hatfield, J. L.; Baker, J. M. *Micrometeorology in agricultural systems*. Madison: ASA/CSSA/SSSA, Chapter 23, 2005. p.533-560. Agronomy Monograph 47
- Hargreaves, G. H.; Samani, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, v.1, p.96-99. 1985.
- Jensen, M. E. Estimating evaporation from water surfaces. In: CSU/ARS Evapotranspiration Workshop, Fort Collins, 2010. Proceedings... Fort Collins: ARS, 2010. 26p.
- Jensen, M. E.; Dotan, A.; Sanford, R. Penman-Monteith estimates of reservoir evaporation. In: ASCE Conference Palmer, 2005. Proceedings... Palmer: ASCE, 2005. 23p.
- Jones, F. E. Evaporation of water: With emphasis on applications and measurement. Chelsea: Lewis Publishing, 1992. 200p.
- Kondo, J. Air-sea bulk transfer coefficients in diabatic conditions. *Boundary-Layer Meteorology*, v.9, p.91-112, 1975.
- Monteith, J. L.; Unsworth, M. Principles of environmental physics. 3.ed. New York: Academic Press. 2007. 440p.
- Oliveira, G. M. Estudo da evaporação nas microrregiões do Cariri e Sertão da Paraíba. Campina Grande: UFCG, 2003. 203p. Tese Doutorado
- Oke, T. R. *Boundary Layer Climates*. 2.ed. London: Routledge, 1995. 434p.
- Prata, A. J. A new long-wave formula for estimating downward clear-sky radiation at the surface. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v.122, p.1127-1151, 1998.
- Penman, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London*, v. A193, p.120-146. 1948.
- Penman, H. L. Evaporation: An introductory survey. *Netherlands Journal of Agricultural Research*, v.4, p.9-29. 1956.

- Penman, H. L. *Vegetation and hydrology*. Harpenden: Commonwealth Bureau of Soils, 1963. 125p. Technical Communication no. 53
- Pereira, A. R.; Villa Nova, N. A.; Sedyama, G. C. *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- Singh, V.P.; Xu, C.Y. Evaluation and generalization of 13 mass-transfer equations for determining free water evaporation. *Hydrological Processes*, v.11, p.311-323. 1997.
- Swinbank, W. C. The measurement of vertical transfer of heat and water vapor by eddies in the lower atmosphere. *Journal of Meteorology*, v.8, p.135-145, 1951.
- Stull, R. *An introduction to boundary layer meteorology*. Heidelberg: Springer-Verlag. 1988. 683p.
- Tanny, J.; Cohen, S.; Assouline, S.; Lange, F.; Grava, A.; Berger, D.; Teltch, B.; Parlange, M.B. Evaporation from a small water reservoir: Direct measurements and estimates. *Journal of Hydrology*, v.351, p.218-229, 2008.
- Tasumi, M. A review of evaporation research on Japanese lakes. In: EWRI World Water and Environment Resource Congress of the ASCE, Anchorage, 2005. Proceedings... Anchorage: ASCE, 2005. 9p.
- Villa Nova, N. A.; Sentelhas, P. C.; Pereira, A. B. *Evapopluviômetro: Novo sistema de medida da evaporação em tanque classe A*. *Irriga*, v.10, p.76-81, 2005.
- Volpe, C. A.; Oliveira, A. D. de. *Relações entre a evaporação medida em diferentes evaporímetros*. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.11, p.245-252, 2003.
- Wallace, J. M.; Hobbs, P. V. *Atmospheric science: An introductory survey*. 2.ed. New York: Academic Press, 2006. 482p. International Geophysics Series No. 92
- Warnaka, K.; Pochop, L. *Analyses of equations for free water evaporation estimates*. *Water Resources Research*, v.24, p.979-984. 1988.
- Winter, T. C.; Rosenberry, D. O.; Sturrock, A. M. Evaluation of 11 equations for determining evaporation from a small lake in the north central United States. *Water Resources Research*, v.31, p.983-993. 1995.
- Wyngaard, J. C. *Turbulence in the atmosphere*. New York: Cambridge University Press, 2010. 390p.
- Yamamoto, G.; Kondo, J. *Evaporation from Lake Nojiri*. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, v.46, p.166-177, 1968.

Capítulo 4

Captação de água de chuva para fins agropecuários no semiárido

Delfran B. dos Santos¹, Gessionei da S. Santana¹, Delka de O. Azevedo¹, Alisson J. P. da Silva¹ & Manuel D. da Silva Neto¹

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano

- 4.1 Introdução
 - 4.2 Distribuição de chuvas e estimativa de captação de água para o semiárido brasileiro
 - 4.2.1 Distribuição espacial de chuvas no semiárido
 - 4.2.2 Estimativa da área de captação em função da precipitação média anual
 - 4.3 Planejamento e uso da água captada para fins agrícolas
 - 4.3.1 Estimativa e manejo do volume de água disponível em barragens subterrâneas
 - 4.3.2 Estimativa e manejo do volume de água disponível em cisternas de produção
 - 4.3.3 Estimativa do volume de água requerido pelas culturas
 - 4.4 Uso da água na pecuária sob a ótica do semiárido
 - 4.4.1 Teor de água presente no organismo animal
 - 4.4.2 Consumo de água e manejo em função da espécie animal
 - 4.4.3 Influência das instalações no consumo de água
 - 4.5 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões semiáridas:
Estudos e aplicações
ISBN 978-85-64265-03-5



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB



UFRB
Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia
Cruz das Almas - BA

4 Captação de água de chuva para fins agropecuários no semiárido

4.1 INTRODUÇÃO

A característica mais difundida do semiárido brasileiro é a escassez de água. A esta característica estão vinculados dados de miséria, baixa produção agropecuária, qualidade inferior de produtos de origem animal e vegetal, dentre outros. No entanto, embora as chuvas sejam irregulares, é fato que elas ocorrem; logo, necessita-se de informações técnico-científicas mais detalhadas em referência a como melhor armazenar e utilizar a água da chuva.

Acredita-se que a primeira técnica de captação e armazenamento de água da chuva para produção agrícola familiar teve origem há mais de 5.000 anos, no Iraque, no Crescente Fértil, onde a agricultura começou a cerca de 8000 a.C. (Hardan, 1975). Desde então, muitas civilizações têm desenvolvido variadas técnicas para captação de água da chuva, a fim de se atender suas necessidades específicas (Siegert, 1994). Para Suleman et al. (1995) esta é uma alternativa de diminuir os efeitos da escassez temporal da chuva, mais precisamente dos períodos secos, visando abranger não apenas as necessidades domésticas mas também a utilização agrícola.

No semiárido brasileiro já se verifica a existência de tecnologias que possibilitam, com sucesso, a captação e o armazenamento de água da chuva para uso humano, para criação de animais e produção de alimentos, cada uma com suas particularidades e adaptações feitas pelos próprios agricultores da região. Pode-se destacar, dentre as tecnologias existentes, aquelas atualmente exploradas pelo Ministério de Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS), que vem desenvolvendo o programa Água para Todos, que ganha força dentro do plano Brasil sem Miséria, sobretudo a água para produção familiar, quais sejam: as Barragens Subterrâneas, as Barraginhas, Cisterna Calçada e Cisterna Enxurrada.

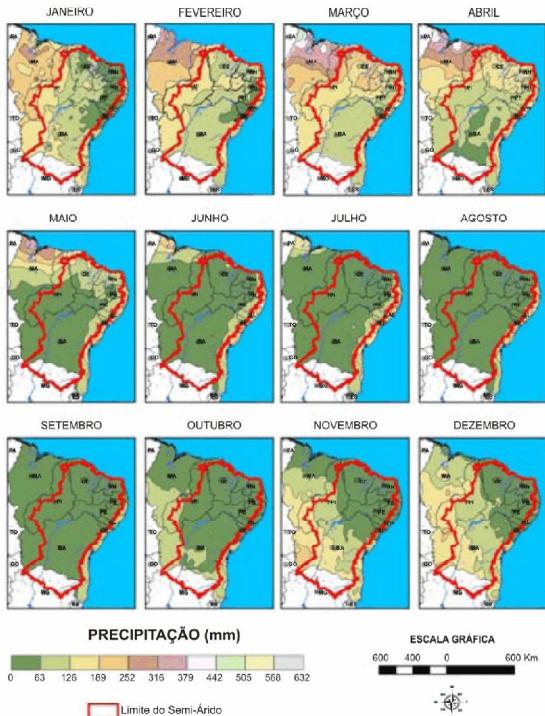
Com base nesta realidade pretende-se, neste capítulo, abordar a estimativa de captação de água de chuva por tecnologias sociais a partir da distribuição espacial das chuvas no semiárido; almeja-se, também, discutir a aplicabilidade dessas tecnologias com vistas a manter, ou mesmo aumentar, os índices produtivos, quer seja na agricultura ou na pecuária, em especial na agricultura familiar, sob a ótica da sustentabilidade ambiental.

4.2 DISTRIBUIÇÃO DE CHUVAS E ESTIMATIVA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

O semiárido brasileiro sempre estará sujeito a secas periódicas, pois uma das características naturais desse tipo de clima é a ocorrência de chuvas irregulares e mal distribuídas geograficamente. Esta problemática está associada a três fenômenos: à temperatura da água do oceano atlântico, ao “El Niño”, pelo aquecimento das águas do oceano pacífico e à baixa umidade atmosférica. Assim, para o sertanejo conviver melhor nessas condições faz-se necessário a adoção de tecnologias de captação da água da chuva para usá-las tanto nos veranicos que ocorrem no período chuvoso como após este período (Moura et al., 2007).

4.2.1 Distribuição espacial de chuvas no semiárido

No semiárido a quantidade e a distribuição das precipitações são fatores preponderantes para o sucesso ou fracasso da agricultura dependente de chuva (agricultura de sequeiro), cuja distribuição, no tempo e no espaço, é a principal responsável pela perda de safras agrícolas. Na Figura 4.1 é apresentada a distribuição

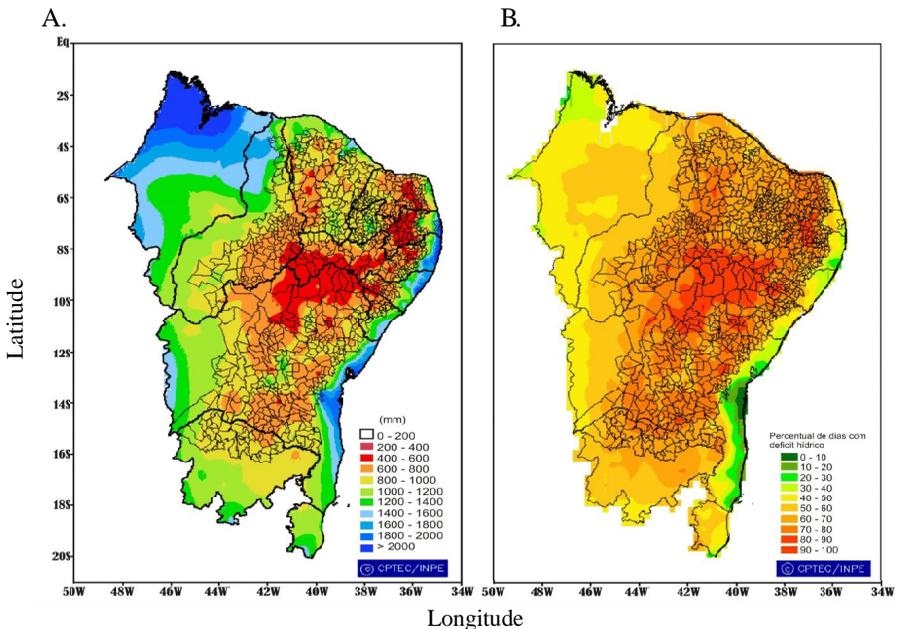


Fonte: Brito et al. 2007

Figura 4.1 Climatologia da precipitação mensal da região Nordeste do Brasil

mensal da precipitação para o Nordeste do Brasil, com destaque para a delimitação da região semiárida. Observa-se predominância do período chuvoso no verão, entre os meses de dezembro e abril, em quase todo o semiárido, enquanto os menores valores de precipitação ocorrem nos meses de agosto e setembro.

Observam-se na Figura 4.2, os mapas de precipitação e percentual de dias com déficit hídrico para séries históricas com mais de 20 anos de observação na região semiárida e entorno. A distribuição das chuvas é irregular e em pequenas quantidades varia de 400 a 1200 mm; os maiores acúmulos pluviométricos estão nas extremidades da delimitação no perímetro do semiárido, podendo-se observá-los nas áreas mais claras da Figura 4.2A. Os aspectos de relevo definem alguns locais com maiores altitudes e, conseqüentemente, microclimas específicos (ex: grotas); além disso, a proximidade com o oceano (maritimidade), em alguns locais, resulta na influência das frentes frias e nos maiores índices pluviométricos. Entretanto, com a alta variabilidade pluviométrica entre os anos e os reduzidos índices de precipitação na região semiárida, é frequente a ocorrência do fenômeno da seca, como pode ser observado na Figura 4.2B, na qual o percentual de dias com déficit hídrico aumenta do sentido litorâneo para o centro da região semiárida, local conhecido “Polígono das Secas”.



Fonte: PROCLIMA: <http://www.cptec.inpe.br/proclima>

Figura 4.2 Mapa de precipitação no período de 1961 - 1990, em mm (A), e percentual de dias com déficit hídrico no período de 1970 - 1990, em % (B)

4.2.2 Estimativa da área de captação em função da precipitação média anual

Para analisar a viabilidade de captação de água de chuva dados pluviométricos de séries históricas devem ser observados e armazenados em bases georreferenciadas, assim como o coeficiente de escoamento superficial da área de captação.

No semiárido brasileiro as áreas de captação dos reservatórios deverão ser dimensionadas em função da variabilidade do total de precipitação média que ocorre em cada microrregião, como mostrado na Figura 4.2A. A padronização de um mesmo tamanho de área de captação para todo o semiárido, poderá incorrer em erros e alguns reservatórios poderão não atingir o volume total dimensionado.

Na Tabela 4.1 são apresentadas informações sobre a estimativa média da área de captação de água de chuva para abastecer uma cisterna de produção de 52 mil litros, levando-se em consideração o coeficiente de escoamento superficial médio e a precipitação média anual da localidade. Tomou-se por base o reservatório de 52 mil litros devido ao Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2) da ASA Brasil, apoiado pelo MDS que, de forma participativa já beneficiou, até o momento, mais 60 mil pessoas no semiárido brasileiro.

Tabela 4.1 Estimativa média da área em m² para abastecer uma cisterna de produção de 52.000 litros em função do coeficiente de escoamento superficial (C) e da precipitação média anual

Superfície	Coeficiente (C)	Precipitação média anual (mm)						
		300	400	500	600	700	800	900
Superfícies asfaltadas	0,85 - 0,90	198	149	119	99	85	74	66
Telhados perfeitos	0,70 - 0,95	210	158	126	105	90	79	70
Pavimentação de paralelepípedo	0,70 - 0,85	224	168	134	112	96	84	75
Estradas macadamizadas	0,25 - 0,60	408	306	245	204	175	153	136
Estradas de pedregulho	0,15 - 0,30	770	578	462	385	330	289	257
Superfícies não-revestidas	0,10 - 0,30	867	650	520	433	371	325	289

Os resultados da Tabela 4.1 foram estimados através da Eq. 4.1, com base nos coeficientes de escoamento superficial para seis diferentes superfícies (Villela e Matos, 1980), e precipitações variando de 300 a 900 mm, em virtude de serem mais comumente encontradas no semiárido brasileiro.

$$A_c = \left(\frac{V}{P \times C} \right) \times 1000 \quad (4.1)$$

em que:

- Ac - área de captação, m²
- V - volume total do reservatório, m³
- P - precipitação média anual, mm
- C - coeficiente de escoamento superficial, adimensional

Na Tabela 4.1 pode-se observar, também, que o tamanho das áreas de captação diminui, à medida em que a precipitação e o coeficiente de escoamento superficial aumentam; estima-se que a menor área de captação para as condições apresentadas seja em torno de 66 m², considerando-se uma precipitação média anual de 900 mm e coeficiente de escoamento superficial no valor de 0,875; a maior área de captação foi de 867 m², tendo em vista uma precipitação de 300 mm e o coeficiente de escoamento superficial no valor de 0,20.

Considerar a frequência e a distribuição das chuvas no semiárido e dimensionar a área de captação de água, são parâmetros de grande importância e que podem garantir, de forma acautelada, a disponibilidade de água para os sertanejos.

4.3 PLANEJAMENTO E USO DA ÁGUA CAPTADA PARA FINS AGRÍCOLAS

O planejamento é uma ação que deve estar arraigada nas decisões da espécie humana, sustentando-as. Desta forma, e antes de definir o tamanho da área a ser irrigada, o agricultor usuário da tecnologia de irrigação com o uso de água captada de chuva, deve conhecer o potencial de captação e de armazenamento dessa água. Para isto, o agricultor deve considerar, dentre outros fatores, o tamanho da seção de captação de água de chuva e a pluviosidade média da região em termos qualitativos (oferta de água) e a quantidade de água de chuva que precisa ser captada e armazenada (demanda de água).

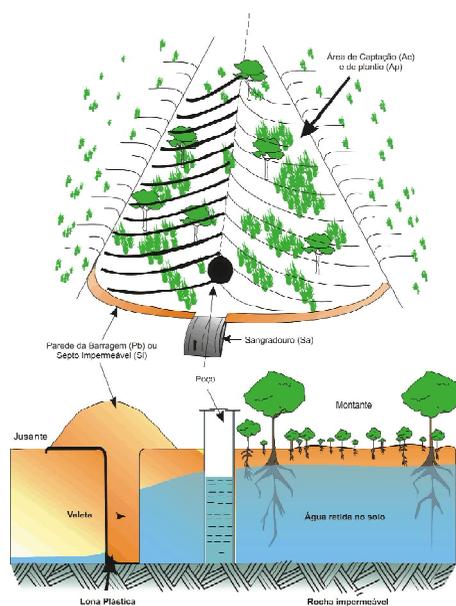
O potencial de captação e de armazenamento de água de chuva está intimamente relacionado com o tipo de tecnologia utilizado para tal fim, visto que cada tipo apresenta especificidades. Desta forma o referido potencial será apresentado, aqui, de maneira simplificada, para as seguintes tecnologias: *barragem subterrânea (BS)* e *cisterna de produção (CP)*, por serem as duas tecnologias de captação de água de chuva mais difundidas e utilizadas no semiárido brasileiro, inclusive pelo Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2). A tecnologia de *canteiro produtivo ou subterrâneo* será aqui apresentada anexa à tecnologia da CP, visto que a mesma vem sendo utilizada conjugada com esta tecnologia de captação de água de chuva, inclusive no P1+2.

4.3.1 Estimativa e manejo do volume de água disponível em barragens subterrâneas

Estimativa do volume de água disponível em barragens subterrâneas: Antes de estimar o potencial de captação e de armazenamento de água de chuva por meio desta tecnologia, é conveniente uma ligeira descrição da mesma. O fundamento básico desta tecnologia de captação de água de chuva é atuar no componente do ciclo hidrológico

perdas de água por escoamento superficial, eliminando-o ou o reduzindo e forçando a permanência da água na propriedade rural, por mais tempo.

Revisando Silva et al. (1998), Brito et. al (1999), Silva et. al (2001), Silva et. al (2007) e Gnadlinger (2011), pode-se definir barragem subterrânea (BS) como sendo uma estrutura hidráulica formada por uma parede impermeável, também conhecida como septo impermeável e que tem, como objetivo, barrar o fluxo subterrâneo de um aquífero pré-existente ou criado concomitantemente com a construção da parede, elevando-se o lençol freático, conforme a Figura 4.3. Assim, os seguintes fatores devem ser observados antes da construção de uma BS: precipitação pluviométrica média da região; vazões dos rios/riachos ou linhas de drenagem; qualidade da água, especialmente quanto à salinidade; capacidade de armazenamento do aquífero e profundidade da camada impermeável, afirmaram Brito et. al (1999), ao tratar dos aspectos construtivos de uma BS. Gnadlinger (2011) sugere a observação do relevo.



Fonte: Silva et al. (2007)

Figura 4.3 Desenho esquemático do funcionamento de uma barragem subterrânea, com seus componentes

No que tange à estimativa do potencial de captação e de armazenamento de água de chuva por uma BS, além desses fatores se somam outros, tais como: textura do solo; porosidade do solo e sua distribuição; umidades correspondentes à capacidade de campo e ao ponto de murcha; perfil de distribuição das chuvas (além da precipitação média anual); delimitação da bacia hidrográfica (BH) da BS, ou seja, definir seus contornos a partir dos divisores de água (topográficos e/ou freáticos); taxa de

infiltração e condutividade hidráulica do solo; topografia etc., que também devem ser observados e considerados.

A delimitação da bacia hidrográfica (BH) que contribuirá com captação de água para a BS, possibilitará determinar o tamanho desta bacia (BH), ou seja, o tamanho da seção de captação de água de chuva. Vê-se, portanto, que não é tarefa fácil definir tal potencial. É importante frisar que na BS o próprio solo consiste no reservatório de água de chuva.

Assim sendo, pode-se estimar a quantidade máxima de água de chuva que uma BS poderá captar (V_{cap}), com vistas à irrigação nas épocas de estiagem, por meio da Eq. 4.2.

$$V_{cap} = P \cdot A_c \cdot 10 \quad (4.2)$$

em que:

V_{cap} - volume máximo de água de chuva possível de ser captado na BH da barragem subterrânea, m^3

P - precipitação pluvial anual, mm

A_c - área da seção de captação de água de chuva (tamanho da BH), ha

Exemplo 1: Seja uma propriedade rural situada em um município do semiárido brasileiro cuja precipitação pluvial (P) anual é de 600 mm (média desta região, segundo Marengo et al., 2011 e Silva et al., 2007) e que dispõe de uma área de captação de água de chuva (A_c) de 10 ha. Neste caso, aplicando-se a Eq. 4.2, conclui-se que o volume máximo de água de chuva possível de ser captado (V_{cap}) é de 60.000 m^3 .

A quantidade máxima de água de chuva que uma BS é capaz de armazenar (V_{arm}) pode ser calculada por meio da Eq. 4.3, admitindo-se que com a depleção do conteúdo de água do solo decorrente da evapotranspiração das culturas, a ascensão capilar viabilize a subida da água armazenada nas camadas inferiores do solo para a camada correspondente à profundidade efetiva radicular e, conseqüentemente, tornando-a disponível às culturas.

$$V_{arm} = A_{arm} \cdot P_{ci} \cdot \alpha \cdot 100 \quad (4.3)$$

em que:

V_{arm} - volume máximo de água de chuva possível de ser armazenado na área de armazenamento e cultivo, em m^3

A_{arm} - área da seção de armazenamento de água de chuva, em ha

P_{ci} - profundidade da camada impermeável, em m

α - porosidade média do solo da área da BS, em % (volume)

Exemplo 2: Seja uma BS cuja área da bacia de armazenamento de água de chuva (A_{arm}) é igual a 0,5 ha, a profundidade da camada impermeável igual a 3,0 m (o valor

máximo recomendado Brito et. al (1999) e Silva et. al (2001) é de 4,0 m) e a porosidade média do solo igual a 32,0% (volume) obtém-se, aplicando-se a Eq. 4.3, que o volume máximo de água de chuva possível de ser armazenado (V_{arm}) nesta BS é de 4.800 m³.

Para estimar o volume de água de chuva possível de ser absorvido e evapotranspirado pelas culturas, torna-se necessário calcular o valor da parcela da água de chuva captada, que representará a água higroscópica (Eqs. 4.4a e 4.4b):

$$V_{AH} = V_{cap} - \left(\frac{V_{arm} PM}{\alpha} \right), \text{ caso } V_{cap} \leq V_{arm} \quad (4.4a)$$

$$V_{AH} = V_{arm} - \left(\frac{V_{arm} PM}{\alpha} \right), \text{ caso } V_{cap} > V_{arm} \quad (4.4b)$$

em que:

V_{AH} - volume de água de chuva que representará a água higroscópica, m³

V_{cap} - volume máximo de água de chuva possível de ser captado na BH da barragem subterrânea, m³

V_{arm} - volume máximo de água de chuva possível de ser armazenado na área de armazenamento e cultivo, m³

PM - umidade correspondente ao ponto de murcha, % (volume)

α - porosidade média do solo da área da BS, % (volume)

Exemplo 3: Considerando-se os resultados dos exemplos 1 e 2 e admitindo que a umidade correspondente ao ponto de murcha é igual a 10,0% (volume), obter-se-á, aplicando-se a Eq. 4.4b ($V_{cap} > V_{arm}$), que o valor da parcela da água de chuva captada que representará a água higroscópica nesta BS, será de 1.500 m³.

O volume de água possível de ser absorvido e evapotranspirado pelas culturas é assim calculado (Eqs. 4.5a e 4.5b):

$$V_{abs} = V_{cap} - V_{AH} \text{ caso } V_{cap} \leq V_{arm} \quad (4.5a)$$

$$V_{abs} = V_{arm} - V_{AH} \text{ caso } V_{cap} > V_{arm} \quad (4.5b)$$

donde:

V_{abs} - volume de água possível de ser absorvido e evapotranspirado pelas culturas, m³

V_{arm} - volume máximo de água de chuva possível de ser armazenado na área de armazenamento e cultivo, m³

V_{AH} - volume de água de chuva que representará a água higroscópica, m^3

Exemplo 4: Admitindo-se que toda a área de armazenamento de água de chuva será cultivada (0,5 ha), que a umidade correspondente ao ponto de murcha seja igual a 10,0% (volume) e que a evapotranspiração da cultura (E_{Tc}) seja, em média, no período de estiagem, igual a $5,0 \text{ mm dia}^{-1}$ ($50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1} = 25 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ na área de cultivo), tem-se que o volume de água possível de ser absorvido e evapotranspirado pelas culturas (V_{abs}), igual a 3.300 m^3 , seria suficiente para atender às necessidades hídricas da cultura, por um período de 132 dias (4,4 meses).

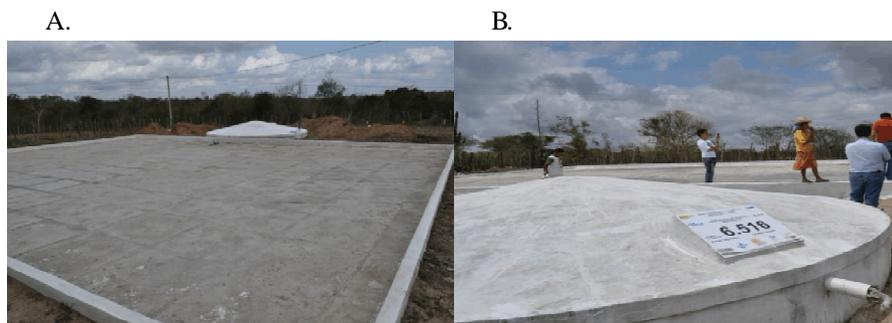
Manejo e conservação da água no solo em barragens subterrâneas: Segundo Brito et al. (1999), o manejo de água em BS tem sido bastante discutido por muitos estudiosos do assunto, sobretudo em relação ao risco de salinização do solo. Para minimizar tal risco, os autores recomendam a instalação de um tubo de descarga, de aproximadamente 100 mm de diâmetro sobre a camada impermeável, partindo da montante até a jusante, perfurando a parede da BS. Contudo, Silva et al. (1998), avaliaram a evolução da salinidade em BS ao longo de oito anos de uso e verificaram que a salinidade se manteve praticamente constante. Porém é importante destacar que o risco de salinização depende do manejo adotado pelo agricultor usuário da tecnologia; neste sentido, a prática de adubação química, por exemplo, deve ser devidamente fundamentada em critérios técnicos.

Por fim, salienta-se que, em se tratando de conservação da água no solo, várias das tecnologias tradicionalmente reportadas nas literaturas relativas ao manejo e à conservação de solo e água, têm objetivos comuns àqueles das tecnologias de captação de água de chuva, ora difundidas para os produtores rurais do semiárido brasileiro. Afinal se objetiva, nas duas situações: reduzir o escoamento superficial e o coeficiente de enxurrada; aumentar a capacidade de retenção de água no solo; aumentar ou diminuir, conforme a pertinência, a taxa de infiltração da água no solo e reduzir as “perdas” de água por evaporação; então, o agricultor usuário das tecnologias de captação de água de chuva e de tecnologias alternativas de irrigação com o uso de água de chuva captada, deve adotar as técnicas de manejo específicas dessas tecnologias sem, contudo, prescindir daquelas preconizadas nas literaturas relativas ao manejo e à conservação de solo e água.

4.3.2 Estimativa e manejo do volume de água disponível em cisternas de produção

Estimativa do volume de água disponível em cisternas de produção: As Cisternas de Produção se constituem de uma área de captação de água de chuva, que pode ser a própria superfície do solo ou superfícies pavimentadas, conhecidas como “calçadão” e da cisterna propriamente dita, que é o reservatório (um tanque) para o qual toda a água captada deve convergir (Figura 4.4). Adicionalmente, pode-se instalar um sistema de retirada de água da cisterna (bomba manual, muito difundida

pelos ONG's no semiárido). O principal fundamento da tecnologia de captação de água de chuva (CP) é eliminar as perdas de água por escoamento superficial, mediante captação e, posterior armazenamento na cisterna.



Fonte: Prefeitura Municipal de Santa Bárbara, BA

Figura 4.4 Cisterna de produção, com seus componentes: Calçadão e cisterna ao fundo (A) e Cisterna com o sangradouro (B)

Neste caso, como o sistema constituído pela área de captação e reservatório (cisterna), é totalmente construído pelo homem (o meio físico não é fator tão impeditivo à construção do mesmo), desde que respeitados princípios técnicos construtivos da Engenharia Civil, seu tamanho se torna praticamente função da demanda de água, ou seja, do tamanho da área e das necessidades hídricas das culturas que se pretende irrigar. Segundo Gnadlinger (2011), no programa P1+2 (Programa Uma Terra e Duas Águas) normalmente as cisternas são construídas com capacidade para 52 m^3 (52.000 litros) e o calçadão (pavimentado) medindo 210 m^2 . Não obstante, este autor relata ser desafiador construir tais cisternas com essa capacidade, sem problemas de rachaduras.

Feitas essas considerações, sugere-se observar os seguintes fatores, quando da construção de uma CP e da estimativa do potencial de captação e de armazenamento de água de chuva em uma CP: precipitação pluvial média da região; taxa de infiltração e textura do solo da área de captação (especialmente quando se utiliza a própria superfície do solo para captar e escoar a água de chuva para a cisterna); área a ser irrigada e as necessidades hídricas das culturas que se pretende irrigar.

Além dos fatores aqui mencionados cabe chamar a atenção quanto ao coeficiente de escoamento superficial (C), também conhecido como coeficiente de deflúvio, a ser considerado nos cálculos relativos à capacidade de armazenamento de água de chuva.

Desta forma, a estimativa da quantidade máxima de água de chuva que uma CP poderá captar (V_{cap}), com vistas à irrigação nas épocas de estiagem, pode se dar utilizando-se a Eq. 4.2, ao passo que a quantidade máxima de água de chuva que uma CP poderá armazenar (V_{arm}), com vistas à irrigação nas épocas de estiagem, pode ser calculada por meio da Eq. 4.6.

Exemplo 5: Considerando-se a precipitação pluvial (P) anual média do semiárido brasileiro (600 mm), a área da seção de captação de água de chuva (Ac) de 210 m², conforme utilizada no P1+2 e se aplicando a Eq. 4.2, conclui-se que o volume máximo de água de chuva possível de ser captado (Vcap) é de 126.000 litros, que correspondem a 126 m³.

$$V_{arm} = V_{cap} C \quad (4.6)$$

em que:

V_{arm} - volume máximo de água de chuva possível de ser armazenado, m³

V_{cap} - volume máximo de água de chuva possível de ser captado, m³

C - coeficiente de escoamento, adimensional

Exemplo 6: Utilizando-se o valor de V_{cap} do exemplo 5, assumindo C = 0,90 (superfície de captação pavimentada – Tabela 4.1) e se aplicando a Eq. 4.6, tem-se que o volume máximo de água de chuva possível de ser armazenado (V_{arm}) nesta CP, é de 113.400 litros (113,4 m³).

Isto significa dizer, para o caso de P igual a 600 mm ano⁻¹ e superfície de captação (Ac) pavimentada, que os tanques construídos pelo programa P1+2 podem estar subdimensionados ou as superfícies de captação construídas superdimensionadas, visto que V_{arm} do exemplo 5 equivale a 2,18 vezes o volume dos tanques construídos neste programa, que é de 52 m³. Poder-se-ia fazer “Ac” igual a 96,3 m² (para resultar em 52 m³) ou construir dois tanques com capacidade individual de 56,7 m³. Ao abordar tal assunto e tomando como exemplo as CP construídas pelo programa P1+2, Gnadlinger (2011) afirma que apenas 350 mm de chuva por ano seriam suficientes para encher o reservatório de 52 m³. Dos dados aqui postos e pelo que se deduz matematicamente, este autor considera o valor de C igual a 0,7, ou seja, admite que a superfície da área de captação de água de chuva não é pavimentada, o que conduziria a um volume de água de chuva armazenado de 51,5 m³.

O volume máximo de água de chuva possível de ser armazenado pela tecnologia da Cisterna de produção (CP), é extremamente menor que aquele possível de ser armazenado com a tecnologia da barragem subterrânea. Assim, conforme sugere Gnadlinger (2011), a água captada pelas CP deve ser utilizada apenas para irrigar pequenos canteiros de hortaliças e/ou regar algumas fruteiras.

Exemplo 7: Admitindo-se o cultivo irrigado de hortaliças com ciclo produtivo de 60 dias nesta CP, evapotranspiração da cultura (ET_c) média, no período de estiação, igual a 5,0 mm dia⁻¹ (5 L m⁻² dia⁻¹), uso de sistema de irrigação com eficiência de aplicação de água igual a 80% e o resultado obtido no exemplo 6, tem-se que a área máxima possível de ser irrigada com a água da CP é igual a 302,4 m².

Os Canteiros Produtivos ou Subterrâneos (CS) consistem em uma tecnologia de produção agrícola irrigada desenvolvida especialmente para atender à agricultura

familiar de subsistência (produção em pequena escala) e que tem, como foco, a eliminação da perda de água por percolação profunda, o que concorre para a otimização do uso da água sobretudo no semiárido, visto que evita o desperdício e o consumo excessivo deste recurso (Figura 4.5).



Foto: Paula S. Ferreira

Figura 4.5 Canteiros Produtivos ou Subterrâneos: escavação do canteiro (A) e instalação da lona no canteiro (B) – revestimento do fundo do canteiro

Esta tecnologia vem sendo difundida pela ASA - Articulação do Semiárido; no entanto, na modalidade de Agricultura Urbana só o CAA - Centro de Assessoria do Assuruá, a utiliza no Brasil. No Programa Uma Terra e Duas Águas para o semiárido sustentável (P1+2) a referida tecnologia tem sido utilizada de forma conjugada com as Cisternas de Produção (CP), ou seja, a captação e o armazenamento da água de chuva ficam a cargo da tecnologia da *Cisterna de Produção* e a produção agrícola, por sua vez, fica por conta da tecnologia do *Canteiro Produtivo ou Subterrâneo*; tendo em vista a capacidade de captação e de armazenamento de água de chuva das CP e que no caso particular do P1+2, é de 52 m³, as culturas cultivadas sob condição de irrigação, normalmente são hortaliças. Os canteiros são construídos, em geral, com as seguintes dimensões: 1,0 x 5,0 x 0,3 m (largura x comprimento x profundidade). A profundidade pode ser garantida cavando-se o solo ou se assentando uma fileira de blocos acima da superfície do solo.

Assim, o volume de substrato do canteiro pode ser calculado pela Eq. 4.7:

$$V_{\text{sub}} = L Z h \quad (4.7)$$

em que:

V_{sub} - volume de substrato do canteiro, m³

L - largura do canteiro, m

Z - comprimento do canteiro, m

h - profundidade do canteiro, m

Desta forma e se considerando as medidas do canteiro produtivo, tem-se que seu volume de substrato colocado é igual a $1,5 \text{ m}^3$.

O número de canteiros produtivos com 5 m^2 de área, tal como aqueles usados no P1+2, possíveis de serem cultivados sob irrigação com água captada de chuva, pode ser assim calculado (Eq. 4.8):

$$N_{cp} = \frac{V_{real} E_a}{T E_{Tc} S} 10 \quad (4.8)$$

em que:

N_{cp} - número de canteiros produtivos com 5 m^2 de área, passíveis de serem cultivados sob irrigação com água captada de chuva

V_{real} - volume real de água armazenado, m^3

E_a - eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação, %

T - duração média do período de estiagem, dias

S - área do canteiro produtivo, m^2

E_{Tc} - evapotranspiração média da cultura durante o período de estiagem, mm dia^{-1}

Exemplo 8: Considerando-se o volume de água que vem sendo armazenado nas cisternas de produção (52 m^3) e as dimensões dos canteiros produtivos do programa P1+2 (área igual a 5 m^2), período de estiagem de quatro meses, evapotranspiração média da cultura durante o período de estiagem igual a $5,0 \text{ mm dia}^{-1}$ e o uso de um sistema de irrigação com eficiência de aplicação de água igual a 95% (considerando-se o fornecimento de água adotado nos canteiros produtivos, conforme a Figura 4.6), conclui-se ser possível construir e cultivar aproximadamente 16 canteiros produtivos.



Foto: Nara Lígia

Figura 4.6 Processo de irrigação em canteiro produtivo ou subterrâneo

Entretanto, conforme comentário após a obtenção do resultado do exemplo 6 e se considerando aquelas premissas (precipitação de 600 mm por ano e a área do calçadão do P1+2 igual a 210 m²), poder-se-ia construir e cultivar aproximadamente 36 canteiros produtivos.

Manejo e conservação da água no solo em cisternas de produção e em canteiros produtivos ou subterrâneos: Quanto ao manejo e conservação da água no solo em áreas que utilizam a tecnologia da CP, o primeiro cuidado a ser tomado se refere à possibilidade de rachaduras da cisterna e do calçadão, o que concorrerá para a perda e desperdício de água.

Em um segundo momento deve-se empreender esforços em prol da obtenção de valores satisfatórios de eficiência de aplicação de água, pelos sistemas de irrigação utilizados. Por fim, evitar um problema crônico das áreas agrícolas irrigadas, que é a falta de manejo de irrigação, ou seja, a falta de uma definição técnica de *quando* e *quanto* irrigar. Neste particular, o produtor normalmente despreza a importância de adoção de técnicas de manejo de irrigação e conduz as irrigações (quantidade e momento de irrigação) com base apenas na sua intuição; contudo e tendo em vista o cenário de escassez de água no semiárido brasileiro, seria de bom tom o produtor viabilizar algum instrumento que lhe possibilitasse determinar a lâmina de irrigação e o momento de se realizar uma irrigação com base em algum princípio técnico como, por exemplo, utilizando um método de monitoramento da umidade do solo (tensiômetro, irrigás, frigideira, etc.).

No caso particular dos Canteiros Produtivos ou Subterrâneos, três cuidados se fazem necessários, tendo em vista a impossibilidade de drenagem natural (percolação profunda) devido ao uso da lona plástica e à escassez de água: o primeiro se refere ao risco de salinização do volume de solo, inviabilizando a continuidade de cultivo com o mesmo substrato; o segundo decorre do risco de saturação do solo, face à drenagem natural zero, quando da ocorrência de altas precipitações durante o período chuvoso. Considerando-se as dimensões comumente adotadas nesses canteiros (largura = 1,0 m; comprimento = 5,0 m e profundidade = 0,3 m) e assumindo que o substrato (solo mais matéria orgânica) apresente porosidade total igual a 40% (volume), conclui-se que este substrato se saturaria com uma lâmina d'água de 120 mm; o terceiro aspecto a ser considerado é o manejo correto da irrigação, no que tange à determinação da quantidade de água necessária para elevar a umidade do solo para aquela correspondente à capacidade de campo; para tanto, faz-se oportuno conhecer o valor da umidade correspondente à capacidade de campo (CC), além dos valores da umidade atual do solo (Ua) e da densidade aparente do solo (Ds); então, a quantidade de água a ser aplicada para elevar o valor da Ua para o correspondente à CC, pode ser assim calculada (Eq. 4.9):

$$V_{CC} = (CC - U_a) D_s V_{sub} 10 \quad (4.9)$$

em que:

V_{cc} - volume de água a ser aplicado para elevar o valor da U_{atual} para aquele correspondente a CC, em L

CC - umidade correspondente à capacidade de campo, % (peso)

PM - umidade correspondente ao ponto de murcha, % (peso)

Ds - densidade aparente do solo (substrato), $g\ cm^{-3}$

V_{sub} - volume de solo (substrato) do canteiro, m^3

Exemplo 9: Considerando-se que o substrato utilizado para preencher o canteiro apresente as seguintes características físico-hídricas: CC = 13,0% (peso) e Ds = 1,4 $g\ cm^{-3}$ e ainda, $U_a = 8,0\%$ (peso), conclui-se que o $V_{cc} = 105,0$ litros de água.

Conforme referido no tópico “Manejo e conservação da água no solo em cisternas de produção e em canteiros produtivos ou subterrâneos”, as técnicas de conservação da água no solo tradicionalmente reportadas nas literaturas relativas a este assunto devem, quando pertinente, ser adotadas juntamente com aquelas específicas das tecnologias relativas à captação de água de chuva e dos sistemas alternativos de irrigação.

4.3.3 Estimativa do volume de água requerido pelas culturas

Tendo em vista o propósito que se tem com este capítulo, qual seja, apresentar informações técnicas relativas à captação e ao armazenamento de água de chuva na região semiárida, com vista à viabilização da prática da agricultura irrigada de subsistência por meio de agricultores familiares, a abordagem aqui dada a este assunto será, na medida do possível, mais objetiva, simples e desprovida de maiores fundamentações físicas, técnicas, científicas e matemáticas.

O termo evapotranspiração é utilizado para expressar o processo de transferência de água para a atmosfera, sob a forma de vapor, a partir de superfícies vegetadas. Fundamentalmente, a evapotranspiração é proveniente de duas contribuições: da evaporação da umidade existente no substrato (solo ou água) e da transpiração resultante das atividades biológicas dos vegetais.

Para que o agricultor praticante da agricultura irrigada saiba o volume de água que ele precisará captar e armazenar, bem como o tamanho da área que ele poderá irrigar, em condições de escassez hídrica, utilizando, sobretudo, água captada de chuvas, faz-se necessário estimar a evapotranspiração das culturas (ETc) que serão cultivadas, tal como saber a duração média do seu ciclo produtivo, além de conhecer o potencial de captação e de armazenamento de água de chuva da região na qual o agricultor pretende praticar a agricultura irrigada com água captada de chuva, como descrito nos itens “4.1 e 4.2” deste capítulo.

Desta forma e visando ao propósito específico de fornecer subsídios técnicos relativos às necessidades hídricas das culturas, com referência ao planejamento da agricultura irrigada com água de chuva captada e armazenada apresentar-se-ão, aqui, estimativas gerais das referidas necessidades. Seja o seguinte exemplo: cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*), com demanda hídrica de 400 mm por ciclo (Doorenbos & Kassan, 2000). Sabendo-se que 1 mm de água corresponde a 1 L de água por m^2 ,

deduz-se que esses 400 mm de água correspondem a uma necessidade de 400 L de água por m².

A área máxima possível de ser cultivada com o uso da tecnologia da irrigação utilizando água captada de chuva, pode ser determinada pela Eq. 4.10.

$$A_{\text{máx}} = \frac{V_{\text{arm}} E_a}{E_{\text{Tc}} 10} \quad (4.10)$$

em que:

$A_{\text{máx}}$ - corresponde à área máxima possível de ser cultivada com uma cultura em condição irrigada com água captada de chuva, ha

V_{arm} - volume máximo de água de chuva possível de ser armazenado, m³

E_a - eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação a ser utilizado, decimal

E_{Tc} - evapotranspiração da cultura, por ciclo (para culturas de ciclo curto) ou por ano (para culturas de ciclo longo), em mm; representa, pois, a necessidade hídrica da cultura

Apresentam-se, na Tabela 4.2, estimativas gerais das necessidades hídricas de algumas culturas potencialmente cultiváveis no semiárido brasileiro.

Tabela 4.2 Necessidades hídricas para algumas culturas, em mm

Cultura	Necessidade hídrica (mm)	Cultura	Necessidade hídrica (mm)
Abacaxi	850	Melancia	500
Algodão	1.000	Milho	650
Amendoim	600	Pimentão	750
Arroz	575	Repolho	440
Banana	2.200	Soja	575
Batata	600	Sorgo	550
Beterraba Açucareira	650	Tabaco	500
Cana-de-açúcar	2.000	Tomate	500
Cebola	450	Trigo	550
Citros	1.050	Uva	850
Feijão	400	Girassol	800

Fonte: Adaptado de Doorenbos & Kassan (2000)

4.4. USO DA ÁGUA NA PECUÁRIA SOB A ÓTICA DO SEMIÁRIDO

As águas utilizadas para abastecimento do consumo humano e de suas atividades socioeconômicas, são captadas nos rios, lagos, represas e aquíferos subterrâneos e apresentam características de qualidade bastante variadas em virtude do ambiente de origem por onde circulam, tipo de uso e de onde são armazenadas.

A água doce é elemento essencial ao consumo humano e ao desenvolvimento de suas atividades industriais e agrícolas e é de importância vital aos ecossistemas vegetal e animal. As três principais fontes de água para o organismo animal são: água de bebida, água metabólica e água coloidal, sendo a água de bebida a principal fonte para os animais. No entanto, ao contrário de outros nutrientes, existem poucos trabalhos publicados acerca da exigência e do consumo de água pelos animais, uma vez que esta é utilizada para manutenção dos tecidos, crescimento corpóreo, desenvolvimento fetal ou lactação, o que torna complexa sua determinação; o que se sabe é que, em regiões como a semiárida, produzir alimentos de origem animal (carne, leite e ovos) requer um planejamento melhor de uso da água, em especial daquelas oriundas de captação de chuvas pois se sabe que estas são irregulares e maldistribuídas; logo, antecipar as ações para uma utilização compatível à produção, é de fundamental importância para garantir o sustento dessas atividades consideradas tradicionais e vocacionais em comunidades rurais localizadas no semiárido.

4.4.1 Teor de água presente no organismo animal

A água está diretamente relacionada com as funções essenciais da vida animal: Digestão dos alimentos; Absorção dos nutrientes no trato digestório; Translocação dos compostos químicos no organismo; Excreção dos resíduos do metabolismo orgânico; Termorregulação corporal; Manutenção da pressão osmótica dentro e fora da célula, através de ingestão ou eliminação de água e eletrólitos; Equilíbrio ácido-base; Fluido cerebrospinal, sinovial, auricular, intraocular e amniótico.

No corpo animal a água chega a representar até cerca de 70% da composição corporal (Tabela 4.3); daí a necessidade em nos preocuparmos com a quantidade e a qualidade da água ingerida pelos animais.

Para que ocorra ingestão de alimento pelo corpo a água é imprescindível já na fase de ingestão e deglutição do alimento (Langhans et al., 1995); assim, quando há escassez de água ocorre, conseqüentemente, menor ingestão de alimento.

4.4.2 Consumo de água e manejo, em função da espécie animal

É fato que a ingestão de água pelos animais é influenciada por vários fatores: composição do alimento, temperatura ambiente, e demanda produtiva. Outros fatores importantes que influenciam o consumo de água são a espécie e a idade do animal

Tabela 4.3 Teor de água presente no corpo dos animais de acordo com a espécie e idade

Espécie animal	Água corporal (%)
Bovinos	60 – 65
Suínos – 7 dias	80
Suínos – 70 dias	64
Suínos – 150 dias	49
Aves de corte	63
Aves de postura	53
Ovinos	55

(Tabela 4.4) a temperatura da água disponível para consumo, qualidade da água (pH, salinidade) e sua palatabilidade (CO_2), umidade relativa do ar, disponibilidade de bebedouros, estado de saúde e nível de estresse.

Tabela 4.4 Estimativa de abastecimento de água de uma cisterna de produção com capacidade para 52.000 L

	Consumo diário	Consumo anual	Capacidade de abastecimento
	de água	de água	
	(L cabeça ⁻¹)		(cabeças ano ⁻¹)
Bovino de corte			
Até 250 kg	18	6570	8
Até 410 kg	32	11680	5
Até 566 kg	46	16790	3
Vacas com bezerros	55	20075	3
Vacas secas	46	16790	3
Bezerros	18	6570	8
Bovinos de leite			
Vacas em lactação	62	22630	2
Vaca e novilha no final da gestação	51	18615	3
Vaca seca e novilha gestante	45	16425	3
Fêmea desmamada	30	10950	5
Bezerro lactante (a pasto)	11	4015	13
Bezerro lactante (baia até 60 dias)	1	365	143
Aves			
Frangos	0,16	58,40	890
Frangas	0,18	65,70	792
Poedeiras	0,25	91,25	570
Reprodutores	0,32	116,80	445
Suínos			
Até 55 dias de idade	3	1095	48
De 56 a 95 dias de idade	8	2920	18
De 96 a 156 dias de idade	12	4380	12
De 57 a 230 dias de idade	20	7300	7
Leitoas	16	5840	9
Fêmeas em gestação	22	8030	7
Fêmeas em lactação	27	9855	5
Machos	20	7300	7
*Caprinos e ovinos de corte			
	5	1825	29

Fonte: Adaptado de Lima & Piozcovski (2010)

* Fonte: EMBRAPA (2005)

Considerando, então uma cisterna de produção com capacidade de 52 mil litros de água, é possível estimar a quantidade de animais a serem abastecidos de água (Tabela 4.4) e, assim, fazer o planejamento estratégico da propriedade sem, contudo, diminuir os índices produtivos. Vale salientar que os cálculos levam em conta exclusivamente a água da cisterna para consumo animal.

Com base nos dados da Tabela 4.4, pode-se dizer, então, que um produtor com um rebanho bovino de 10 vacas em lactação e consumo médio de 62 L de água por dia, necessitaria de 226 mil litros de água em um ano; percebe-se, assim, que esta é uma atividade com uma demanda muito grande por água, cabendo ao produtor reavaliar a atividade que melhor se adapte às condições da propriedade.

Considerando também uma atividade de subsistência, um misto de bovino, frango e caprino, talvez se consolide como atividade viável, ou seja, 4 bezerros para engorda, 10 caprinos e 50 frangos, tendo-se:

Número de animais multiplicado pelo consumo diário de água por cabeça:

Bezerros: $4 \times 6570 = 26.280$ L

Caprinos: $10 \times 1825 = 18.250$ L

Frangos: $50 \times 58,4 = 2.290$ L

Total: 47.450 L de água por ano

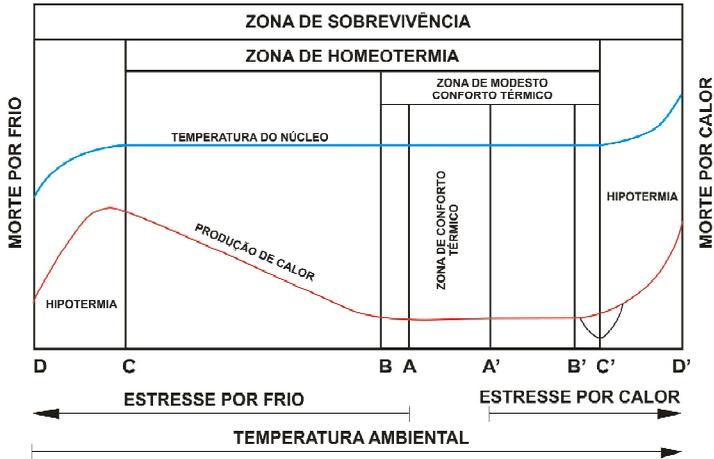
Uma cisterna de produção com capacidade de 52 mil litros de água como a única fonte de água de bebida, teria condições de abastecer esses animais durante um ano e, conseqüentemente, o produtor não teria problemas de redução dos índices produtivos como, por exemplo, ganho de peso. Vale salientar que além da água o alimento e o manejo sanitário são imprescindíveis para manter a produção a níveis desejáveis.

Independente da espécie e do tamanho do rebanho, tem-se ainda que alimentos mais secos, alimentos ricos em sais, temperaturas elevadas e animais de alta produção, requerem maior ingestão de água que os demais. É importante frisar que o estágio fisiológico do animal, em especial prenhez e lactação, contribuem para um consumo maior de água; logo, a utilização da escrituração zootécnica apresenta-se como importante ferramenta no planejamento de uma propriedade rural, pois é possível concentrar produção de leite em período de abundância de água ou utilizar tecnologias socialmente apropriadas para a captação de água de chuva e adotar métodos de controle da quantidade e qualidade de água como, por exemplo, o uso de bebedouros com boia ou automáticos que não somente controlam o desperdício mas também auxiliam na manutenção da qualidade da água a ser consumida pelos animais, visto que água suja e/ou com temperaturas elevadas, contribui para um consumo menor e ainda distúrbios de ordem gástrica, podendo comprometer seriamente a saúde do rebanho, no caso dos ruminantes, em especial os de pequeno porte (caprinos e ovinos) tradicionalmente criados em áreas de caatinga em sistema extensivo e semi-intensivo, vítimas frequentes de alto índice de endoparasitas, em geral contraídos pela ingestão de água de contaminada.

4.4.3 Influência das instalações no consumo de água

Durante períodos de estresse causado por temperaturas muito baixas, devido à alta capacidade da água corporal em absorver calor, ela, a água, age como isolante,

conservando o calor do corpo (NRC, 2001) porém, quando ocorre o inverso, isto é, a temperatura aumenta acima da zona de neutralidade térmica ou, ainda, quando aumenta a atividade corporal ocorre aumento na ingestão de água; cabe-nos pensar na melhor forma de alojar os animais, projetando instalações mais confortáveis, áreas de sombra no pasto (natural ou artificial), pintura de cobertura, utilização de ventiladores etc, propiciando um ambiente mais confortável e mantendo o consumo de água sem maiores alterações. Curtis (1981) ressaltou que os animais procuram localizar-se em ambientes termoneutros (Figura 4.7).



Fonte: Hafez (1973)

Figura 4.7 Temperaturas críticas ambientais

A forma como a água é oferecida aos animais também afeta seu consumo; apesar disto, diversos sistemas podem ser utilizados no fornecimento de água aos animais, sendo os mais comumente utilizados os bebedouros em tanques ou cochos, bebedouros tipo concha, bebedouros tipo “nipple” e bebedouros tipo “bite ball”. Por razões culturais, econômicas ou por escassez de mão de obra especializada, em geral nas propriedades rurais do semiárido, devido ao sistema de criação predominante (extensivo) em que o acesso às fontes de água é livre, o que contribui para o desperdício e concorre para a baixa qualidade da água. Em se tratando de um recurso não renovável e tão importante na produção pecuária, recomenda-se que o acesso do animal seja interrompido e que, mesmo com o uso de modelos de bebedouros artesanais, a exemplo de pneus de caminhão e garrafa PET ou alvenaria (Figura 4.8), a água de bebida seja limpa e fresca e em quantidade suficiente para o abastecimento do rebanho.

É o caso das comunidades de fundo de pasto ou fecho de pasto (espaço aberto de uso coletivo dos recursos naturais) “que é o sítio de extrações diversas, acessíveis

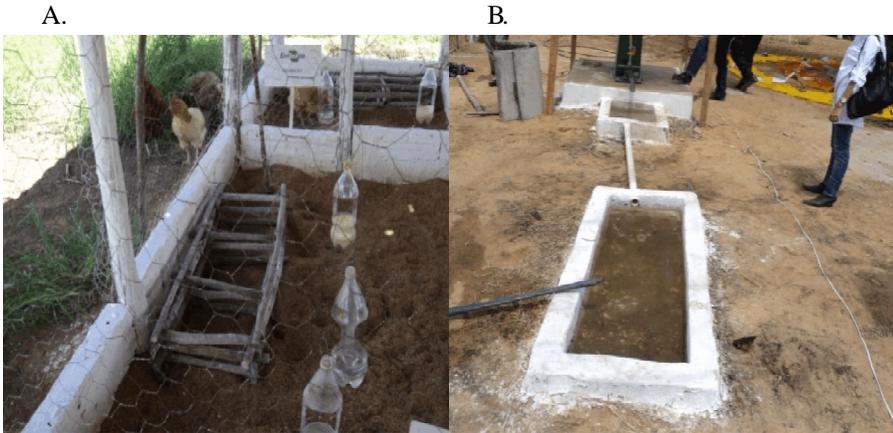


Foto: Delka de O. Azevedo

Figura 4.8 Bebedouros artesanal de garrafa PET (A) e de alvenaria (B)

a todos os membros da comunidade : pasto, mas também madeira, extrativismo (frutos do umbuzeiro *Spondia tuberosa*, mel) e caça” (Caron et al., 1994), onde se criam caprinos e ovinos à solta e em pastagem nativa que, com a simples adoção de bebedouros, ainda que artesanais, como o manejo correto de oferta de água, minimizariam os custos com equipamentos, instalações e mão-de-obra, sem diminuir os índices produtivos.

Nota-se que é conveniente aprender a conviver com a escassez de água; a aridez é uma característica da região mas existem muitas alternativas para minimizar os efeitos da pouca disponibilidade de água sem, contudo, deixar de produzir e de ter uma pecuária forte .

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atividade agrícola, especialmente em condição irrigada, dispõe de grande potencial para colaborar com a economia do semiárido brasileiro (produto interno bruto – PIB), com o desenvolvimento socioeconômico do povo sertanejo, visando à redução das desigualdades regionais e fixação do homem no campo, mediante a geração de emprego e renda, com consequente redução do êxodo rural, da miséria e do inchaço das grandes cidades. Além disso, pode corroborar para elevar o índice de desenvolvimento humano (IDH) e a autoestima dos povos que habitam esta região, além de lhes conferir maior dignidade.

Não obstante o sucesso da exploração agrícola em regiões semiáridas estar condicionado, dentre outros fatores, à disponibilidade de água para essa atividade e tendo em vista a notória escassez de recursos hídricos nessas regiões, associada ao alto poder evaporativo da atmosfera - características essas marcantes - é premente a adoção de práticas/ações condizentes com tal cenário.

Assim, como visto neste capítulo, quando se conhece o histórico de chuvas da região associadas à capacidade de armazenamento dos reservatórios somados aos conhecimentos sobre o solo e as culturas a serem exploradas (animal e, ou vegetal), a adoção das técnicas de captação de água de chuva, em especial a cisterna de produção e a barragem subterrânea, podem garantir o atendimento das necessidades da população sertaneja, não apenas de água mas sobretudo dignidade e cidadania.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Brito, L. T. de L.; Moura, M. S. B. de; Gama, G. F. B. Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro. 1. Petrolina: EMBRAPA, 2007. 181p.
- Brito, L. T. de L.; Silva, A. de S.; Maciel, J. L.; Monteiro, M. A. R. Barragem subterrânea. I: manejo. Petrolina: Embrapa CPATSA, 1989. 39p. Boletim de Pesquisa, 36
- Brito, L. T. de L.; Silva, D. A.; Cavalcanti, N. B.; Anjos, J. B.; Rego, M. M. Alternativa tecnológica para aumentar a disponibilidade de água no semiárido. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, p.111-115, 1999.
- Caron, P.; Prevost, F.; Guimarães Filho, C.; Tonneau, J. P. Prendre en compte les stratégies des éleveurs dans l'orientation d'un projet de développement: le cas d'une petite région du Sertão résilien. In: International Symposium on Livestock Farming Systems, 1992, Zaragoza. Anais... Zaragoza: EAAP, 1994. p.51-59.
- Curtis, B. K.; Aman, R. P. Testicular development and establishment of spermatogenesis in Holstein bulls. Journal of Animal Science, v.53, p.1645-1658, 1981.
- Doorenbos, J.; Kassam, A. H. O Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFCG, 2000. 306p. Estudos FAO, Irrigação e Drenagem, 33
- EMBRAPA Caprinos. Sistemas de produção. Versão eletrônica, Dezembro de 2005. <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Caprinos/OvinosdeCorte/CaprinosOvinosCorteNEBrasil/coeficientestecnicos.htm>, em 9 Jan. 2012.
- FAO - Food and Agriculture Organization. Estudios de caso de especies vegetales para zonas eridas y semieridas de Chile y Mexico. Santiago: Oficina Regional de la FAO para America Latina y el Caribe, 10, 1996. 143p.
- Gnadlinger, J. Captação de água de chuva: Uma ferramenta para atendimento às populações rurais inseridas em localidades áridas e semiáridas, In: Medeiros, S. S.; Gheyri, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. S. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas, Campina Grande: INSA. 2011. p.325-360.
- Hafez, E. S. E. Adaptacion de los animales domésticos. Barcelona: Labor, 1973. 563p.
- Hardan, A. Proceedings of the water harvesting. Arizona: Agriculture Research Service. Tucson: U. S. Department of Agriculture, 1975. 60p.
- Langhans W., Rossi R., Scharrer E., Relationships between feed and water intake in ruminants, 8. 1995. Proceedings... 1995. Symposium on Ruminant Physiology, 1995. p.199-216.
- Lima, G. J. M. M. de; Pioczcovsk, G. D. I. Água: Principal alimento na produção animal. In: Simpósio Produção Animal e Recursos Hídricos, 2. Concórdia, 2010. Anais... Concórdia: Embrapa Pecuária Sudeste, 2010. CD Rom

- Marengo, J. A.; Alves, L. M.; Beserra, A. E.; Lacerda, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro, In: Medeiros, S. S.; Gheyi, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. da S. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas, Campina Grande: INSA. 2011. p.383-422.
- Moura, M. S.; Galvêncio, J. D.; Brito, L. T. de L.; Silva, A. de S.; Sá, I. I. de.; Leite, W. de M. Influência da Precipitação Pluviométrica nas das Áreas de Captação de Água de Chuva na Bahia. Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 6. Anais... Belo Horizonte: ABCMAC. 2007. CD Rom
- NRC - National Research Council. Nutrient requirements of dairy cattle. 7.ed. Washington: NRC. 2001. 381p.
- Santos, M. J.; Araújo, L. E.; Oliveira, E. M.; Silva, B. B. Seca, precipitação e captação de água de chuva no semiárido de Sergipe. Revista Engenharia Ambiental, v.6, p.55-73, 2009.
- Siegert, K. Introduction to water harvesting: Some basic principles for planning, design and monitoring. In: FAO, Rome. Water harvesting for improved agricultural production. 1994.
- Silva, A. de S.; Magalhães, A. A.; Santos, E. D.; Morgado, L. B. Irrigação por potes de barro. Descrição do método e testes preliminares. Petrolina: Embrapa CPATSA. 1982. 40p. Boletim de Pesquisa, 10
- Silva, A. de S.; Porto, E. R.; Gomes, P. C. F. Seleção de áreas e construção de barreiros para uso em irrigação de salvação no Trópico Semi-Árido. Petrolina: Embrapa CPATSA, 1981. 43p. Circular Técnica, 3
- Silva, M. S. L.; Honorio, A. P. M.; Anjos, J. B.; Porto, E. R. Barragem subterrânea. Petrolina: Embrapa CPATSA, 2001. 4p. Instruções Técnicas, 49
- Silva, M. S. L.; Lopes, P. R. C.; Anjos, J. B.; Silva, A. S.; Brito, L. T. L.; Porto, E. R. Exploração agrícola em barragem subterrânea. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.33, p.975-980, 1998.
- Silva, M. S. L.; Mendonça, C. E. S.; Anjos, J. B.; Ferreira, G. B.; Santos, J. C. P.; Oliveira Neto, M. B. Barragem subterrânea: Uma opção de sustentabilidade para a agricultura familiar do semiárido do Brasil. Recife: EMBRAPA, 2007. 10p. Circular técnica, 36
- Suleman, S., M. K. Wood, B. H. Shah, and L. Murray.. Rainwater harvesting for increasing livestock forage on arid rangelands of Pakistan. Journal Range Management, v.48, p.523-527, 1995.

Capítulo 5

Sistemas de irrigação de baixo custo para agricultura familiar de assentamentos ribeirinhos do semiárido

Eugênio F. Coelho¹, Tibério S. M. da Silva¹, Alisson J. P. da Silva², Ildos Parizotto¹, Beatriz S. Conceição² & Delfran B. dos Santos²

¹ Embrapa Madioca e Fruticultura

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano

- 5.1 Introdução
 - 5.2 Caracterização da agricultura familiar de assentamentos do semiárido
 - 5.3 Sistemas de irrigação de baixo custo para agricultura familiar
 - 5.3.1 Sistema “bubbler” adaptado
 - 5.3.2 Microaspersão artesanal
 - 5.3.3 Xique-xique
 - 5.3.4 Xique-xique modificado
 - 5.3.5 Gotejamento com uso de emissores artesanais ou comerciais de baixo custo
 - 5.3.6 Bacias abastecidas por canais elevados revestidos
 - 5.3.7 Irrigação por mangueira perfurada
 - 5.3.8 Sistemas de irrigação localizada “garrafas PET”
 - 5.4 Avaliação hidráulica dos sistemas de baixo custo em condições de campo
 - 5.5 Produtividade de culturas irrigadas por sistemas de baixo custo
 - 5.6 Experiência de campo sobre uso de sistemas de baixo custo
 - 5.7 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões semiáridas:
Estudos e aplicações
ISBN 978-85-64265-03-5



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB



UFRB
Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia
Cruz das Almas - BA

5 Sistemas de irrigação de baixo custo para agricultura familiar de assentamentos ribeirinhos do semiárido

5.1 INTRODUÇÃO

Segundo os dados elaborados pelo Projeto GeografAR, o Estado da Bahia possui 422 Assentamentos de Reforma Agrária, com aproximadamente 37.311 famílias assentadas numa área total de 1.262.056,03 ha, dos quais boa parte se situa na região semiárida; entretanto, tem sido preocupante a recorrente dificuldade de os assentamentos situados no semiárido se viabilizarem produtiva e economicamente, quando se observam os níveis de pobreza semelhantes aos da situação rural das áreas em que estão inseridos. Muitos desses assentamentos estão localizados nas margens de rios ou lagoas, mas, sem infraestrutura de irrigação constituindo-se, então, em fronteiras agrícolas que têm apenas a água como fator limitante e, pela viabilização da irrigação, podem tornar-se bolsões de produção agrícola, melhorando o nível de renda e a qualidade de vida dos agricultores desses assentamentos.

Os custos iniciais de instalação de sistemas de irrigação são relevantes para o pequeno produtor descapitalizado. Os sistemas de irrigação comumente usados têm preços que variam de 800 a 1.500 reais na irrigação por sulcos a 3.000 a 6.000 reais para irrigação localizada (Marouelli & Siva, 2000). Várias recomendações de sistemas para pequenas áreas estão disponíveis, tais como o uso de irrigação por potes, irrigação tipo xique-xique, low-head bubbler e sistema mandala, dentre outros. O uso de garrafas de plástico (PET) e outros objetos vêm sendo veiculados na mídia em sistemas de irrigação tipo microaspersão com uso de cotonetes e dutos de água, feitos de garrafas de plástico, como exemplo. Portanto, já existem indicações de uso de equipamentos de irrigação para agricultura familiar. É necessário, porquanto, uma avaliação técnica desses equipamentos ou desses sistemas existentes como é preciso, também, desenvolver ou adaptar sistemas condizentes com a agricultura de baixa renda, característica de assentamentos ribeirinhos do Semiárido. A inserção da irrigação nesses assentamentos poderá ser a causa de mudança do nível social dos pequenos agricultores desses locais.

Este trabalho tem como objetivo divulgar alguns sistemas de irrigação de baixo custo para uso em agricultura de pequena escala, como em assentamentos rurais do semiárido da Bahia.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA AGRICULTURA FAMILIAR DE ASSENTAMENTOS DO SEMIÁRIDO

Alguns fatores podem ser apontados como limitantes de um provável impulso visando ao desenvolvimento e à redução da pobreza na região Nordeste do Brasil: baixo número de diplomados, instalações escolares precárias, baixa frequência e a estrutura fundiária essencialmente concentradora de terras. Informações da FAO/ INCRA (1995) destacam a existência de um grande contingente de pobres rurais que se encontram alijados dos sistemas de produção e crédito bancário. Surgem, então, correlações entre pobreza rural, conflito de terras, migração campo cidade e favelamento nas cidades.

A agricultura familiar, atualmente em teoria, é atendida por políticas públicas através de três vertentes: infraestrutura (com obras realizadas com recursos do Orçamento Geral da União e dos municípios); crédito rural, comercialização e serviços municipais e, por fim, a capacitação dos agricultores familiares e técnicos.

Alguns impedimentos naturais são encontrados em diversos Projetos de Assentamentos (PAs) do semiárido do Estado da Bahia, em áreas degradadas de antigas fazendas, podendo-se constatar que toda a vegetação arbórea foi devastada, inclusive a mata ciliar no leito dos rios devido à exploração de pastagens para criação de gado bovino. Destacam-se características mais específicas, como: baixa e/ou irregularidade de precipitação de chuvas; baixa produtividade; grandes distâncias das cidades; dificuldades de comercialização e deslocamento; dificuldade de acesso aos serviços públicos; estradas precárias de acesso; falta de comunicação, falta de transporte regular; normalmente não são atendidos por assistência técnica; baixa escolaridade e até analfabetismo; idade da maioria acima dos 45 anos, quando a força de trabalho está em declínio; embora muitas vezes localizados próximos aos rios, não possuem água potável; dificuldade de trabalhar coletivamente, pois o individualismo se faz presente na primeira dificuldade; dificuldades de acesso e/ou pagamento dos financiamentos na data aprazada. Como consequência tem-se baixa lucratividade, visto que trata de atividades tradicionais de baixa rentabilidade, relativos a problemas climáticos, terreno e também por se tratar de pequenos negócios. A irrigação surge como a principal alternativa desses indivíduos dos projetos de assentamento, pois se eles foram assentados para viver da agricultura próxima de mananciais hídricos em um ambiente com déficits hídricos que impedem o desenvolvimento da agricultura, o fornecimento de água para irrigação pode transformá-los em pequenos empresários produtivos. A grande limitação para isso se refere ao custo da irrigação e à situação descapitalizada dos assentados. É conveniente definir, para esses assentamentos, alternativas de sistemas de irrigação de baixo custo associados ao trabalho em associação ou em parceria entre famílias, de forma a mais de uma família utilizar os mesmos sistemas de bombeamento e adutora principal.

5.3 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA AGRICULTURA FAMILIAR

Um sistema de irrigação constitui-se em um conjunto de: unidade de bombeamento, unidade de condução de água e unidade de armazenamento e de distribuição de água. O bombeamento pode ser feito por meio de conjunto motobomba movido a óleo ou gasolina e a eletricidade. Um conjunto motobomba pode funcionar para um agricultor único ou para mais de um, desde que a irrigação seja setorizada, ou seja, o tempo de funcionamento da motobomba seja dividido entre os agricultores. Com isto, o custo inicial do sistema que corresponde pelo menos a 40% do custo total, pode ser dividido entre os usuários produtores, reduzindo o ônus do sistema. A unidade de condução de água que compreende uma tubulação de PVC de diâmetro entre 50 e 100 mm se inicia junto ao sistema de bombeamento, indo até a área de produção onde a água poderá ser aduzida a um reservatório de água elevado (Figura 5.1) ou se conectar diretamente com os registros equivalentes aos respectivos setores a serem irrigados. O reservatório elevado permite um tempo menor de funcionamento do conjunto motobomba, significando redução de gastos de combustível e do desgaste do conjunto motobomba. No caso, a irrigação é feita, prioritariamente, com sistemas de baixa pressão (menor de 10 metros de coluna d'água - mca).

A tubulação que conduz a água da fonte (rio, represa, ribeirão) até a caixa ou até a área de produção, é a tubulação principal ou linha principal. Esta tubulação será ramificada em tubulações chamadas linhas secundárias que, por sua vez, poderão ser chamadas linhas de derivação, se delas saírem mangueiras de polietileno para as fileiras de plantas. Os tubos ou mangueiras de onde saem os emissores (aspersor, miniaspersor, gotejador) são chamados de linhas laterais.



Foto: Ildos Parizotto

Figura 5.1 Sistema de irrigação de baixa pressão com uso de reservatório elevado para distribuição de água por gravidade

A abordagem de sistemas de irrigação para agricultura familiar tem foco principal no custo; entretanto, é oportuno observar que o custo de um sistema envolve tudo que for necessário para aplicação de água a todas as plantas de uma área cultivada. Uma linha lateral móvel de PVC contendo alguns aspersores de baixa pressão, pode irrigar toda uma área, desde que haja pessoas para movê-la ao longo da linha principal. Da mesma forma, poucas linhas laterais de polietileno com microaspersores inseridos poderiam fazer o mesmo que muitas linhas, desde que movidas de posição ao longo da linha de derivação. Assim, a mão-de-obra pode compensar o custo de um sistema de irrigação.

A existência de tecnologias de irrigação e o tempo disponível dos agricultores para esta operação podem levar os agricultores a preferirem sistemas fixos, mesmo que tenham custos mais elevados. Os sistemas que serão descritos a seguir são sistemas possíveis de serem usados em pequenas áreas de cultivo, envolvem sistemas fixos de baixa pressão, que pode ou não usar água aduzida da caixa elevada e média pressão, que carece de sistema de bombeamento.

5.3.1 Sistema “bubbler” adaptado

É um sistema de baixo custo (R\$1.300,00 a R\$1.420,00 ha⁻¹) apropriado para fruteiras ou hortaliças, visto que se baseia em baixa carga hidráulica, podendo usar água de uma caixa elevada a no mínimo 2,5 m acima do solo, dispensando bombeamento (Keller, 1990). O sistema é simples e consiste de linhas laterais conectadas à linha de derivação por registros. Cada linha lateral irriga duas fileiras de plantas, ficando centralizada entre as duas fileiras. Dois segmentos de mangueira plástica ou polietileno são conectados à linha lateral, para aduzir água a duas plantas (Figura 5.2). O diâmetro das linhas laterais e das mangueiras que abastecem as plantas, é calculado por meio de aplicativos computacionais de dimensionamento desses sistemas, como é o caso do programa computacional Bubbler – versão 1.1, desenvolvido pelo Department of Agricultural and Biosystems Engineering of the University of Arizona, o qual se

A.



Foto: Tibério Santos Martins Silva

B.



Figura 5.2 Sistema de irrigação “Bubbler” adaptado. Montagem do sistema antes do plantio (A) e sistema montado em cultivo de bananeiras (B)

mostrou adequado para dimensionamento de sistemas bubblers (Souza et al., 2005). O aplicativo fornece os diâmetros das linhas laterais, tal como o diâmetro e a posição da mangueira que sai da linha lateral e abastece a planta. A posição da saída da água acima da superfície do solo depende do dimensionamento hidráulico feito pelo aplicativo.

Uma vez instalado, o sistema bubbler por ser fixo e envolver mangueiras de diâmetro mínimo de 10 mm, requer pouca mão-de-obra e, pelas vazões bem maiores que as dos sistemas de irrigação localizada convencionais, é de boa aceitação pelos produtores. O uso do sistema em campo, entretanto, difere do estabelecido no projeto porque é difícil manter as mangueiras emissoras de água nas posições originais; com isso, os irrigantes trabalham com as mesmas no nível do solo, controlando as vazões através de fechamento e sua abertura. É feita uma bacia no entorno da planta onde é colocada a extremidade da mangueira (Figura 5.3).



Foto: Eugênio Ferreira Coelho

Figura 5.3 Bacia no entorno da planta de bananeira irrigada pelo sistema bubbler adaptado

5.3.2 Microaspersão artesanal

Este sistema segue o mesmo desenho do sistema de microaspersão convencional, apenas com a diferença de que os emissores são construídos a partir de segmentos de microtubos de polietileno de 4 mm de diâmetro interno e 0,08 m de comprimento, assim como os rabichos dos microaspersores tradicionais. Solda-se uma das pontas do segmento e se fazem um ou dois cortes horizontais na sua extremidade; a outra extremidade do segmento é encaixada em um conector que será inserido na mangueira da linha lateral. Este sistema é caracterizado pela fácil instalação e baixo custo, quando comparado com outros tipos de emissores, correspondendo a, no máximo, 20% do custo de um microaspersor comercial.



Foto (A) e (B): Tibério Santos Mertins Silva; Foto (C): Alisson Jadavi Pereira da Silva

Figura 5.4 Microaspersor artesanal em sistema de irrigação localizada. Microaspersor artesanal em funcionamento (A), irrigação da bananeira via microaspersão artesanal (B) e irrigação da alface via microaspersão artesanal (C)

5.3.3 Xique-xique

O sistema de irrigação do tipo xique-xique (Figura 5.5) consiste na aplicação de água, através de tubos perfurados, com diâmetro de furo de, no máximo, 1,6 mm (Bezerra et al. 2004). O sistema pode ser confeccionado artesanalmente como descrito a seguir: utilizando-se mangueiras de polietileno destinadas para irrigação localizada, e com o auxílio de agulha de metal utilizada para vacinar animais, efetuam-se perfurações com espaçamentos uniformes de 20 cm no decorrer da mangueira para irrigação de olerícolas, e para outros tipos de culturas (ex: fruteiras) o espaçamento entre os orifícios vai depender do espaçamento da cultura. Em seguida corta-se pedaços de 5 cm da mangueira de polietileno, formando pequenos cilindros, que ao serem cortados em uma das bordas no sentido longitudinal, passam a funcionar como braçadeiras a serem colocadas sobre as perfurações, reduzindo a energia cinética da água na saída do orifício evitando que a água sai em forma de jatos.



Foto: Delfran B. dos Santos

Figura 5.5 Irrigação de cenoura por sistema “xique-xique” na área experimental do Instituto Federal Baiano, Senhor do Bonfim, Bahia (A), emissor em funcionamento (B) e detalhamento do orifício e braçadeiras (C)

5.3.4 Xique-xique modificado

Usa o mesmo desenho de um sistema xique-xique de irrigação, com a diferença no emissor de que, ao invés do furo simples usa-se um conector de saída interna de 4 mm, com objetivo de melhorar a uniformidade de distribuição de água (Figura 5.6).

A.



B.



Foto: Tibério Santos Martins Silva

Figura 5.6 Xique-xique modificado em sistema de irrigação localizada. Irrigação da bananeira via xique-xique modificado (A) e conector de saída externa (B)

5.3.5 Gotejamento com uso de emissores artesanais ou comerciais de baixo custo

É o mesmo sistema de gotejamento, apenas com variação no uso de gotejadores. Os emissores podem ser feitos de forma artesanal, como no caso dos microaspersores, isto é, usando-se um segmento de microtubo de 4 mm de diâmetro interno, 0,08 m de comprimento vedado em uma das pontas e perfurado com um furo de 0,8 mm (Figura 5.7). Também podem ser usados emissores comerciais de baixo custo, de vazão regulável ou não (Figura 5.8); neste caso, os gotejadores, têm custo no máximo de 30% do valor dos emissores comerciais.

5.3.6 Bacias abastecidas por canais elevados revestidos

Neste sistema de irrigação não há necessidade de sistematização do terreno; entretanto, é importante uma declividade equivalente à de sulcos de irrigação (0,2%),

A.



B.



Foto: Eugênio Ferreira Coelho

Figura 5.7 Gotejamento com uso de emissores artesanais. Gotejador artesanal (A) e irrigação da bananeira por gotejamento com uso de emissores artesanais (B)



Foto: Tibério Santos Martins Silva

Figura 5.8 Gotejador comercial de baixo custo em sistema de irrigação localizada

de forma que a chegada da água no final dos sulcos ocorra em $\frac{1}{4}$ do tempo necessário à aplicação de determinada lâmina de irrigação. O sistema consta de um canal principal do qual partem os canais secundários entre duas fileiras de plantas, no caso de fruteiras (Figura 5.9). Esses canais são elevados, de forma que o fundo dos mesmos esteja a pelo menos 0,10 m acima da superfície do solo (Figura 5.9). No caso de fruteiras é feita uma abertura no canal próximo de cada planta.

A.



B.



C.



Foto: Tibério Santos Martins Silva & Alisson Jadavi Pereira da Silva

Figura 5.9 Irrigação por superfície em bacias (A) e (B) e canteiros (C) abastecidos por canais elevados revestidos

Nos canais tradicionais a água se distribui mal ao longo da fileira de planta, ocorrendo grande perda por percolação no trecho inicial da fileira de plantas, além de deficiência de umidade na sua porção final, o que ocasiona irregularidade no desenvolvimento das plantas ao longo da linha de plantio. Esta problemática é evitada ao se revestir os sulcos.

Faz-se a irrigação por ordem das plantas de cotas mais elevadas sucedidas pelas de menor elevação até o final do canal. É relevante criar, durante a irrigação, uma carga de água uniforme, para manter uma vazão constante para as plantas, usando-se

comportas moveis feitas de sacolas plásticas cheias de terra. Essas sacolas são colocadas a determinada posição do canal que permita irrigar certo número de plantas de forma que a vazão para as mesmas seja igualmente distribuída (Figura 5.10).

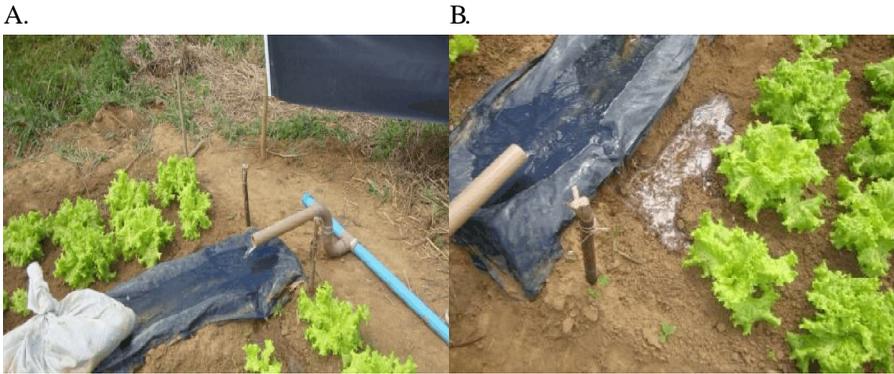


Foto: Alisson Jadavi Pereira da Silva

Figura 5.10 Aplicação de água em canteiros de produção de alface via sulcos com canais de superfície revestida. Uso de comportas móveis (A) e aplicação de águas nas primeiras plantas do canteiro (cota mais elevada) (B)

Assim que as plantas são irrigadas as aberturas dos canais para as mesmas são obstruídas, a comporta é deslocada para uma distancia abaixo no canal e são feitas aberturas para outras plantas, assim sucessivamente, até o final do canal. Tendo em vista a vazão relativamente elevada, o tempo de irrigação para este sistema, de ser mínimo, permite rapidez em todo o processo. O revestimento dos canais pode ser feito com lona plástica ou de polietileno; em lugares onde se tenha fácil acesso a material argiloso de alta densidade, pode-se revestir as paredes internas do canal com o mesmo de forma a impermeabilizá-lo de maneira eficiente, reduzindo perdas por condução.

5.3.7 Irrigação por mangueira perfurada

Este sistema é adequado a condições de culturas de alta densidade, como olerícolas; consiste de mangueiras de polietileno de baixa densidade de diâmetro 28 mm, que funciona na faixa de 2 m.c.a a 8 m.c.a de pressão de serviço, com furos de diâmetro 0,3 mm espaçados 0,30 m entre si. É bastante adequada para irrigação de hortaliças, podendo ser utilizada uma mangueira para dois canteiros (Figura 5.11).

5.3.8 Sistemas de irrigação localizada “garrafas PET”

O sistema de irrigação com uso de garrafas PET’s está sendo muito utilizado principalmente para irrigação de mudas de fruteiras (cajueiro, cajazeira, umbuzeiro dentre outras) quando transplantadas para o campo, pois na fase inicial essas fruteiras, tradicionalmente cultivadas no semiárido, sofrem muito com o déficit hídrico, em virtude do seu sistema radicular ainda não ser profundo suficiente para extrair água

A.



B.



Foto: Alisson Jadavi Pereira da Silva

Figura 5.11 Irrigação por mangueira perfurada utilizando-se uma mangueira entre dois canteiros, vista de uma área de plantio de diversas hortaliças irrigada (A) irrigação de alface (B)

nas regiões mais profundas do solo. Esse sistema também pode ser confeccionado artesanalmente, conforme descrito a seguir: com auxílio de uma tesoura, corta-se a parte lateral inferior da garrafa, gerando uma abertura de forma que facilite o seu preenchimento com água; no centro da tampa da garrafa é feito um pequeno orifício para que ocorra a passagem da água de acordo a pressão gravitacional; em seguida prende-se a garrafa a um piquete de madeira a 5 cm do caule da planta. O Instituto Federal Baiano, campus de Senhor do Bonfim vêm desenvolvendo trabalhos de difusão dessa tecnologia, a Figura 5.12 mostra uma área de 0,2 hectares plantada com moringa irrigada por garrafas PET's.

A.



B.



Foto: Delfran B. dos Santos

Figura 5.12 Sistemas de irrigação localizada “garrafas PET”. Irrigação de moringa (*Moringa oleifera*) com garrafas PET's na área experimental do Instituto Federal Baiano, Senhor do Bonfim, Bahia (A) e detalhamento da garrafa PET (B)

5.4 AVALIAÇÃO HIDRÁULICA DOS SISTEMAS DE BAIXO CUSTO EM CONDIÇÕES DE CAMPO

Os sistemas de irrigação de baixo custo foram avaliados em condições de campo, em quatro assentamentos: A1 – Assentamento Ferradura, no município de Barra, BA; A2 – Assentamento Nova Torrinha, município de Barra, BA, ambos margeando o médio São Francisco, com latitude: 11°08'; longitude: 43°10'; altitude: 402m; numa condição de clima semiárido, com pluviosidade média anual de 661,3mm; A3 – Assentamento Alto Bonito, em uma área próximo do rio Itapecuru, num Planossolo solódico eutrófico de textura arenosa a média e Regosol eutrófico e distrófico de textura franco-arenosa; no município de Cansação, BA (Lat. 10°67' Long. 39°30') cujo clima foi classificado como semiárido, com pluviosidade média anual de 485 mm e temperatura média de 25 °C e A4 – Assentamento Serra Verde, em uma área plana próximo de uma encosta nas proximidades da cidade de Senhor do Bonfim, BA (Lat. 10°47' Long. 40°11').

A cultura plantada nos assentamentos A1 e A3 foi a bananeira, em que os sistemas de irrigação utilizados: 1. Microaspersão artesanal; 2. Gotejamento artesanal; 3. xique xique com uso de um conector de 4 mm de diâmetro em cada furo da mangueira e 4. sistema *bubbler*. No assentamento A2 foi cultivada a melancia sob os sistemas de gotejamento comercial com uso de dois emissores sendo um gotejador de vazão regulável (GR) e um gotejador autocompensante (GA), ambos de fabricação industrial; no assentamento A4 a água utilizada foi oriunda exclusivamente de captação de chuva, tendo sido usada para a produção da alfaca irrigada por microaspersão artesanal (MA), mangueira perfurada (MP) e irrigação por superfície abastecida por canal revestido (SCR). Avaliaram-se, durante o ciclo das culturas nessas unidades de observação, o desempenho dos sistemas e a umidade, que resultou no solo em consequência da irrigação com uso dos mesmos. Foram coletados dados para determinação da variação de vazão do emissor, eficiência de emissão e coeficiente de variação, conforme metodologia de Bernardo et al. (1996).

Os resultados obtidos para os sistemas de microaspersão, xique-xique com uso do conector, gotejamento artesanal e bubbler, medidos no assentamento Ferradura, foram obtidos por Silva et al. (2011), conforme a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 Distribuição de água (Vazão média,; Coeficiente de variação – CV e uniformidade de emissão de água - EU) de sistemas de irrigação de baixo custo. Assentamento Ferradura, 2010

Sistema	Microaspersão	Xique-xique	Gotejamento	Bubbler
Vazão média (L h ⁻¹)	78,8	45,1	17,8	182,9
CV (%)	21,1	66,0	26,3	44,2
EU (%)	78,7	34,3	66,8	51,8

No assentamento Nova Torrinha, município de Barra, BA, foram medidos o desempenho dos sistemas de irrigação composto pelos gotejadores de vazão

regulável e autocompensantes de baixo custo, com base na medida de indicadores de desempenho medidos na superfície e subsuperfície do solo, ao longo da linha de plantio. Os dados obtidos são apresentados nas Tabelas 5.2 e 5.3.

Tabela 5.2 Indicadores de desempenho dos sistemas de irrigação de baixo custo medidos na superfície do solo (vazão média - Q , variação de vazão na linha lateral - ΔQ ; uniformidade de emissão de água - EU e coeficiente de variação - CV) utilizados em assentamentos rurais do semiárido

Indicadores	Gotejador vazão regulável (GR)	Gotejador vazão auto compensante (GA)
Q (L h ⁻¹)	13,50	9,50
ΔQ (%)	62,67	84,25
EU (%)	64,52	50,76
CV (%)	29,53	45,29

Tabela 5.3 Indicadores de desempenho dos sistemas de irrigação de baixo custo medidos na subsuperfície do solo (umidade média - θ , variação de umidade no perfil do solo $\Delta\theta$ -; uniformidade de distribuição de umidade no interior do solo - EU e coeficiente de variação da distribuição de umidade - CV) utilizados em assentamentos rurais do semiárido

Indicadores	Gotejador vazão regulável (GR)	Gotejador vazão autocompensante (GA)
		0,2 m de profundidade
θ (cm ³ cm ⁻³)	0,2516	0,2874
$\Delta\theta$ (%)	42,30	38,31
EU (%)	82,56	85,19
CV (%)	17,07	14,75
		0,4 m de profundidade
θ (cm ³ cm ⁻³)	0,2752	0,3157
$\Delta\theta$ (%)	40,91	34,74
EU (%)	93,54	88,91
CV (%)	16,98	13,89

No assentamento Alto Bonito, em Cansanção, BA, foram avaliados os sistemas de superfície em bacias abastecidas por canais elevados revestidos (SUP), o sistema bubbler adaptado (BA) e o sistema de xique-xique, com uso de conector (XX). As avaliações levaram aos resultados dispostos na Tabela 5.4.

Todos os sistemas avaliados apresentaram baixa uniformidade de emissão, com valores inferiores a 78% e elevado coeficiente de variação, isto é, acima de 21,1%. A microaspersão artesanal apresentou maiores valores de uniformidade de emissão de água seguido do gotejamento, superfície, bubbler e xique-xique. O baixo desempenho desses sistemas comparado aos sistemas comerciais, pode ser explicado por meio de duas razões principais: a primeira, relativa à construção dos emissores, caso da microaspersão e do gotejamento

Tabela 5.4 Indicadores de desempenho dos sistemas de irrigação de baixo custo, medidos na superfície do solo (vazão média - Q, variação de vazão na linha lateral - ΔQ ; uniformidade de emissão de água – EU e coeficiente de variação – CV) utilizados em assentamentos rurais do semiárido. Assentamento Alto Bonito

Indicadores	Sistemas			
	Superfície	Bubbler	Xique-xique	Microaspersão artesanal
Q (L h ⁻¹)	735,10	381,30	18,56	64,27
ΔQ (%)	52,23	68,22	56,54	28,31
EU (%)	65,75	61,90	66,34	89,38
CV (%)	25,12	44,04	38,51	14,03

Tabela 5.5 Indicadores de desempenho dos sistemas de irrigação de baixo custo, medidos na subsuperfície do solo (umidade média - θ , variação de umidade no perfil do solo $\Delta\theta$ -; uniformidade de distribuição de umidade no interior do solo – EU e coeficiente de variação da distribuição de umidade – CV) utilizados em assentamentos rurais do semiárido

Indicadores	Sistemas	
	Bubbler	Xique-Xique
	0,2 m de profundidade	
θ (cm ³ cm ⁻³)	0,1856	0,1895
$\Delta\theta$ (%)	22,17	20,92
EU (%)	87,65	90,20
CV (%)	8,809	8,75

artesanal em que, apesar dos critérios impostos na sua construção, pode ter ocorrido variabilidade nas dimensões dos furos (gotejadores) e cortes (microaspersores); a segunda refere-se à operação dos sistemas pelos assentados. Tendo em vista a inexperiência dos mesmos em lidar com irrigação, houve problemas, como desuniformidade das pressões nas linhas laterais, tanto no espaço como no tempo, ou seja, não houve uma padronização da pressão nos setores irrigados, mas sim problemas de entupimento nos emissores, que foram ignorados e não reparados, contribuindo para a desuniformidade. Tais problemas são parte da realidade desses agricultores e podem ser esperados nas condições avaliadas. As avaliações da distribuição das umidades do solo a 0,20 m e 0,40 m de profundidade mostraram que, apesar de as uniformidades de distribuição de água não serem boas, as umidades no solo se distribuem de forma razoável, com uniformidade de distribuição acima de 85% e coeficientes de variação abaixo de 14,75% permitindo, que se consiga uniformidade na produção das culturas (Tabela 5.5).

5.5 PRODUTIVIDADE DE CULTURAS IRRIGADAS POR SISTEMAS DE BAIXO CUSTO

As cultivares de bananeira Prata Anã no espaçamento 3,0 m x 2,5 m, Grand Naine e Maçã no espaçamento 2,0 x 2,5 m, foram avaliadas em glebas de 0,2 ha no primeiro

ciclo no assentamento Ferradura, município de Barra; os agricultores receberam fertilizantes nitrogenados, e potássicos, tendo o fósforo sido aplicado na fundação juntamente com o FTE BR12; as produtividades dessas cultivares no primeiro ciclo foram computadas, conforme a Tabela 5.6.

Tabela 5.6 Produtividade de pencas ($t\ ha^{-1}$) de banana Grand Naine, Prata Anã e Maçã sob irrigação por diferentes sistemas de irrigação de baixo custo. Barra, 2010

Sistemas	Grand Naine	Prata Anã	Maçã
	(1º ciclo)	(2º ciclo)	(1º ciclo)
	(t ha ⁻¹)		
Microaspersão	22,33 a	11,199	17,80 a
Xíque-xíque	26,33 b	-	11,60 b
Gotejamento	27,35 b	-	18,00 a
Canal revestido	28,60 b	12,133	19,10 a
Bubbler	31,40 b	9,997	-

Exceto pelo ocorrido nas parcelas com a cultivar Prata Anã, que teve seu primeiro ciclo inviabilizado, por ter apresentado problemas de frutificação, as demais cultivares avaliadas indicaram produtividades aquém das obtidas em condições de irrigação tecnicada mas com valores superiores à média das produtividades do estado da Bahia. As irrigações não foram feitas conforme as recomendações, devido à inexistência dos agricultores familiares e a problemas de funcionamento do conjunto motobomba, com interrupção nas irrigações.

No Assentamento Alto Bonito, situado no município de Cansanção, a cultivar de bananeira Prata Anã foi plantada no espaçamento 3,0 x 2,5 m sob os sistemas de irrigação de bacias abastecidas por canais elevados revestidos, gotejamento artesanal e microaspersão artesanal. A cultivar BRS Tropical foi plantada com gotejamento artesanal no espaçamento 2,0 x 2,5 m. As produtividades obtidas com a bananeira Prata Anã conforme Conceição et al. (2011), apresentadas na Tabela 5.7, não demonstraram valores adequados para a condição irrigada, o que se deveu principalmente à baixa uniformidade de distribuição de água nos sistemas avaliados devido principalmente à entupimento dos emissores artesanais, apesar de sinalizarem maior abertura que os comerciais, sendo que não houve um trabalho no sentido de mantê-los desentupidos. Foi instalado um filtro de tela na entrada do sistema; entretanto, em virtude da redução de pressão, preferiu-se a retirada do filtro.

Tabela 5.7 Produtividade da bananeira Prata Anã ($t\ ha^{-1}$), no segundo ciclo de produção irrigada por diferentes sistemas de irrigação de baixo custo. Alto Bonito, 2010

Tratamento	Produtividade de cachos ($t\ ha^{-1}$)	Produtividade de pencas ($t\ ha^{-1}$)	Comprimento do fruto (m)	Diâmetro do fruto (mm)
Microaspersão	9,3	9,33	0,15	32,0
Canal revestido	9,8	8,80	0,13	27,1
Gotejamento	12,7	9,56	0,13	29,2

No assentamento Serra Verde, em Senhor do Bonfim, BA, os sistemas de irrigação de baixo custo microaspersão artesanal, mangueira perfurada e superfície com abastecimento por canais revestidos, foram usados para a produção da alface (*Lactuca sativa* L.). Os diferentes sistemas de irrigação aplicaram o mesmo volume da água captada da chuva. Verificou-se que para essas condições o maior rendimento da alface foi obtido no sistema de irrigação com mangueiras perfuradas (20.150 kg ha⁻¹), seguido dos sistemas de irrigação por superfície com canais revestidos (14.557,5 kg ha⁻¹) e Microaspersão artesanal (9.300 kg ha⁻¹).

Na Tabela 5.8 observa-se que a máxima produção de matéria fresca da parte aérea (g planta⁻¹) se obtém em plantas irrigadas pelas mangueiras perfuradas as quais apresentaram peso médio na ordem de 53,86 e 27,78% maior que os observados nos sistemas que utilizam o microaspersão artesanal e superfície com superfície revestida, respectivamente.

Tabela 5.8 Médias dos parâmetros de produção de alface irrigada por diferentes sistemas de irrigação de baixo custo utilizando-se captação de água da chuva

Sistema	Matéria fresca da parte aérea	Matéria seca da parte aérea
	(g planta ⁻¹)	
Microtubos artesanais	37,20a	3,43ab
Mangueiras perfuradas	80,63b	8,50b
Superfície com canais revestidos	58,23ab	6,16ab

* Médias seguidas de letras diferentes, nas colunas, diferem significativamente pelo teste Tukey (p = 0,05). Fonte: Silva et al. (2011)

5.6 EXPERIÊNCIA DE CAMPO SOBRE USO DE SISTEMAS DE BAIXO CUSTO

Os sistemas avaliados tiveram comportamento diferenciado nos vários assentamentos. Os sistemas de bacias abastecidas por canais revestidos foram os de maior aceitação pelos produtores, devido à facilidade de manuseio e pela aparência da irrigação onde a água é vista em quantidade tanto nos canais como nas bacias. A irrigação é rápida (alta vazão), não tomando tempo do irrigante, o que é um ponto significativo e o desenvolvimento da cultura é diferenciado, isto é, as touceiras ficaram com crescimento destacado. O sistema bubbler também foi de muito boa aceitação pelos produtores, por razões semelhantes às do sistema anterior, isto é, irrigação rápida (vazão elevada em cada planta); é possível ver a água saindo da mangueira em quantidade razoável. No caso da microaspersão com emissores artesanais, a viabilidade de uso requer água de boa qualidade e pureza; do contrário, pode-se ter entupimentos passíveis, porém, de serem consertados mas que, apesar disto, demandam tempo e trabalho muitas vezes não condizente com a disponibilidade do irrigante. Nos dois assentamentos avaliados esses emissores foram substituídos por conectores, transformando-se em xique-xique, no final do primeiro ciclo.

O sistema xique-xique modificado com inserção dos conectores de diâmetro interno de 4 mm, também foi de aceitação razoável pelos produtores, sobretudo por não apresentarem entupimentos e exigirem menos tempo de irrigação, comparado ao gotejamento. O gotejamento, por sua vez, apresentou na forma artesanal, em ambos os assentamentos, problemas de entupimento, não havendo insistência no trabalho de desentupimento, tendo sido prejudicados, assim, o crescimento, a frutificação e a produtividade, como ocorreu na microaspersão. No final do ciclo foi substituído pelo xique-xique modificado e pelo gotejamento comercial, de baixo valor. No caso, foram usados gotejadores do tipo de vazão regulável que também, apesar de não serem difíceis de desentupir, apresentaram elevado índice de entupimento e, portanto, de baixa aceitação, razão por que, no final, foram substituídos pelo xique-xique modificado.

5.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diferentes opções de sistemas de irrigação de baixo custo para agricultura familiar estão disponíveis e avaliadas. Os dispositivos e sistemas de irrigação que atendem a essa condição, entretanto podem ou não apresentar indicadores técnicos de precisão comparável ao caso de dispositivos e sistemas industriais, isto é, alguns sistemas podem operar com menor uniformidade de distribuição de água e com variações de pressão e vazão acima do recomendado. Entretanto com manejo ajustado consegue-se uma uniformidade de distribuição de água no solo adequada com produtividades compatíveis. Sistemas com emissores de água de maior vazão são os mais desejáveis pelos pequenos agricultores. É necessário à capacitação dos agricultores para uso desses sistemas, com noções principalmente de eficiência de irrigação e de uso de água, dado que os agricultores tendem a irrigar em excesso, o que pode resultar em excessivas perdas, principalmente por percolação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bernardo, S; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. Viçosa: UFV, 2006. 625p.
- Conceição, B. ; Coelho, E. F.; Silva, T. S. M.; Silva, A. J. P. Produtividade da bananeira prata anã sob diferentes sistemas de irrigação em condições de agricultura familiar no semi arido. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 11, 2011, Cuiabá. Geração de tecnologias inovadoras e o desenvolvimento do cerrado brasileiro, 2011. Cuiabá: UFMT. CD Rom
- FAO/INCRA - Food and Agriculture Organization/Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Diretrizes de política agrária e desenvolvimento sustentável. Resumo do Relatório Final do Projeto UTF/BRA, março de 1995.
- Geograf-AR. A geografia dos assentamentos na área rural. Banco de dados. Grupo de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Geografia > I GEO/UFBA/CNPq. Salvador - BA. 2006. <http://www.geografar.ufba.br>. 02 Mar. 2012.

- Keller, J.; Bliesner, R. D. Sprinkler and trickle irrigation. New York: van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.
- Marouelli, W. A.; Silva, W. L. C. Irrigação. In: Silva, J. B. C.; Giordano, L. B. (ed.) Tomate para processamento industrial. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2000. p.60-71.
- Silva, A. J. P.; Silva, V. P.; Sá, T.; Coelho, E. F.; Carvalho, A. J. A. Crescimento e produtividade de alface irrigada por diferentes sistemas de irrigação de baixo custo utilizando captação de água da chuva. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 11. 2011. Petrolina: ABID. 2011. CD Rom
- Souza, I. H.; Andrade, E. A.; Costa, E. M.; Silva, E. L. Avaliação de um sistema de irrigação localizada de baixa pressão, projetado pelo software BUBBLER. Revista Engenharia Agrícola, v.25, p.264-271, 2005.

Capítulo 6

Alternativas para uso racional da água em perímetros irrigados por superfície

Raimundo N. T. Costa¹, Danielle F. de Araújo¹,
Haroldo F. de Araújo¹ & Olavo da C. Moreira¹

¹ Universidade Federal do Ceará

6.1 Introdução

6.2 Estudos de caso

6.2.1 Resposta do mamoeiro irrigado por sulcos com diferentes tempos de oportunidade

6.2.2 Indicadores técnicos do maracujazeiro irrigado com água de poço tubular em diversas combinações de horários

6.2.3 Resposta da abóbora aos fatores de produção água e nitrogênio com reúso de água da irrigação por sulcos em sistema de irrigação localizada

6.3 Considerações finais

6.4 Agradecimentos

Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões semiáridas:
Estudos e aplicações
ISBN 978-85-64265-03-5



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB



Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia
Cruz das Almas - BA

6 Alternativas para uso racional da água em perímetros irrigados por superfície

6.1 INTRODUÇÃO

As áreas irrigadas por superfície são responsáveis por grande parcela das terras irrigadas do mundo, mas, seu baixo desempenho é objeto de estudo de muitos pesquisadores (Mohamed et al., 2010). Conforme os autores, parte considerável dessas áreas é construída e operada sem o uso de técnicas adequadas apresentando, portanto, baixa uniformidade e eficiência de aplicação de água.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Curu, onde está localizado o Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, a demanda de água para irrigação é da ordem de 82% comparativamente a outros usos; o reservatório que abastece o Perímetro encontra-se, atualmente, com 50% de sua capacidade de armazenamento (COGERH, 2011) necessitando, então, que se estabeleçam estratégias de manejo de água como forma de dar sustentabilidade hídrica ao Perímetro Irrigado, tanto do ponto de vista quantitativo como do qualitativo, considerando-se a qualidade da água (C_3S_1) em apresentar riscos de salinização em áreas com lençol freático relativamente superficial.

No Perímetro Irrigado Curu Pentecoste é comum os irrigantes estabelecerem tempos de irrigação baseados em conhecimentos empíricos adquiridos ao longo dos anos de experiência, com o uso do sistema de irrigação por sulcos. Cabe destacar que, a partir de então, uma das grandes vantagens deste sistema é a não existência de custos energéticos associados, atualmente uma das grandes limitações nos Perímetros Irrigados Públicos Federais, com sistemas de irrigação pressurizados.

Desde a década de 1990, os especialistas passaram a denominar o termo eficiência de uso da água (EUA), por um novo termo, importado da economia e denominado produtividade da água (PA).

A eficiência de uso da água (EUA) ou produtividade da água, pode ser definida como a produtividade agrícola por unidade de volume de água aplicado, podendo ser expressa em termos de kg m^{-3} ou alternativamente, em termos de $\text{R\$ m}^{-3}$ (Playán & Mateos, 2006).

O simples incremento de 1% na eficiência do uso da água de irrigação nos países em desenvolvimento de clima semiárido ou árido, significaria uma economia de 200

mil L de água por agricultor, por ha ano⁻¹. Um dos motivos que mais contribuem para a baixa eficiência da irrigação, é o fato de que grande parte das áreas irrigadas compreende projetos públicos ou público-privados, em que a maioria dos irrigantes não assimila os princípios básicos da agricultura irrigada, o que dificulta o próprio entendimento da eficiência de irrigação e suas vantagens. Isto se agrava quando o Distrito de Irrigação não tem uma tarifa de água sustentável (Coelho et al., 2005).

Um incremento na produtividade da água se constitui em um avanço de muita relevância em um Perímetro Irrigado porquanto permite, ao agricultor pagar, sem maiores problemas, a tarifa mensal de água (K_2) garantindo que o Distrito de Irrigação possa, efetivamente, desempenhar a contento sua função de manutenção e operação na infraestrutura de uso comum contribuindo, por conseguinte, com a sustentabilidade do Perímetro Irrigado.

Considerando a dificuldade que o agricultor familiar assentado nesses Perímetros Irrigados tem em se apropriar de informações de manejo da irrigação baseadas, por exemplo, em equações de infiltração de água no solo, urge a necessidade da geração quanto a informações que possam ser mais facilmente compreendidas por esses irrigantes como, por exemplo, o tempo de reposição de água no final das parcelas irrigadas.

Atualmente, em áreas nas quais ocorreu mudança do método de superfície para método pressurizado, há poucas pesquisas utilizando fracionamento da irrigação, combinando horários diurnos e noturnos, sobretudo os últimos, em que o custo do kWh de energia chega a ser 73% mais barato que nos horários diurnos. Desta forma, é notória a carência de informações sobre o manejo da irrigação em horários alternativos como forma de possibilitar economia com os custos de energia elétrica na irrigação e, ainda, contribuir com o meio ambiente, através do uso eficiente da água aplicada pela irrigação.

O reúso de água do excesso da irrigação por sulcos surge como alternativa para aumentar a oferta de água, garantindo economia do recurso e racionalização do uso deste bem. A reutilização pode propiciar flexibilidade suficiente para o atendimento das demandas de curto prazo e assegurar o aumento da garantia no suprimento em longo prazo. Neste contexto, assume relevância fonte hídrica subterrânea oriunda de poço raso tubular.

6.2 ESTUDOS DE CASO

6.2.1 Resposta do mamoeiro irrigado por sulcos com diferentes tempos de oportunidade

O estudo foi conduzido no período de julho de 2008 a janeiro de 2010, em uma área de agricultor familiar equivalente a 0,5 ha, localizada no setor hidráulico A, do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. A área apresenta solo Neossolo, com relevo tipicamente plano com classificação textural franca e capacidade de água disponível (CAD) de 41,9 mm, na camada superficial de solo de 0,30 m. O tipo climático da região, de

acordo com a classificação de Köppen, é BSw'h' (Santos et al, 2010; Perdigão, 2010), pertencente ao grupo de clima semiárido, com precipitação média anual de 800,9 mm concentrada nos meses de janeiro a abril.

O preparo do solo consistiu de roço manual, aração e gradagem. As covas foram abertas no espaçamento 2,5 x 2,0 m e nas dimensões 0,4 x 0,4 x 0,4 m, recebendo 10 L de esterco de curral curtido, como fonte de matéria orgânica; 0,220 kg de P_2O_5 na forma de superfosfato simples e 0,05 kg de uma formulação contendo os principais micronutrientes. Utilizou-se a cultivar de mamão Formosa, variedade “Tainung 01”.

As adubações de formação e de produção foram realizadas de acordo com a análise de solo e recomendação da EMBRAPA (2004) para uma produtividade esperada de 30 t ha⁻¹.

O intervalo entre irrigações, de oito dias, levou em consideração o calendário de entrega de água pelo Distrito de Irrigação. A vazão de água aplicada por sulco, associada ao tempo de irrigação e número de irrigações, permitiu o cálculo do volume total de água aplicado no ciclo da cultura.

A eficiência de uso da água de irrigação para cada tratamento foi calculada pela relação entre a produtividade da cultura e o volume de água aplicado por unidade de área, durante o ciclo da cultura.

A redução nos níveis de produtividade com o incremento dos tempos de aplicação de água está associada sobretudo aos efeitos do excesso de água considerando-se ser a cultura do mamoeiro pouco resistente ao excesso de água. Destaca-se, no entanto, que tais resultados se aplicam ao sistema de irrigação por sulcos e às condições de solo e clima em que a pesquisa foi desenvolvida não sendo recomendável, portanto, a extrapolação para condições distintas. A propósito, Santos et al. (2008) verificaram incremento da produtividade do mamoeiro irrigado por microaspersão com o aumento da lâmina de água aplicada.

Verificou-se que a melhor estratégia de irrigação foi a que apresentou tempo de reposição de água correspondente a duas vezes o tempo de avanço, conforme dados apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 Produtividade (PROD) e número de frutos planta⁻¹ (NFP) em função dos tratamentos

Tratamentos	PROD (kg ha ⁻¹)	NFP
T ₁ (TA [*])	42697 a	61,0 a
T ₂ (0,25 x TA)	38988 a	55,5 a
T ₃ (0,50 x TA)	38010 a	54,2 a
T ₄ (2,00 x TA)	27092 b	38,7 b

* Tempo de avanço da água no sulco

** Médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

As Figuras 6.1 e 6.2 ilustram, respectivamente, o comportamento semelhante das variáveis produtividade e número de frutos por planta com os níveis de água aplicados. As funções de resposta fator-produto demonstram decréscimo nos níveis dos

produtos com o incremento do insumo, permitindo delimitar toda a região à direita do tratamento correspondente ao tratamento T_1 (aplicação de água igual ao tempo de avanço), como região não racional do ponto de vista econômico.

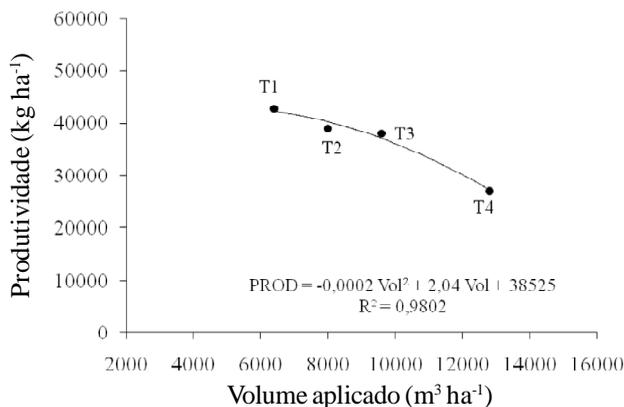


Figura 6.1 Produtividade do mamoeiro em função do volume de água aplicado

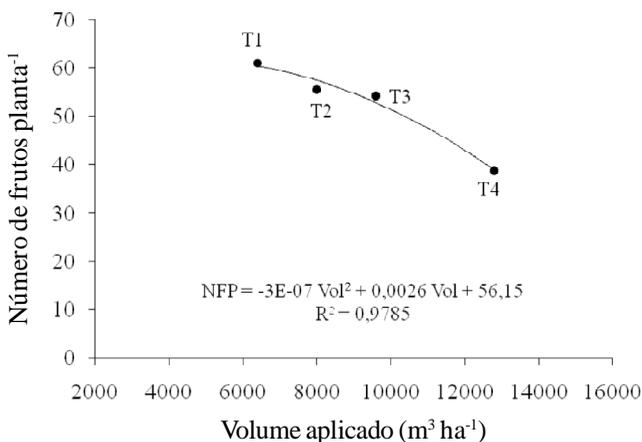


Figura 6.2 Número de frutos do mamoeiro em função do volume de água aplicado

Na Tabela 6.2 são apresentados os valores de eficiência de uso da água de irrigação, em kg m^{-3} e em $\text{R\$ m}^{-3}$, respectivamente, obtidos neste experimento.

A eficiência de uso da água associada à estratégia que correspondeu apenas ao tempo de avanço e que, portanto, proporcionou maior valor de eficiência de aplicação, decorrente da minimização das perdas por escoamento superficial no final da parcela, permitiu a obtenção de 6,7 kg de mamão ou retorno bruto de $\text{R\$ 2,00}$ para cada m^3 de água aplicada.

Tabela 6.2 Eficiência de uso da água de irrigação para os diferentes tratamentos

Tratamentos	Lâmina de água (m ³ ha ⁻¹)	Eficiência do uso da água (kg m ⁻³)	Eficiência do uso da água (R\$ m ⁻³)
T1	6396	6,67	2,00
T2	7995	4,87	1,46
T3	9594	3,96	1,19
T4	12792	2,11	0,64

A percentagem do valor bruto da produção destinado ao pagamento da tarifa de água, foi calculada pela relação entre o valor da tarifa de água K_2 referente ao período do ciclo da cultura e o valor bruto da produção (VBP). Os valores da relação K_2/VBP (Tabela 6.3) obtidos para 1,0 ha nas condições reais de cobrança realizada no Perímetro ($K_2 = K_{21}$) variaram de 2,11 a 3,32%.

Tabela 6.3 Valor bruto de produção, tarifa de água e relação K_2/VBP

Tratamentos	VBP (R\$ ha ⁻¹)	Condição real de cobrança		Condição de cobrança por volume aplicado	
		K_2 ha ⁻¹ (R\$ ha ⁻¹)	K_2/VBP (%)	K_2 m ⁻³ (R\$ ha ⁻¹)	K_2/VBP (%)
T1	12809,10	270	2,11	291,75	2,28
T2	11696,40	270	2,31	297,18	2,54
T3	11403,00	270	2,37	302,62	2,65
T4	8127,60	270	3,32	313,49	3,86

Quando considerada a cobrança pelo volume de água efetivamente utilizado ($K_2 = K_{21} + K_{22}$), essa diferença entre a relação K_2/VBP aumentou um pouco, passando a ser de 2,28 a 3,86%.

6.2.2 Indicadores técnicos do maracujazeiro irrigado com água de poço tubular em diversas combinações de horários

O estudo foi conduzido no período de setembro de 2009 a agosto de 2010, correspondendo ao primeiro ciclo de produção da cultura do maracujazeiro em uma área de 24 m x 58 m, localizado no Setor C, Lote 07 do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, CE, em solo classificado Neossolo, com relevo tipicamente plano e classificação textural franco-arenosa, com predominância de areia fina com baixa quantidade de matéria orgânica e, conseqüentemente, baixa capacidade de água disponível na área da zona radicular da cultura (12,8 mm) necessitando, assim, de uma frequência maior de irrigação (Saeed & El-nadi, 1997). O pH apresentou-se um pouco fora da faixa ideal para a cultura (6,0 a 6,5) porém a saturação por bases estava na faixa ideal de 80%, conforme recomenda Borges (2004) para as condições do Nordeste brasileiro.

O preparo do solo consistiu de roçagem manual, aração e gradagem. As covas foram abertas no espaçamento de 2,5 x 4,0 m, nas dimensões 0,4 x 0,4 x 0,4 m, recebendo adubação de formação e de produção, com nitrogênio e potássio, seguindo a recomendação de Borges (2004).

Utilizou-se o sistema de irrigação por microaspersão do tipo microjet, vazão de 14 L h⁻¹, com dois emissores por planta. A fonte hídrica foi oriunda de um poço raso tubular situado próximo à área do experimento cuja água apresentava condutividade elétrica de 1,05 dS m⁻¹ e RAS de 2,59, sendo classificada C₃S₁; portanto, com médio risco de salinidade (C₃) e sem risco de sodificação (S₁). O risco de entupimento de gotejadores foi considerado moderado.

A lâmina requerida foi calculada a partir de dados de evaporação de um Tanque Classe A instalado próximo à área, associada às condições de instalação e respectivo coeficiente de cultivo da cultura, obtido para a região do estudo, conforme Souza (2009).

Na Figura 6.3 pode-se visualizar o poço tubular instalado na unidade de experimentação com a cultura do maracujazeiro.



Figura 6.3 Poço tubular raso construído no Neossolo

No estudo, a estratégia de irrigação com fracionamento duas vezes ao dia e aplicações de 50% da lâmina requerida pela manhã e 50% à noite, foi a que apresentou os resultados mais satisfatórios, correspondentes à produtividade de 16,7 t ha⁻¹ e 74 frutos planta⁻¹, superiores em 11,8 % à produtividade obtida por Souza et al. (2009), em estudo realizado com a cultura do maracujazeiro no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, com controle da irrigação por tensiômetro, na tensão de 35 kPa.

De acordo com os trabalhos realizados por Aragão Júnior et al. (1991); Pinto et al. (1994) e Sousa (2009), o manejo de irrigação com maior frequência na aplicação de água condiciona o solo a se manter com ótimo teor de água, favorecendo a melhor desenvolvimento da cultura e, em contrapartida, maior produtividade.

O peso médio dos frutos foi, de forma em geral, superior a 200 g, padrão de classificação da fruta fresca no mercado tipo grande. Carvalho et al. (2000) obtiveram frutos com peso médio entre 147 g e 161 g, influenciados significativamente pelas diferentes lâminas de irrigação, corroborando com os resultados obtidos nesta pesquisa, pois os tratamentos irrigados fora do horário de maior demanda evaporativa e deriva de água pelo vento, apresentaram os melhores resultados estatisticamente e, teoricamente, por apresentarem uma lâmina de água maior disponível à cultura.

As variáveis sólidos solúveis totais e pH de frutos do maracujazeiro se mantiveram dentro dos padrões. A faixa ideal de sólidos solúveis totais do maracujazeiro se situa entre 13,80 e 18,50 % (Aular & Rojas, 1994). Este valor é relevante, pois, para a indústria, os frutos devem apresentar teores elevados de sólidos solúveis totais.

Araújo Neto et al. (2005) obtiveram, em estudo com densidade de plantio na cultura do maracujazeiro, Brix de 16,60%. O valor médio de pH obtido neste experimento, de 2,85, está na faixa de referência, entre 2,7 e 3,10 para a cultura do maracujazeiro (Aular & Rojas, 1994).

6.2.3 Resposta da abóbora aos fatores de produção água e nitrogênio com reúso de água da irrigação por sulcos em sistema de irrigação localizada

O estudo foi conduzido no período de setembro de 2009 a janeiro de 2010, em uma área de 32 x 60 m localizado no Setor C do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, em solo com atributos semelhantes aos da Unidade Experimental com a cultura do maracujazeiro, antes descrita.

A abóbora (*Cucurbita moschata*), cultivar jacarezinho, foi semeada manualmente utilizando-se uma planta por cova no espaçamento de 3,0 m entre linha e 2,0 m entre plantas.

O preparo do solo constou de roçagem, aração e gradagem. Sete dias após, foram realizados o coveamento e a adubação de fundação, à base de três litros de esterco bovino curtido e 60 kg ha⁻¹ de superfosfato simples. A adubação de cobertura foi realizada aos 15, 25 e 50 dias após a germinação, dividida em partes iguais, com 60 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio durante todo o ciclo; já a adubação nitrogenada foi realizada em cobertura, em conformidade com os tratamentos secundários, os quais foram orientados a partir da análise química do solo.

O sistema de irrigação localizado era constituído de uma tubulação secundária (PVC) de 50 mm de diâmetro, com linhas laterais de tubo de polietileno de 16 mm e emissores do tipo Microjet Carborundum, espaçados 0,3 m, vazão de 1 l h⁻¹, no total de dois por planta. No início de cada linha lateral um registro permitia controlar as lâminas de água aplicadas nas subparcelas, conforme os tratamentos. O sistema de bombeamento era constituído de uma motobomba com vazão máxima de 7,0 m³ h⁻¹ e potência de 1,0 CV. A fonte hídrica que abastecia o sistema era oriunda de um dreno coletor com condutividade elétrica de 0,49 dS m⁻¹ sem limitações, portanto, de uso para a irrigação.

As irrigações eram procedidas com turno de rega de dois dias, sendo o tempo de irrigação (Ti) calculado de acordo com a Eq. 6.1:

$$T_i = \frac{ECA \cdot K_t \cdot K_c \cdot K_r \cdot A_p}{N \cdot q_e} \quad (6.1)$$

em que:

Ti - tempo de irrigação, h

ECA - evaporação do tanque classe A, mm
Kt - coeficiente do tanque
Kc - coeficiente de cultivo da cultura
Kr - coeficiente de redução
Ap - área útil por planta
qe - vazão do emissor, L h⁻¹
N - número de emissores

Os valores de Kc para os diferentes estádios de desenvolvimento foram obtidos por Lunardi et al. (1999), sendo de 0,66 (semeadura/início da floração), 1,44 (início da floração/início da colheita) e 2,04 (colheita).

Obteve-se a eficiência do uso da água (EUA) pelo quociente entre a produtividade da cultura e o volume total de água aplicado durante o ciclo, na forma:

$$EUA = \frac{Y}{I} \quad (6.2)$$

em que:

EUA - eficiência de uso da água, kg m⁻³
Y - produtividade, kg ha⁻¹
I - volume de água aplicado por unidade de área, m³ ha⁻¹

Na Figura 6.4 visualiza-se a captação de água oriunda de um dreno coletor que recebe água do excesso da irrigação por sulcos.



Figura 6.4 Captação em um dreno coletor do excesso de água da irrigação por sulcos

A máxima produtividade média observada, de 17818,1 kg ha⁻¹, foi obtida com a aplicação de 2817,0 m³ ha⁻¹ de água e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio, reposição esta correspondente a 150% da lâmina requerida pela cultura (ETc). A dose de nitrogênio correspondeu ao dobro do nível sugerido pela análise de solo. Santos et al. (2010) obtiveram, avaliando a eficiência do uso da água em dois sistemas de irrigação na cultura da abóbora, uma produtividade máxima de 22746 kg ha⁻¹ aplicando 664,4 m³ ha⁻¹ de água em sistema de irrigação por gotejamento.

Verificou-se um incremento nos valores médios de eficiência de uso da água com o aumento das doses de nitrogênio. Lopes (1989) afirma que a eficiência do uso da água aumenta com a prática da adubação, desde que a produtividade também aumente.

A máxima eficiência de uso da água observada em kg m⁻³ e R\$ m⁻³ foi de 18,7 e 9,3; respectivamente, compreendendo o menor volume de água e o maior nível de adubação nitrogenada. Santos et al. (2010) constataram, avaliando a eficiência do uso da água em dois sistemas de irrigação na cultura da abóbora, uma eficiência de 34,23 kg m⁻³ para o sistema de irrigação por gotejamento.

6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Culturas que apresentam menor relação K_z/VBP proporcionam melhores condições para o irrigante efetuar o pagamento da tarifa de água, reduzindo os índices de inadimplência e contribuindo, assim, para a sustentabilidade hídrica do Perímetro.

A aplicação fracionada da lâmina de água requerida pela cultura com 50% às 07 h e 50% às 21:30 h, foi o manejo da irrigação que apresentou a maior produtividade, número de frutos por planta e massa média de frutos do maracujazeiro.

O fator de produção nitrogênio, incrementou, em 105%, a eficiência de uso da água na cultura da abóbora.

6.4 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CT-Hidro/Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro para realização destes estudos e aos integrantes do Grupo de Pesquisa de Engenharia de Água e Solo – GPEAS/ Semiárido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aragão Júnior, T. C.; Magalhães, C. A.; Santos, C. S. V. Efeitos de níveis de umidade no solo em cultivares de melão (*Cucumis melo*, L.). Fortaleza: EPACE, 1991. 16p. Boletim de Pesquisa, 19
- Araújo Neto, S. E.; Ramos, J. D.; Andrade Júnior, V. C. de; Rufini, J. C. M.; Medonça, V.; Oliveira, T. K. de. Adensamento, desbaste e análise econômica na produção do maracujazeiro-amarelo. Revista Brasileira de Fruticultura, v.27, p.394-398, 2005.

- Aular, J.; Rojas, E. Influencia del nitrógeno sobre el crecimiento vegetativo y producción de la parchita (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Degener). *Agronomia Tropical*, v.44, p.121-134, 1994.
- Borges, A. L. Nutrição mineral, calagem e adubação. In: Borges, A. L. Maracujá : Produção e qualidade na passicultura. 1.ed. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2004. cap.7, p.119-149.
- Carvalho, A. J.; Martins, D. P.; Monnerat, P. H.; Bernardo, S. Adubação nitrogenada e irrigação no maracujazeiro amarelo: produtividade e qualidade dos frutos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.1101-1108, 2000.
- Coelho, E. F.; Coelho Filho, M. A.; Oliveira, S. L. de. Agricultura Irrigada: Eficiência de irrigação e de uso de água. *Bahia Agrícola*, v.7, p.57-60, 2005.
- COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. Portal Hidrológico. Nível dos Açudes. 2011. <http://www.portal.cogerh.com.br/>. 05 Dez. 2011.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Nutrição, calagem e adubação do mamoeiro irrigado. 1.ed. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2004. 10p. Circular Técnica, 69
- Lopes, A. S. Manual de fertilidade do solo. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 153p.
- Lunardi, D. M. C.; Klosowski, E. S.; Sandanielo, A. Consumo hídrico e coeficiente de cultura da abóbora italiana na região de Botucatu-SP. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.7, p.179-182, 1999.
- Mohamed, H. I.; Abas, O. M.; Elabdin, A. R. A. Z.; El Ramlawi, H. R. Development of a Muskingum-Cunge routing model for design of furrow irrigation. *Agriculture and Biology Journal of North America*, v.1, p.1014-1030, 2010.
- Perdigão, P. C. N.; Costa, R. N. T.; Medeiros, A. T.; Silva, L. A. da; Santos, M. D. S. Efeitos de níveis de água e adubação potássica no desenvolvimento do cajueiro anão-precoce, BRS – 189. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* v.5, p.90-94, 2010.
- Pinto, J. M.; Soares, J. M.; Pereira, J. R.; Choudhury, E. N.; Choudhury, M. M. Efeitos de períodos e de frequências da fertirrigação nitrogenada na produção do melão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.29, p.1345-1350, 1994.
- Playán, E.; Mateos, L. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural Water Management*, v.80, p.100-116, 2006.
- Saeed, I. A. M.; El-Nadi, A. H. Irrigation effects on the growth, yield and water use efficiency of alfalfa. *Irrigation Science*, v.17, p.63-68, 1997.
- Santos, F. S. S.; Viana, T. V. A.; Azevedo, B. M.; Oliveira, C. W.; Sousa, A. E. C. Efeito de diferentes lâminas de irrigação na cultura do mamão. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.673-680, 2008.
- Santos, M. D.; Moreira, O. C.; Costa, R. N.; Branco, L. M.; Macedo, A. B. Análise comparativa de dois sistemas de irrigação através da relação da relação tarifa de água/valor bruto da produção na cultura da abóbora. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 39, 20120. Vitória. 2010. Anais... Vitória: SBEA, 2010. CD Rom

Santos, N. D.; Silva, V. de P. R. da; Sousa, F. de A. S.; Silva, R. A. e. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.492-500, 2010.

Sousa, V. F. Manejo de irrigação no semiárido: Manejo da irrigação, Fortaleza: UFC, 2009. 51p.

Capítulo 7

Uso agrícola de água residuária: Uma visão socioambiental

Vera L. A. de Lima¹, Carlos A. V. de Azevedo¹, Ricardo J. A. Miranda¹,
Antonio A. de Melo¹, Abelardo A. A. Montenegro² & Rubênia N. da Cruz¹

¹ Universidade Federal de Campina Grande

² Universidade Federal Rural de Pernambuco

- 7.1 Introdução
 - 7.2 Pesquisa em Mutuca - Pesqueira, PE
 - 7.2.1 Ensaio para a demonstração da tecnologia de reúso de águas
 - 7.2.2 Mobilização social dos atores locais para participação nas experiências em tecnologia de reúso de águas
 - 7.2.3 Destaques
 - 7.3 Pesquisa no assentamento rural Nova Vida - Mogeiro, PB
 - 7.3.1 Ensaio para a demonstração da tecnologia de reúso de águas
 - 7.3.2 Mobilização social dos atores locais para participação nas experiências em tecnologia de reúso de águas
 - 7.4 Pesquisa realizada em Esperança, PB
 - 7.4.1 Ensaio para a demonstração da tecnologia de reúso de águas e resíduos sólidos orgânicos
 - 7.4.2 Mobilização social dos atores locais para participação nas experiências em tecnologia de reúso de águas e de resíduos sólidos orgânicos
 - 7.5 Conclusões
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões semiáridas:
Estudos e aplicações
ISBN 978-85-64265-03-5



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB



UFRB
Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia
Cruz das Almas - BA

7 Uso agrícola de água residuária: uma visão socioambiental

7.1 INTRODUÇÃO

O uso desordenado dos recursos hídricos vem sendo considerado uma das principais preocupações da sociedade moderna e requer atenção especial de todos os atores sociais. Vários países já convivem com essa problemática, inclusive o Brasil em que, mesmo dispondo de extensos mananciais hídricos, segundo Trentin (2005), as reservas de água utilizável estão cada vez mais escassas, especialmente nas áreas onde se encontram os perímetros com culturas irrigadas, e nos grandes centros urbanos.

Outra questão igualmente importante em relação aos recursos hídricos, refere-se à sua qualidade, cada vez mais comprometida, sobretudo, pela descontrolada ocupação urbana periférica nos países em desenvolvimento constatada facilmente pela ausência de infraestrutura, como saneamento, que gera desequilíbrios ambientais, haja vista que as camadas mais carentes da sociedade, moradoras das periferias, vivem em situação precária e contribuem involuntariamente para a degradação dos recursos naturais.

Para se ter uma idéia em relação ao tamanho do problema pela falta de saneamento básico, Melo (2011) tece que a região Nordeste do Brasil, que concentra cerca de 30% da população brasileira, mesmo com os investimentos do governo federal nas obras do PAC (Programa de Aceleração do Crescimento), tem uma cobertura das redes de esgotamento sanitário na ordem de apenas 60% das residências urbanas. Não deixa de ser um avanço; no entanto, ainda há muito a ser feito, destacando-se que, desde 2005, Ministério da Integração Nacional, vem destinando recursos para o tratamento e gerenciamento dos resíduos líquidos em todos os estados brasileiros, cuja perspectiva é justamente a mitigação dos impactos ambientais e a revitalização das áreas degradadas.

Neste cenário de escassez dos recursos hídricos, a disputa pelo uso da água, mesmo sendo um bem de domínio público, segundo Vargas (2005), virou um tabuleiro de negócios com muitos interesses. É nesse campo que emana uma discussão importante e salutar a respeito de novas possibilidades para o aproveitamento dos

efluentes domésticos e industriais que podem ser usados como fonte alternativa para ampliar a demanda hídrica e diminuir a pressão sobre os mananciais primários.

Além dessa demanda envolvendo a produção dos resíduos líquidos, a sociedade se encontra frente a outro desafio na mesma dimensão - a destinação dos resíduos sólidos os quais, historicamente, causaram sérios problemas de deterioração socioambiental, pois, ao contrário da natureza que recicla todo o resíduo que produz e o reintegra na dosagem certa aos ecossistemas ambientais, o ser humano encontra uma grande dificuldade, segundo Calderoni (2003), em devolver alguns materiais depois de usados para o seu ambiente de origem. Esta prática ecologicamente incorreta alcançou o auge a partir da intensificação do consumo no último século em especial, após a década de cinquenta, com o aumento da pressão sobre os recursos naturais para atender à demanda industrial.

Com a inserção do Brasil, de forma mais pungente, na economia mundial, cidades médias e grandes adensaram suas periferias. Esta ocupação do substrato espacial urbano ocorreu, segundo Martins (1973), em virtude da crise do Brasil agrário, em que as correntes internas direcionavam seus fluxos migratórios em função dos processos de industrialização e territorialização de fábricas e empresas nas cidades. O resultado dessa odisséia é que muitas famílias se instalaram em favelas e cortiços nas periferias urbanas, formando um mosaico paisagístico muito instável e com o “risco” de catástrofes, em relação ao meio ambiente, quanto à saúde pública.

Hoje, a crise socioambiental eclode em muitas cidades gerando um alto grau de complexidade, em função da precariedade das moradias em áreas de “risco” e da falta de infraestrutura para a destinação dos efluentes gerados no ambiente doméstico sendo comum inclusive, o lançamento desses materiais em mananciais hídricos que servem de depuradores para os esgotos domésticos.

Esta prática é o resultado da inconsistência em relação às políticas governamentais que, conjuntamente com as dificuldades de ordenação institucional, são responsáveis pela degradação de muitos ecossistemas terrestres. Entretanto, trabalhar a destinação dos resíduos sólidos de forma adequada é fazer prevenção contra a contaminação e possíveis doenças, tanto do ponto de vista ambiental quanto do social. Já para Leff (2006) e Melo (2011), esta realidade tem exigido novas formas de pensar e conceber as relações ser humano-ambiente, respaldadas na gestão dos recursos ambientais e no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis.

Perfilhando-se tal entendimento e concordando com Heller & Nascimento (2005), tem-se que a dimensão que necessita ser recuperada nessa discussão se refere ao grau em que as técnicas pesquisadas, desenvolvidas e aperfeiçoadas promovem, quando aplicadas em condições reais de campo, o benefício potencialmente idealizado, razão por que os mesmos autores enfatizam a necessidade de se inserir, como tema fundamental, a discussão, em relação à apropriação dos serviços pela população na medida em que, dependendo das características sócio culturais da comunidade envolvida, frequentemente não é curta a distância entre as soluções concebidas pelos técnicos e a aderência a elas, pelos pretensos beneficiários.

É oportuno destacar que a crise socioambiental atinge cada País por uma ótica diferente, de maneira que os povos que deterioram os biomas locais com maior intensidade terão mais dificuldades em promover uma política de sustentabilidade e mitigação dos danos aos ecossistemas terrestres, porém as medidas de intervenção devem respeitar a soberania de qualquer que seja a nação, pois cada sociedade, segundo Castoiriadis (1988), cria sua técnica e seu tipo de saber a partir de suas necessidades.

Para a confirmação dessa tese é importante, como discorre Melo (2011), que a ciência seja solidificada ao lado da técnica, como instituição social contemporânea de extrema importância para direcionar o destino de uma nação, a ponto de conciliar essa coesão com autonomia e o direito à alteridade, que é um problema efetivamente difícil de ser solucionado. No entanto, a mitigação de uma multiplicidade de problemas exige ações bem articuladas e apoiadas no saber científico, com objetivos claros. Neste limiar é preciso decidir qual tipo de tecnologias queremos e o que fazer para evitar os erros das técnicas que rejeitamos.

De tal modo, Heller & Nascimento (2005) enfatizam que o impacto ou efetividade de uma solução tecnológica, no âmbito do saneamento, em muitos casos dependerá, dentre outros aspectos, do diálogo com a comunidade durante a concepção das soluções; da proximidade entre os gestores e a população; de um processo continuado de avaliação do serviço; da integração entre o saneamento e áreas afins e da facilitação de mecanismos para participação popular, e o controle social.

Neste sentido, educação ambiental contribui para o processo dialético estado-sociedade civil, que possibilite a definição de políticas públicas a partir do diálogo e para a articulação de princípios de estado e comunidade, sob a égide da comunidade que coloca o estado como seu parceiro no processo de transformação que resulte na sustentabilidade (Sorrentino et al., 2005; Silva et al., 2009).

Destarte, Campos (2006) afirma que a educação permanente precisa estar no seio da sociedade que pode construir outra lógica pela formação da consciência, da educação cidadã contra a consumista, da sustentabilidade contra insustentabilidade (Gadotti, 2007; Silva 2009).

Sendo assim, a sustentabilidade requer participação popular e a aceitação das tecnologias desenvolvidas; custo moderado de investimento e operação; legislação que propicie boas práticas; envolvimento de vários segmentos da sociedade (McLeod & Cherret, 2008; Lopez, et al., 2007).

Neste norte, Muga & Michelcic (2008) investigaram os indicadores de sustentabilidade de diferentes sistemas de tratamento de esgotos, incorporando os aspectos sociais, econômicos e ambientais. Dentre os indicadores de sustentabilidade, os autores destacaram a aceitabilidade da tecnologia pela produção, a melhoria de sua qualidade e os aspectos educacionais.

Martins et al. (2002), por sua vez, estudando os impactos do saneamento na saúde da população de Itapetininga, SP, no período de 1980 a 1987, constataram que algumas pesquisas não apresentaram impactos significativos do saneamento na saúde da população, pela falta de programas de educação.

Ao mesmo tempo, Silva (2009) destaca que a apropriação ou o empoderamento, de qualquer tipo de tecnologia, além de possibilitar sua efetivação implica em evitar ou minimizar os riscos. De acordo com Alencar (2005), as tecnologias possibilitam diversos benefícios mas é preciso evitar os desvios. Não haverá empoderamento sem a superação dos preconceitos.

Como enfatizado por Hammerschmidt & Lenardt (2010), o empoderamento oferece possibilidades às pessoas de autodeterminarem suas próprias vidas, efetivando sua inserção nos processos sociais e políticos, a partir de sua integração na comunidade e da articulação com outras organizações. Desta forma, o empoderamento significa tornar a comunidade envolvida protagonista de sua própria história pois, quando as mudanças são construídas no cotidiano por pessoas comuns que se dispõem a atuar coletivamente, ousando para alcançar os propósitos compartilhados, tornam-se efetivas (Souza, 2000; Gohn, 2004; Silva 2009).

Nessa mesma direção, Pinheiro (2011) ressalta que as populações nativas conhecem, sobremaneira, as características ecológicas do meio natural no qual estão inseridas, tal como os limites de saturação dos espaços naturais. Sua participação estimulada e valorizada pode constituir os pilares de sustentabilidade para o uso das águas residuárias na atividade agrícola e configurar como relevante instrumento para a atuação do homem na questão ambiental, podendo constituir-se como subsídio para o planejamento e a gestão desse recurso hídrico “marginal”. Ademais, Pinheiro (2011) assevera que cada localidade e cada ambiente apresenta usos, atividades produtivas, relações de empatia, pertencimento e dinâmica próprios, que refletem as diferentes percepções ambientais dos seus agentes sociais.

Sendo assim, a tecnologia de reúso de águas se apresenta, especialmente para as regiões áridas e semiáridas, como uma das soluções, mais alinhada à proteção e à conservação dos recursos hídricos. Portanto, o reúso pode ser absorvido como alternativa ao lançamento de efluentes em corpos hídricos, associado ao desenvolvimento sustentável dessas regiões que, geralmente, abrigam um vasto conjunto de reveses, dentre os quais o esgotamento do solo, perda da biodiversidade pela exploração predatória, surgimento de núcleos de desertificação, que tem ocasionado vários problemas, como a exclusão social de comunidades rurais e o êxodo rural, entre outros (Lima, 2009).

Ainda em relação aos diversos problemas enfrentados pela região semiárida brasileira está o desafio de realinhar sua economia para superar o impacto econômico e social provocado pelos pacotes tecnológicos excludentes, implantados para atender ao interesse do grande capital, como ocorreu com a expansão da fronteira agrícola no cerrado brasileiro, especialmente em Mato Grosso, Goiás e Bahia.

Nesta região, graças ao aporte financeiro e ao meio técnico científico informacional (Santos, 1994) distribuídos de forma desigual e combinados no tempo e no espaço, a cultura do algodão ganhou um novo modelo de cultivo altamente tecnificado; em compensação, a produção tradicional historicamente desenvolvida no interior nordestino, sem uma política para o setor, foi completamente desterritorializada.

O resultado é que o cultivo do algodoeiro exerceu papel relevante, tanto pela reconhecida adaptabilidade às condições fitoclimáticas do semiárido nordestino quanto pela sua importância como fixador de mão-de-obra e gerador de renda. Reconhecidamente, esta matéria-prima contribuiu, por um longo período, e foi indispensável para o desenvolvimento da região, em função do modelo sustentável de produção, formado pelo tripé: econômico, histórico e socioambiental. Mas, com a territorialização do cultivo mecanizado do algodão no Cerrado brasileiro, houve muitas perdas, tanto para a agricultura familiar quanto para a economia do País (Moreira et al., 1980).

Por se tratar da sua área de interesse, a Embrapa avançou nas pesquisas e desenvolveu, segundo Souza (2000), novas variedades de algodão colorido cuja perspectiva é resgatar a produção dessa fibra na região sertaneja e criar novos arranjos produtivos, para impulsionar a economia da região.

É importante destacar que a cadeia produtiva do algodão colorido ainda está em desenvolvimento; no entanto, as peças e confecções produzidas por pequenos tecelões estão ganhando os mercados internos e externos. É a partir desse interesse que emana a necessidade para a adoção de medidas alternativas em prol do fortalecimento de todos os elos da cadeia produtiva do algodão no semiárido nordestino.

Portanto, o reúso de água deve fazer parte da estratégia de resgate dessa cultura, pois a fibra algodoeira além de representar alta rentabilidade e imensas possibilidades, tanto do ponto de vista econômico quanto do socioambiental, é de muito interesse para o Nordeste. Esta região detém o segundo maior parque industrial têxtil do País, o qual passou a consumir, a partir de 1997, mais de 300 mil toneladas anuais de pluma, em particular os Estados do Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte (Souza, 2001). O uso de água residuária, além de suprir as necessidades hídricas da planta, aporta uma grande quantidade de nutrientes e, conjuntamente com o composto orgânico que também é rico em nutrientes, pode representar a dispensa da compra de adubo para esta cultura.

Da mesma forma, o uso agrícola de composto orgânico cresceu acentuadamente em todo o mundo, especialmente nas regiões áridas e semiáridas dos países em desenvolvimento, como resposta à necessidade de aumentar a produção de alimentos sem aplicação de fertilizantes sintéticos e adubação química. Inclusive, o uso de composto orgânico é prática de manejo defendida por ambientalistas, como meio para diminuir a pressão dos agentes tóxicos ao meio ecológico (Hespanhol, 2003).

A compostagem é o processo biológico de decomposição da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal. Trata-se de uma dinâmica que oferece como resultado final, um produto conhecido como composto orgânico, muito importante para recompor a capacidade produtiva do solo e melhorar suas estruturas físicas e químicas. Esta prática há muito é desenvolvida no meio rural, com a utilização de restos de vegetais e esterco animal.

O composto orgânico, como a água residuária de esgoto doméstico, constitui-se em uma rica fonte de nutrientes, fato que ocorre em função de seus elevados teores

de nitrogênio e fósforo, além dos micronutrientes presentes em sua constituição. Essas qualidades fazem da compostagem orgânica um produto de muito interesse, especialmente para o setor agrícola; sabe-se que seus efeitos influenciam diretamente na fertilidade do solo, melhorando sua estrutura para o desenvolvimento das plantas e aumentando a resistência à erosão e à seca, ou seja, o uso da compostagem gera um impacto positivo nas características físicas, químicas e biológicas do solo (Andreoli et al., 2001).

Desta forma, os pesquisadores Heller & Nascimento (2005), avaliando as necessidades de pesquisa e o desenvolvimento nas áreas de saneamento no Brasil em relação ao esgotamento sanitário e ao manejo dos resíduos sólidos urbanos, destacam o confronto entre soluções locais e soluções centralizadas e a valorização de técnicas que intensifiquem a reutilização dos efluentes líquidos e sólidos que orientam novas possibilidades.

Nessa perspectiva e de acordo com a classificação de Barth (1999), que confere aos diversos estados brasileiros uma nomenclatura que varia de abundante, para os que possuem a disponibilidade de água superior a $20.000 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, a crítico, aqueles que dispõem de um volume de água inferior a $1.500 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em que os Estados da Paraíba e de Pernambuco são os que têm a menor oferta de água a seus habitantes, circunscreve-se o presente trabalho nesses dois Estados, zona crítica de oferta de água no Brasil, tendo como referência as comunidades de Nova Vida, Mogeiro na Paraíba, Esperança, PB, e de Mutuca, no Município de Pesqueira, em Pernambuco.

Em resumo, a idéia norteadora deste trabalho é a construção coletiva e participativa de uma proposta teórica metodológica e conceitual, que possa contribuir para o desenvolvimento de tecnologias sociais em torno da problemática da destinação dos esgotos e do lixo domiciliar, e que as soluções sejam capazes de reduzir o potencial de danos causados pelos resíduos sólidos e líquidos de origem doméstica, ao meio ambiente e à sociedade. Por outro lado, idealizar formas que possibilitem o reúso desses recursos na produção agrícola, especialmente nas regiões semiáridas.

Frente a esse quadro que tangencia a escassez dos recursos hídricos, interligado à incompatibilidade entre geração e descarte dos resíduos sólidos e líquidos o trabalho tem o objetivo de contribuir para a compreensão da dinâmica e magnitude da questão que envolve a aplicação desses materiais na atividade agrícola. Em outra dimensão, mostrar as potencialidades econômicas e socioambientais desses rejeitos, que podem tornar-se importante alternativa na oferta de insumos para a agricultura e para minimizar os danos causados por esses na saúde pública e ao meio ambiente.

Quanto à natureza do problema, a pesquisa se caracterizou em sua base teórica, qualitativa e experimental, procurando entender a relação causa e efeito de um dado fenômeno. Como quantitativa, porque foram coletados dados e opiniões utilizando-se técnicas estatísticas para estabelecer as relações entre as variáveis do estudo.

A escolha das comunidades Mutuca, PE, Esperança, PB, e Nova Vida, PB foi orientada pelos seguintes critérios: localização na região semiárida, desenvolvimento de agricultura familiar, estar localizada em posição estratégica da Bacia hidrográfica

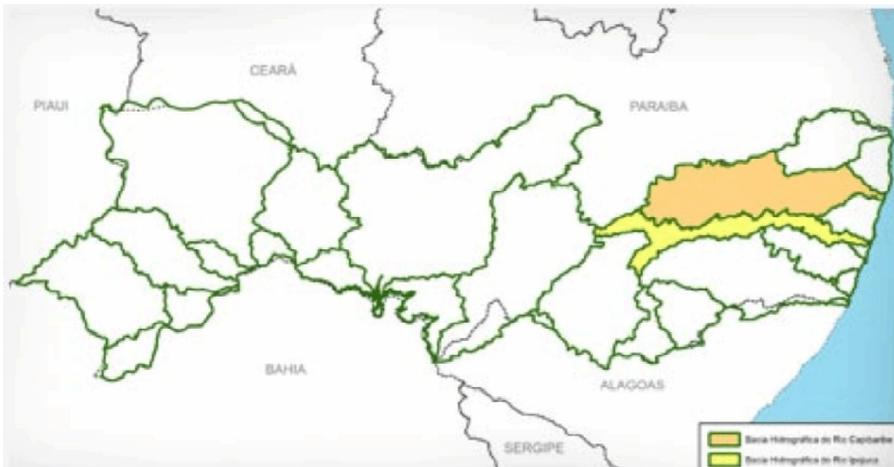
do Rio Ipojuca, PE, e do Rio Paraíba, PB, por apresentar condições de acesso à área e, especialmente, aceitabilidade dos agricultores em participarem da pesquisa.

Para promover uma sinergia maior na pesquisa, atentou-se para a vocação das comunidades e, para isto, foram realizados ensaios para a demonstração da tecnologia de reúso de águas, escolhendo-se culturas adequadas ao ecossistema ambiental e de tradição cultural. Desta forma, na comunidade de Mutuca o experimento de campo foi conduzido com a cultura do algodão colorido e, em Nova Vida, plantou-se gergelim.

7.2 PESQUISA EM MUTUCA – PESQUEIRA, PE

7.2.1 Ensaio para a demonstração da tecnologia de reúso de águas

O ensaio desenvolvido em Pesqueira – PE foi instalado e conduzido em área das nascentes da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca (Figura 7.1), na comunidade de Mutuca, Município de Pesqueira, PE, nas dependências da Unidade Piloto de Tratamento e Reúso de Esgoto Doméstico Para Fins Produtivos – Mutuca (ETE – MUTUCA), com coordenadas geográficas $8^{\circ} 16' 46''$ S e $36^{\circ} 34' 22''$ de latitude e longitude, respectivamente, e altitude 654 m.



Fonte: <http://www.google.com.br/imgres>

Figura 7.1 Bacia hidrográfica do Rio Ipojuca, PE

O clima da região é classificado como BSHW semiárido quente, com temperatura média anual em torno de 27°C , umidade relativa do ar de 73% e velocidade média do vento de $2,5 \text{ m s}^{-1}$, com precipitação média anual de 670 mm (Molinier et al., 1994) e regime de chuvas entre os meses de maio a julho (CISAGRO, 1990).

A estação de tratamento de esgotos existente no município de Mutuca (ETE--MUTUCA) (Figura 7.2) é constituída de um tratamento preliminar com grades de barras, desarenador e calha Parshall; em seguida, um reator UASB, combinado com

um filtro anaeróbico de fluxo descendente e lagoa de polimento dando, aos efluentes, um grau de tratamento secundário.



Figura 7.2 Estação de tratamento de esgoto (ETE-MUTUCA)

A ETE-MUTUCA atende a uma parte do distrito de Mutuca, correspondente a 150 residências com uma média de 5 moradores por unidade, 750 pessoas, cuja renda média é de um salário mínimo. A vazão que alimenta o reator UASB foi estimada em 3.000 L dia⁻¹.

Neste experimento cultivou-se sob diferentes lâminas de irrigação e adubação orgânica, o algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch., cultivar BRS Safira, CNPA 01-55) (Figura 7.3).

Produtividade da cultura do algodão colorido BRS Safira: O potencial da tecnologia do uso de esgoto tratado na Produtividade do algodão é confirmado na



Figura 7.3 Algodão colorido cultivar BRS Safira

Tabela 7.1, na qual são apresentados os resumos da análise de variância para a variável produtividade, nas diferentes lâminas de água utilizadas. Verifica-se que esta variável foi sensível ao efeito das lâminas de irrigação, apresentando significância em nível de 5%.

Tabela 7.1 Resumo das análises de variância referente à variável produtividade, para a cultivar BRS Safira

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (kg ha ⁻¹)
Lâmina	3	381619,74*
Adubação	1	437,41 ^{ns}
Lâmina x Adubação	3	38593,44 ^{ns}
Bloco		846791,04**
Resíduo	21	114039,52
CV		13,48
Reg, Pol, Linear	1	560106,77*
Reg, Pol, Quadrática		442032,68
Reg, Pol, Cúbica		142719,46 ^{ns}

GL - grau de liberdade; CV - coeficiente de variação; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01(**) de probabilidade; (ns) não significativo

Constatou-se que a produtividade do algodão colorido variou de aproximadamente 2300 a 2700 kg ha⁻¹ para as lâminas de 60 e 120%, respectivamente, da evapotranspiração da cultura, correspondendo a um incremento de 400 kg ha⁻¹. Verifica-se que o valor de produção encontrado para a menor lâmina aplicada ainda foi superior aos valores médios de 1220 e 1915 kg ha⁻¹ registrados, em dados da Embrapa (2004), em condições de sequeiro, para esta cultivar, o que reafirma a necessidade da irrigação para permitir que a cultura expresse seu potencial produtivo.

7.2.2 Mobilização social dos atores locais para participação nas experiências em tecnologia de reúso de águas

A estratégia para o envolvimento da comunidade na tecnologia de reúso de águas utilizou, como instrumento, reuniões e atividades de educação ambiental que se desenvolveram em sincronismo com a condução do experimento com o algodão e foram realizadas dentro do princípio da pesquisa participativa, no sentido de sensibilizar e mobilizar os gestores públicos, os professores da escola da Comunidade de Mutuca, os alunos, suas famílias e os líderes locais para a viabilização do projeto e possibilitar a superação do preconceito e receio à tecnologia de reúso da água no cultivo do algodão.

Mobilização institucional: A participação institucional foi alcançada através de reuniões realizadas com a Secretária de Recursos Hídricos de Pernambuco (SRH) e com a Prefeitura Municipal de Pesqueira, nas quais se estimularam os gestores municipais e estaduais a participarem de uma visita à unidade experimental- Unidade de Tratamento e Reúso de Esgoto Doméstico - Mutuca – Pesqueira, PE.

Tornou-se patente que os gestores municipais, ao compreenderem a importância do desenvolvimento de alternativas tecnológicas para o tratamento de esgotos e a sua destinação final na forma de um insumo capaz de promover o desenvolvimento agrícola regional, de forma sustentável, por meio da sua utilização na irrigação, se mostraram sensíveis à implantação do projeto, disponibilizando a área e designando pessoas, funcionários e secretários, para a sua realização.

A participação institucional é essencial para disseminação, empoderamento e aplicação em escala real das tecnologias referentes ao tratamento e reúso de esgotos domésticos (Silva al. 2009). Uma vez que tal prática deve ser precedida de sistema adequado de coleta e condução de vazões capaz de atender à área em questão, de modo que não constitua ameaça ao meio ambiente nem à saúde pública (Trentin, 2005).

Envolvimento da comunidade: Em relação às demais pessoas da comunidade, foram concebidas algumas estratégias que possibilitassem envolvê-las no processo. Nesta direção, decidiu-se convidar os educadores da escola do distrito, Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite a participar de um curso de capacitação em educação ambiental.

- Capacitação: Realizou-se a capacitação em educação ambiental, com ênfase no tema reúso de esgoto tratado, para os professores da Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite, do Distrito de Mutuca, com apoio da UFRPE, por meio da participação de bolsistas daquela Instituição (Figura 7.4).



Figura 7.4 Curso de capacitação

A capacitação foi pautada em discussões motivadas pelos questionamentos decorrentes das dúvidas inerentes aos temas: impacto dos esgotos no ambiente e na saúde humana, tratamento de esgotos e seu potencial para o uso na agricultura, especialmente em culturas de uso industrial, como é o caso do algodão colorido.

Durante o curso surgiu a necessidade de se realizar uma visita técnica à Universidade Federal Rural de Pernambuco -UFRPE e à ETE – Mangueira, na cidade do Recife, com a finalidade de se apresentar os trabalhos desenvolvidos na Universidade e mostrar o funcionamento de uma estação de tratamento de esgoto, em uma realidade diferente da Comunidade de Mutuca (Figura 7.5).



Figura 7.5 Visita técnica com participantes do curso de capacitação

No decorrer do curso de capacitação observou-se, ainda, que a contribuição da tecnologia do uso de efluentes de esgotos tratados na irrigação, do ponto de vista da Educação Ambiental, colabora para reconhecer que no processo de construção do conhecimento ocorrem múltiplas interações, influenciadas por ordem econômica e social e que requerem a participação de todos os setores da sociedade (Lacerda, 2007).

Como reflexo deste trabalho a Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite mobilizou os alunos a desenvolver uma feira de ciências como o tema Uso de esgotos tratados na produção agrícola.

Nas atividades apresentadas e que compreenderam o desenvolvimento de maquetes, produção de textos, pode-se perceber o envolvimento dos estudantes na temática ambiental, especialmente com o uso dos esgotos domésticos produzidos, tratados e utilizados em sua comunidade, na produção da cultura do algodão, ilustrado na Figura 7.6, na qual se visualiza a representação da ETE de Mutuca e de plantas de algodão (a); e do um Rio Ipojuca, recuperado e despoluído (b).

A realização da feira de ciências permitiu à comunidade de Mutuca, PE, um contato direto do olhar dos alunos e professores para a Unidade de Tratamento e Reúso, despertando em todos os setores o interesse pelos impactos, tanto na saúde como no ambiente decorrentes do lançamento dos esgotos, e o desenvolvimento de tecnologias que permitam destinar esses resíduos de forma sustentável e produtiva, como foi o caso vivenciado pelos estudantes que consistiu no acompanhamento do cultivo e na produção do algodão colorido, utilizando-se os esgotos tratados na ETE Mutuca.

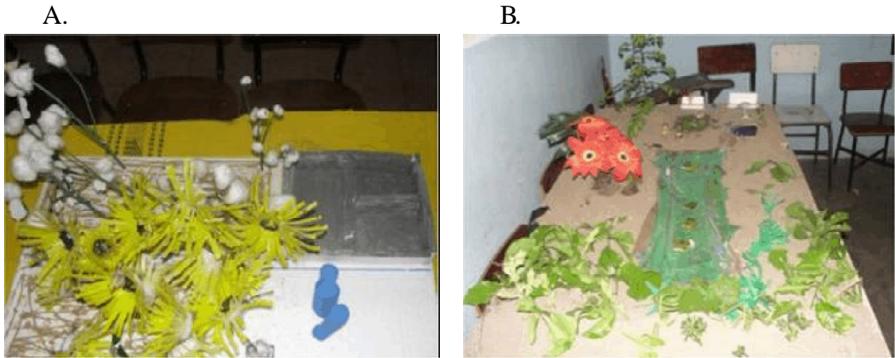


Figura 7.6 Trabalho desenvolvido na Feira de Ciências Escola Henrique Monteiro Leite, Mutuca, PE

7.2.3 Destaques

As atividades em Educação Ambiental possibilitaram a compreensão dos fundamentos do uso de águas residuárias na atividade agrícola, compreendendo a necessidade de tratamento dos esgotos para evitar danos à saúde humana e ao ambiente; o potencial fertilizante desses efluentes e a importância estratégica desse resíduo na oferta de água para viabilizar a agricultura, especialmente, nas regiões semiáridas.

De modo geral, a mobilização institucional e social constituiu ferramentas essenciais às mudanças de percepção dos diferentes setores da sociedade para o uso de esgotos tratados na atividade agrícola, possibilitando a superação da rejeição dos produtos agrícolas gerados com o uso dessas águas.

7.3 PESQUISA NO ASSENTAMENTO RURAL NOVA VIDA - MOGEIRO, PB

7.3.1 Ensaio para a demonstração da tecnologia de reúso de águas

O município de Mogeiro, PB (latitude: 7° 17' 58"5; longitude: 35° 28' 46"0) localiza-se na mesorregião do Agreste Paraibano. A sede do município tem altitude aproximada de 117 m, distando 70,9 km de João Pessoa, capital do Estado.

O assentamento Nova Vida, distante 20 km da sede do município de Mogeiro, PB, foi criado em 2002, pela INTERPA - Instituto de Terras e Planejamento Agrícola do Estado da Paraíba, e é originado das fazendas Novo Mundo e Areal, com extensão de 373,457 ha, limitada ao sul pelo Rio Paraíba, abrigando 27 famílias, a maioria composta de trabalhadores e vizinhos das antigas fazendas.

A área do assentamento foi distribuída em 27 parcelas com 13,83 ha cada uma; 20% da área total foram destinados à preservação ambiental. Os recursos para a compra das fazendas e aquisição de equipamentos, matrizes bovinas, alevinos,

construção de cerca, cocheira, tanques para piscicultura, plantio de capim e palma e aquisição de rações, entre outros investimentos, foram originários do Banco da Terra e do Banco do Nordeste do Brasil.

Como no assentamento não havia coleta nem tratamento dos esgotos os quais são destinados a fossas sépticas ou disposto diretamente no Rio Paraíba a parte experimental foi desenvolvida na Universidade Federal de Campina Grande, em Campina Grande, PB, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude $7^{\circ} 13' 50''$; longitude: $35^{\circ} 52' 52''$, a 551 m acima do nível do mar.

Utilizaram-se duas fontes de água na irrigação, água de abastecimento e água residuária. A água de abastecimento - AA, foi proveniente do sistema de abastecimento de Campina Grande; a água residuária - AR, era oriunda dos esgotos domésticos, de bairros circunvizinhos, tratados em sistema UASB (Reator Anaeróbico de Fluxo ascendente) o qual remove, em parte, a matéria orgânica e os sólidos em suspensão.

A cultivar de gergelim foi a CNPA G3 (Figura 7.7), que apresenta porte médio de até 1,60 m crescimento ramificado, floração e maturação uniformes, um fruto por axila e sementes de cor creme. A colheita ocorre no período compreendido entre a queda das folhas e o início da deiscência dos frutos, por volta dos 90 e 110 dias após a emergência das plântulas.



Figura 7.7 Cultivar de gergelim foi a CNPA G3

Produção do Gergelim irrigado com água residuária e adubado com torta de mamona:

A Tabela 7.2 contém os resumos das análises de variância para o número de frutos (NC), peso dos frutos (PF) e peso das sementes por planta (PS), das plantas de gergelim irrigadas com água residuária e de abastecimento e adubadas com torta de mamona.

Observa-se que o número de frutos (NF) foi influenciado significativamente pelo tipo de água (TA) e pelo fatorial versus testemunha, a 1% de probabilidade, respectivamente. O número de capulhos das plantas irrigadas com água residuária

foi superior 61,03% ao irrigado com água de abastecimento, corroborando com Figueiredo et al. (2005), que também verificaram número de capulhos das plantas irrigadas com água residuária para a cultivar BRS 200 Marrom e para a cultivar BRS Verde, superior.

Tabela 7.2 Resumo das análises de variância para o (NF) número de frutos, (PF) peso dos frutos (g) e (PS) peso das sementes (g) das plantas de gergelim irrigado com águas de diferentes qualidades e adubado com torta de mamona

Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		NF	PF	PS
Tipo de água (TA)	1	2557,63**	0,17ns	13,95ns
Dose de Torta (DT)	4	163,66ns	72,33ns	3,00ns
Interação TA x DT	4	57,13ns	32,67ns	1,55ns
Tratamentos	11	428,54ns	43,37ns	3,92ns
Fator vs Test 1	1	967,34**	56,89ns	7,33ns
Fator vs Test 2	1	212,80ns	0,19ns	4,56ns
Resíduo		190,33	45,88	4,49
Tipo de água			Médias	
Abastecimento	1	30,26 a	7,02 a	4,69 a
Residuária	1	48,73 b	7,17 a	6,06 a

*, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; ns – não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Não se constatou efeito significativo da dose de torta (DT) nem da interação (TA x DT) para nenhum dos parâmetros avaliados; o peso dos frutos e o peso das sementes não sofreram influência significativa de qualquer um dos fatores analisados. Pereira et al. (2003), estudando o efeito de águas residuárias na produção do gergelim, notaram que as parcelas experimentais irrigadas com esta água foram mais produtivas que as que receberam água não residuária.

7.3.2 Mobilização social dos atores locais para participação nas experiências em tecnologia de reúso de águas

Na abordagem a ser trabalhada foram adotados os seguintes procedimentos para sensibilização ou mobilização social da comunidade visando ao uso da água residuária no cultivo da cultura do gergelim:

- Visitas ao assentamento, com o intuito de reconhecer a área e apresentar o projeto aos agricultores;
- Levantamento de informações sobre o processo de criação do assentamento e o monitoramento da água do Rio Paraíba, junto ao INTERPA - Instituto de Terras e Planejamento Agrícola da Paraíba, Secretaria de Agricultura de Mogeiro e SUDEMA - Superintendência de Administração do Meio Ambiente.
- Aplicação da entrevista semiestruturada, com os agricultores assentados e observação direta;

– Apresentação e discussão dos resultados do experimento aos agricultores assentados.

A entrevista foi realizada com base em um roteiro semiestruturado e versou sobre os fatores sociais e ambientais do cultivo de gergelim na área em estudo e se orientou nos seguintes eixos temáticos: dados do agricultor (assentado); dados sobre cultivo, produção e comercialização do gergelim e quanto às condições ambientais, especialmente sobre a destinação dos esgotos. Foram realizadas dez visitas ao assentamento e entrevistados 27 agricultores, o que correspondeu a 100% das famílias do assentamento.

Entre os entrevistados não foram identificados analfabetos; 38,16% declararam que assinam o nome (analfabetos funcionais), 42,80% cursaram o Ensino Fundamental do 1º ao 5º ano, 4,76% cursaram o Ensino Fundamental do 6º ao 9º ano, 9,52% concluíram o Ensino Médio e 4,76% concluíram o Curso Superior (Figura 7.8). A baixa escolaridade dos titulares da parcela agrícola pode ser explicada pela necessidade do trabalho familiar entre os jovens nas áreas rurais, pela falta de infraestrutura das escolas, pela qualidade do ensino e pela oferta restrita apenas às séries/anos iniciais do ensino fundamental.

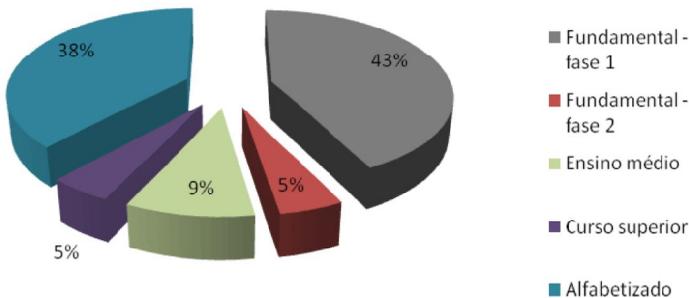


Figura 7.8 Escolaridade dos agricultores do assentamento Nova Vida, Mogeiro, PB

Estudos realizados por Pereira (2008), em assentamentos rurais no Cariri Paraibano indicaram índices de 25% de analfabetismo. Esses percentuais são comprovados pelos dados do IBGE (2000), em que a taxa de analfabetismo funcional na zona rural das pessoas de 15 anos ou mais de idade, é de 66,7%, sendo 76,4% compostos por homens e 57,3% por mulheres. O autor comenta que dados sobre analfabetismo ajudam a esclarecer o nível de investimento do poder público em educação escolar, nas áreas rurais dos Assentamentos. É conveniente ressaltar que os Programas de Alfabetização de Jovens e Adultos não tem conseguido alcançar seus objetivos de preparar para a cidadania e despertar o interesse pela elevação da escolaridade, resumindo-se, em algumas realidades, a transmissão de conteúdos que precisam ser memorizados e reproduzidos, ao que Paulo Freire denomina de “Educação Bancária!”, enfim, uma prática educativa dissociada do contexto social, histórico e cultural dos alunos.

Em relação à disposição dos esgotos, os resultados da pesquisa apontam que 95% das famílias possuem fossa seca e demonstram preocupação com o destino final dos esgotos (Figura 7.9); apenas 5% lançam os dejetos a céu aberto, embora o percentual represente uma pequena parcela da população pesquisada; esta prática pode ocasionar impactos ao ambiente e à população, com contaminação do solo e das culturas, contaminação da água do rio e transmissão de doenças aos agricultores e suas famílias.

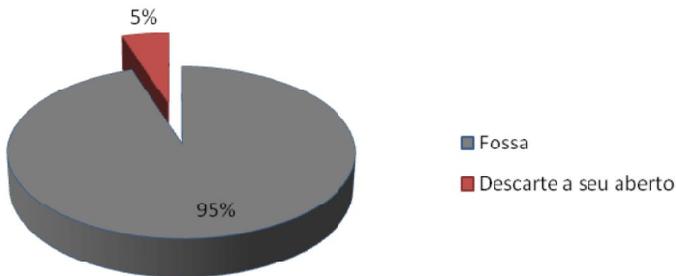


Figura 7.9 Disposição dos esgotos no assentamento Nova Vida, Mogeiro, PB

Quanto ao destino final dos resíduos sólidos (Figura 7.10), 24% dos agricultores os queimam, 66% o enterram ou queimam e 10% o selecionam, enterram ou queimam. Nas observações realizadas na área da pesquisa foram encontrados resíduos lançados no ambiente (próximo às residências e cisternas), principalmente plástico. Verifica-se que tal prática pode ocasionar impactos socioambientais pela contaminação do ambiente, agravos à saúde da população e riscos à vida dos animais, principalmente dos bois e vacas, pela ingestão de plástico. Constatou-se, também, em uma entrevista, que a família joga o lixo na margem do Rio Paraíba e em seguida o queimam.

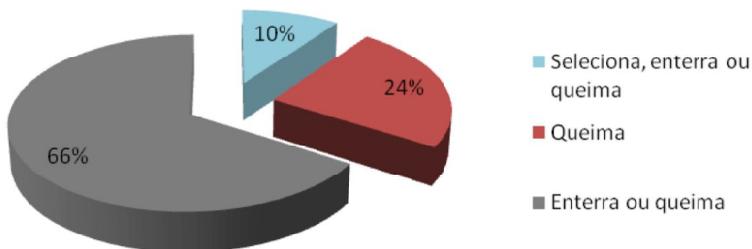


Figura 7.10 Destino final dos resíduos sólidos, pelos agricultores

Quando indagados em relação à prática da irrigação no assentamento, identificou-se que apenas 18,52% dos agricultores utilizam esta prática nas culturas. Embora o assentamento esteja nas mediações do Rio Paraíba, isto se justifica em virtude da área não dispor de energia trifásica, o que inviabiliza a irrigação. Os poucos agricultores

que conseguem usar a irrigação no cultivo das culturas o fazem em razão de colocarem a energia trifásica com recursos próprios e/ou possuem o lote vizinho à comunidade de Areal, que possui energia trifásica. Segundo relato dos agricultores, tal realidade tem impedido o desenvolvimento social e econômico do assentamento.

Dos agricultores após conhecimento dos resultados alcançados com o Projeto de irrigação na cultura do gergelim, com esgotos tratados, 77,77% declararam que estariam dispostos a utilizar água residuária na irrigação do gergelim. Esses dados demonstram a aceitação por parte dos agricultores quanto ao uso de água residuária.

A apresentação do projeto facilitou e norteou o diálogo entre o Secretário de Agricultura de Mogeiro e o Presidente da Associação dos Agricultores, para a reutilização de águas na irrigação do gergelim, oriundas de um projeto de criação de peixes em tanques em processo de tramitação junto aos órgãos competentes.

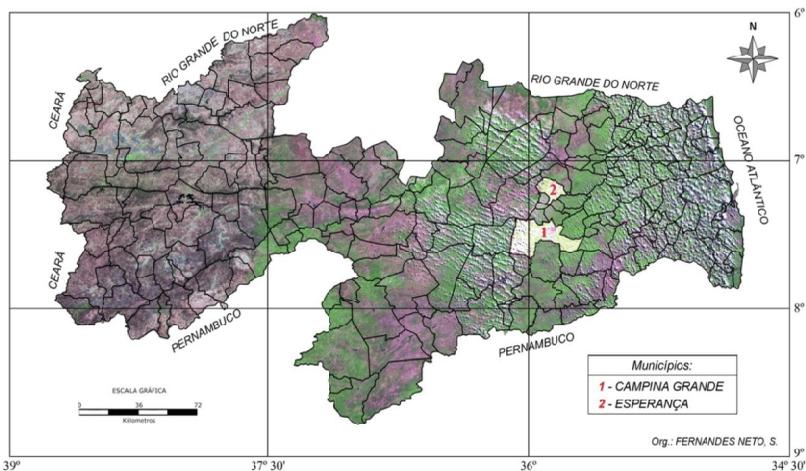
7.4 PESQUISA REALIZADA EM ESPERANÇA, PB

7.4.1 Ensaio para a demonstração da tecnologia de reúso de águas e resíduos sólidos orgânicos

A investigação foi realizada em duas etapas, a primeira composta de uma pesquisa de campo junto ao recorte espacial, onde está instalada a usina de reciclagem dos trabalhadores cooperados da Prefeitura de Esperança, PB, (Figura 7.11). A segunda etapa foi uma investigação desenvolvida em casa de vegetação.

7.4.2 Mobilização social dos atores locais para participação nas experiências em tecnologia de reúso de águas e de resíduos sólidos orgânicos

Nesta fase da pesquisa foram desenvolvidas duas ações:



Fonte: <http://geo.aesa.pb.gov.br>

Figura 7.11 Mapa de localização dos municípios de Esperança e Campina Grande, PB

- Traçar o perfil dos cooperados da usina a partir da aplicação de questionário socioeconômico;
- Relatar as etapas que envolvem o processo de separação dos resíduos orgânicos e o processo de compostagem, numa perspectiva socioambiental;

Nesta primeira parte da pesquisa realizou-se a mobilização dos cooperados da usina de reciclagem de Esperança, PB, por meio de levantamento de dados primários. A instituição representa grande valor para a comunidade local, em função de sua importância econômica e socioambiental para o município.

A seguir, foi feita uma revisão documental com a contextualização para o entendimento da questão socioambiental em torno do programa de reciclagem dos resíduos sólidos produzidos pela população urbana, e o levantamento da área de abrangência da ação dos cooperados, seus objetivos, estratégias de ação, dificuldades, facilidades e críticas e a percepção quanto ao uso dos resíduos na agricultura.

A partir da Figura 7.12 verifica-se que dos dezessete trabalhadores cooperados entrevistados, 53 % sabem ler e escrever, enquanto 47% são analfabetos. Portanto, faz-se necessário a implantação de um programa de educação ambiental na cooperativa, visando à alfabetização de todos os cooperados em harmonia com a preocupação quanto a sustentabilidade sócioambiental.

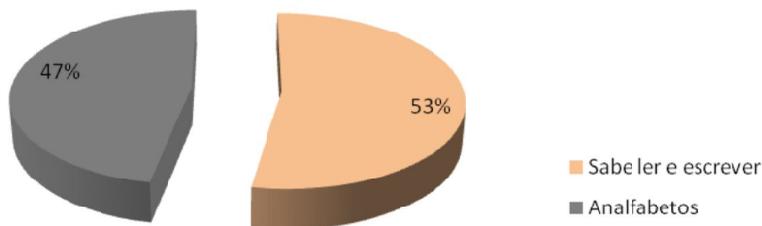


Figura 7.12 Nível de alfabetização dos cooperados da Usina de reciclagem de resíduos sólidos de Esperança, PB

É de amplo conhecimento social a necessidade de uma pedagogia educacional que tenha, como finalidade, a formação de cidadãos “ambientalmente cultos” e socialmente críticos, intervenientes e preocupados com a defesa e a melhoria da qualidade do ambiente natural e humano; esta idéia reúne um largo consenso, tanto a nível internacional quanto em escala de nosso país.

A Figura 7.13 é relativa à percepção dos aspectos negativos do trabalho na cooperativa, em cujo parâmetro 53% dos entrevistados informaram que o quesito rendimento instável é o que apresenta uma preocupação maior em função da insegurança imposta aos trabalhadores e seus familiares, que dependem dessa renda, enquanto 35% dos cooperados elencaram a falta de seguro médico como o maior problema, já que algumas doenças se desenvolvem facilmente nesse ambiente de

trabalho; os demais cooperados, ou seja, 12% , acham que os principais problemas estão ligados ao contato com o lixo e à falta de segurança em relação à garantia de preços mínimos para os materiais recicláveis; portanto, é preciso a intervenção governamental com uma política de incentivos para que os mesmos tenham uma renda fixa.

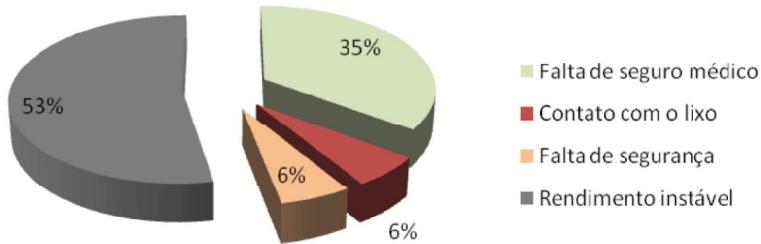


Figura 7.13 Percepção dos aspectos negativos do trabalho

Os trabalhadores, em função de necessidade de emprego e pela falta de oportunidade no mercado de trabalho dessa região do estado, defendem essa atividade como se fosse a última oportunidade para o sustento de suas famílias, de maneira que a maioria não reconhece a atividade como insalubre; ao contrário, muitos estão tão satisfeitos com a oportunidade de trabalho, que não vêem qualquer risco no manuseio dos resíduos de origem doméstica.

Em relação à percepção dos aspectos positivos do trabalho na cooperativa (Figura 7.14), vê-se que, 53% dos cooperados afirmaram que o mais importante do trabalho na usina é a possibilidade de manter a família dignamente. Enquanto 29% dos entrevistados declararam que o ganho seguro, mesmo sendo pouco, é o que mais estimula a permanência nesse tipo de trabalho, eles acham ótimo, pois é o único meio que garante a renda da família; os 12% que completam o quesito alegaram que o fato de trabalhar com mais liberdade é o maior atrativo em seu ambiente de trabalho.

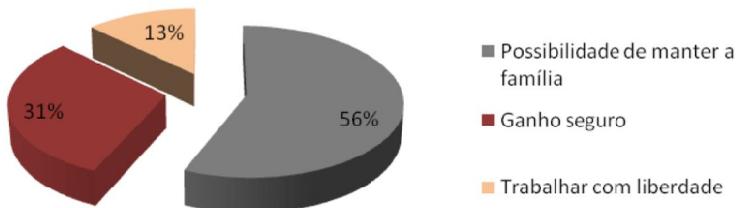


Figura 7.14 Aspectos positivos do trabalho na cooperativa

A jornada é de oito horas diárias. Na divisão do trabalho existe uma rotatividade nas funções determinada pelo presidente em cumprimento do acordo entre os associados, de modo que oito homens ficam na triagem dos materiais e quatro no

enfardamento; também existe rodízio para o descarte dos materiais sem valor comercial e para a montagem das leiras para a compostagem dos resíduos orgânicos. Na cooperativa existe a questão de gênero, pois entre os associados existe uma mulher que é responsável pela limpeza e pelos afazeres domésticos e todos reconhecem a importância socioeconômica e ambiental da cooperativa.

A Figura 7.15 trata das propostas, na visão dos atores locais, para a melhoria do trabalho na cooperativa, nesse quesito, 70% dos entrevistados, elencaram que para melhorar a vida dos cooperados em suas atividades, seria importante a aquisição de maquinário, como por exemplo: uma prensa para agilizar os processos de enfardamento dos materiais, o que resultaria em economia de tempo e mão-de-obra. Enquanto 18% dos entrevistados, disseram que seria importante o estabelecimento de convênios com outras instituições, visando melhorar além das condições de trabalho, o agregamento de valor aos materiais passíveis de serem reutilizados nos meios de produção.

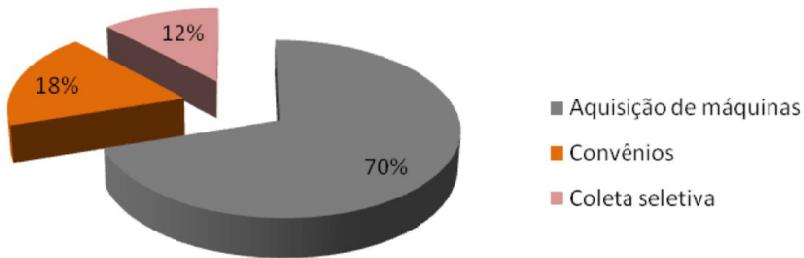


Figura 7.15 Propostas dos atores locais para a melhoria do trabalho na cooperativa

Já para 12% dos cooperados a coleta seletiva dos resíduos sólidos, pode trazer bons resultados, tanto em relação ao meio socioambiental quanto para os trabalhadores.

Segundo Maciel, presidente da Cooperativa, a usina recicla em média 4 toneladas de materiais de plástico, 6.000 toneladas de papel e papelão, 3 toneladas de vidro e 4 toneladas de ferro.

Além desses materiais, a usina promove o processo de compostagem para os resíduos orgânicos de origem doméstica e transforma os restos de comida em um composto de boa aceitação para a agricultura.

Produção do algodão irrigado com água residuária e adubado com composto de resíduo de sólidos orgânicos: A segunda etapa do experimento foi desenvolvida em casa de vegetação no LEID (Laboratório de Irrigação e Drenagem) da UFCG (Universidade Federal de Campina Grande), no município de Campina Grande, PB compreendendo as atividades:

- Análise das características químicas e biológicas do composto orgânico produzido na cooperativa de resíduos sólidos

– Observar a produção das plantas de algodão cultivadas com reúso de água de efluentes domésticos e o composto orgânico produzido na cooperativa.

A resposta das plantas de algodão em relação à variável produção, às variáveis tipo de água e ao composto orgânico, é apresentada na Tabela 7.3. Na comparação entre os resultados constatou-se que a irrigação com água de reúso potencializou a capacidade fertilizante do composto orgânico em praticamente todas as doses aplicadas. Da Tabela 7.3 verifica-se, ainda, que a dose de 40 kg ha⁻¹ de N foi a que resultou em valor de produção mais alto que, possivelmente, pode estar relacionado à resposta da cultura à presença de algum elemento tóxico no composto orgânico.

Tabela 7.3 Valores médios do desdobramento da interação dose de composto x água de irrigação (residuária e rede pública) para a variável produção do algodão

Composto/kg	Produção (g planta ⁻¹)	
	Abastecimento	Residuária
40	42,4 a2A	81,0 a3B
80	29,2 a1 a2A	59,1 a2 B
120	28,7 a1 a2 A	40,0 a1 B
160	30,5a1 a2 A	37,9 a1 A
200	25,2 a1 A	44,1 a1 a2 B

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, sob o mesmo tratamento, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Todos os resultados alcançados se alinham às observações de Bastos et al. (2005) que apresentam dados de pesquisas realizadas no âmbito do Programa de saneamento básico PROSAB e que sustentam a viabilidade da utilização de efluentes para a irrigação.

7.5 CONCLUSÕES

- O trabalho realizado na comunidade de Mutuca, Pesqueira, PE contribuiu para disseminação e empoderamento das tecnologias referentes aos tratamentos e reúso de esgotos domésticos;
 - A comunidade de Nova Vida, Mogeiro, PB, identificou, na irrigação de gergelim, a possibilidade de desenvolvimento econômico e social do assentamento;
 - O trabalho desenvolvido com a comunidade possibilitou a integração do reúso de águas para irrigação da cultura do gergelim, a projeto de Psicultura no assentamento;
 - Em relação à percepção dos aspectos negativos do trabalho na cooperativa de resíduos sólidos, 53% dos cooperados destacam a instabilidade do rendimento e 35% dos cooperados elencaram a falta de seguro médico;
 - Para 53% dos cooperados a possibilidade concreta de manter a família com os ganhos da usina de reciclagem é o aspecto mais positivo e mais relevante da atividade naquele setor;

- Os maiores valores de produção das culturas de algodão e gergelim foram alcançados com a irrigação com água residuária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alencar, A. F. O pensamento de Paulo Freire sobre a tecnologia: traçando novas perspectivas. In: Colóquio Internacional de Paulo Freire, 5, 2005, Recife. Anais... Recife, 2005. CD Rom
- Andreoli, C. V.; Sperling, M. V.; Fernandes, F. Lodo de esgoto: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; SANEPAR, 2001. 484p.
- Araújo, M. L. F.; Oliveira, M. M. Formação de professores de Biologia em Educação Ambiental; contribuições, deficiências e estratégias. Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental. v.20, p.256-272, 2008.
- Barth, F. T. Aspectos institucionais do gerenciamento de recursos hídricos. In: Rebouças, A. da C.; Braga, B.; Tundisi, J. G. (org.). Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras. 1999. p.564-598.
- Bastos, R. R.; Bevilacqua, P. D.; Nunes, F. L.; Soeiro, G. P.; Silva, C. V.; Freitas. Tratamento de esgotos sanitários e usos múltiplos de efluentes. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, p.164-170, 2005.
- Campos, P. C. Meio ambiente; a sustentabilidade passa pela educação (em todos os níveis, inclusive pela mídia). Revista em Questão, v.12, p.387-419, 2006.
- Calderoni, S. Os bilhões perdidos no lixo. 4.ed. São Paulo: Humanitas. FFLCH/USP, 2003. 346p.
- Castoriadis, C.; Cohn-Bendict, D. Da ecologia à autonomia. São Paulo: Brasiliense, 1988. 87p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. BRS RUBI. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. Folder
- CISAGRO - Companhia Integrada de Serviços Agropecuários. Projeto de irrigação da Fazenda Nossa Senhora do Rosário. Pesqueira, 1990. 120p.
- Figueiredo, I. C. de M.; Lima, V. L. A. de; Beltrão, N. E. de M.; Araújo, M. G. F. de; Santos, T. S.; Azevedo, C. A. V. de. Uso da água residuária tratada e do biossólido no algodão colorido: produção e seus componentes. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, p.288-291, 2005.
- Gadotti, M. Educar para um outro mundo possível; Fórum social mundial como espaço de aprendizagem de uma nova cultura política e como processo transformador da sociedade civil planetária. São Paulo: Publisher Brasil, 2007. 207p.
- Gohn, M. G. Empoderamento e participação da comunidade em políticas sociais. Revista Saúde e Sociedade. v.13, p.20-31, 2004.
- Guimarães, M. Educação ambiental: No consenso um embate? Campinas: Papirus, 2000. 94p. Coleção Papirus Educação
- Hammerschmidt, K. S.; Lenardt, M. H. Tecnologia educacional inovadora para o empoderamento junto a idosos com diabetes mellitus. Texto Contexto Enfermagem, v.19, p.358-65. 2010.

- Heller, L.; Nascimento, N. O. Pesquisa e desenvolvimento na área de saneamento no Brasil e tendências. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.10, p.24-35, 2005.
- Hespanhol, I. Potencial de reúso de água no Brasil: Agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: Mancuso, C. S. A.; Sanros, H. F. (ed.). *Reúso de água*. Barueri: Manole, 2003. p.411-437.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/.shtm>. 18 Mar. 2012.
- Jacobi, P. R. Educação ambiental: O desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo. *Revista Educação Ambiental e Pesquisa*, v.31, p.233-250, 2005.
- Lacerda Jr., V. J. A. Incorporação da educação ambiental ao processo de formação continuada de professores para educação profissional. *Revista Eletrônica do Mestrado de Educação Ambiental*, v.19, p.181-190, 2007.
- Leff, E. *Epistemologia ambiental*. 4.ed. São Paulo: Cortez, 2006. 240p.
- McLeod, F.; Cherret, T. Quantifying the transport impacts of domestic waste collection strategies. *Waste Management*, v.28, p.2271-2278, 2008.
- Lima, V. L. A. de, Reúso de água para irrigação em zonas áridas. In: *Manejo e sustentabilidade da irrigação em regiões áridas e semiáridas*. Cruz das Almas: UFRB, 2009. p.145-162.
- Lopez, D. A. R.; Rodriguez, A. L.; Machado, E. L. Comparação de cenário de gerenciamento de lixo urbano em Santa Cruz do Sul-RS por meio do inventário de ciclo de vida. In: *Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24. Anais... 2007. Belo Horizonte: ABES. 2007. CD Rom
- Martins, G.; Boranga, J. A.; Latorre, M. R. D. O.; Pereira, H. A. S. L. Impactos do saneamento básico na saúde da população de Itapetininga-SP de 1980 a 1997. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.7, p.161-188, 2002.
- Martins, J. de S. *A imigração e a crise do Brasil agrário*. 1.ed. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1973. v.1, 222p.
- Melo, A. A. O uso de água residuária e composto orgânico no cultivo do algodão a partir de uma visão socioambiental. Campina Grande: UFCG, 2011. 90p. Dissertação Mestrado
- Molinier, M.; Albuquerque, C. H. C.; Cardier, E. Análise de pluviometria e isoietas homogeneizadas do nordeste brasileiro. Recife: Sudene, 1994. 58p. *Hidrologia*, 32
- Moreira, J. A. N de; Freire, E. C. *Recomendações específicas para a produção de algodão em anos secos*: Campina Grande: Embrapa CNPA, 1980. 6p. Comunicado técnico, 03
- Muga, H. E.; Michelcic, J. R. Sustainability of wastewater treatment technologies. *Journal of Environmental Management*. v.88, p.437-447, 2008.
- Pereira, D. D. *Cariiris paraibanos: Do sesmarialismo aos assentamentos de reforma agrária. Raízes da desertificação?* Campina Grande: UFCG, 2008. 355p. Tese Doutorado

- Pereira, M. G.; Melo, H. N. de S.; Andrade Neto, C. O. de; Silva, D. A. da. Viabilidade de reúso de águas residuárias tratadas no cultivo do gergelim (*Sesamun indicum* L.). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 22, 2003, Joinville. Anais... Joinville: ABES, 2003. p.1-14.
- Pinheiro, I. F. S. Percepção ambiental e planejamento do turismo sertanejo na região do Seridó - RN. Campina Grande: UFCG, 2011. 100p. Dissertação Mestrado
- Santos, M. Técnica, espaço tempo, globalização e meio técnico – Científico Informacional. São Paulo: Hucitec, 1994. 190p.
- Silva, M. M. P. da; Souza, J. T.; Leite, V. D.; Ceballos, B. S. O. Educação ambiental: instrumento para sustentabilidade de Tecnologias para tratamento de lodos de esgotos. Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental, v.23, p.54-70, 2009.
- Sorrentino, M.; Trajber, R.; Mendonça, P.; Ferraro Jr., L. A. Educação ambiental como política pública. Revista Educação e Pesquisa. v.31, p.285-299, 2005.
- Souza, M. C. M. Produção de algodão orgânico colorido: Possibilidade e limitações. Informações Econômicas, v.30, p.91-97, 2000.
- Souza, N. M. Educação ambiental; dilemas da prática contemporânea. Rio de Janeiro: Universidade Estácio de Sá, 2000. 282p.
- Trentin, C. V. Diagnóstico voltado ao planejamento do uso de águas residuárias para irrigação, nos cinturões verdes da região metropolitana de Curitiba-PR. Curitiba: UFPR, 2005. 112p. Dissertação Mestrado
- Vargas, M. C. O negócio da água. Riscos e oportunidades das concessões de saneamento à iniciativa privada. São Paulo: Fundação Annablume, 2005. 269p.
- Zakrzewski, S. B. Por uma educação ambiental crítica e emancipatória no meio rural. Revista Brasileira de Educação Ambiental, n. zero, p.79-86, 2004.

Capítulo 8

Reúso da água proveniente de esgoto doméstico tratado para a produção agrícola no semiárido pernambucano

Manassés M. da Silva¹, Pedro R. F. de Medeiros¹
& Ênio F. de F. e Silva¹

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco

- 8.1 Introdução
 - 8.2 Escassez de água no semiárido
 - 8.3 Processo de tratamento de esgoto doméstico para reúso na agricultura
 - 8.4 Efeitos da água de reúso sobre o desenvolvimento e produtividade das plantas
 - 8.5 Efeitos da água de reúso sobre o estado nutricional das plantas
 - 8.6 Efeitos da água de reúso sobre o solo
 - 8.7 Considerações finais
 - 8.8 Agradecimentos
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões semiáridas:
Estudos e aplicações
ISBN 978-85-64265-03-5



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB



Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia
Cruz das Almas - BA

8 Reúso da água proveniente de esgoto doméstico tratado para a produção agrícola no semiárido pernambucano

8.1 INTRODUÇÃO

As diversas formas de reúso de água, indiretas ou diretas, decorrentes de ações planejadas ou não, podem ser praticadas nas suas diversas situações. O reúso direto planejado das águas, decorrente de efluentes tratados e controlados, se caracteriza como uma importante fonte hídrica alternativa. O reúso planejado de água ocorre quando existe um sistema de tratamento de efluentes que atende aos padrões de qualidade requeridos pelo novo uso que se deseja fazer da água (Mancuso & Santos, 2003).

O uso de fontes alternativas dos recursos hídricos é de extrema importância principalmente em regiões que se caracterizam por elevada escassez e adversidades climáticas. O semiárido nordestino é uma região que concentra um baixo percentual de água disponível em qualidade e quantidade, com má distribuição e elevadas perdas atmosféricas por evaporação. Em países como Israel 70% do esgoto doméstico é reutilizado na irrigação.

No semiárido nordestino em períodos de escassez, o uso da água se limita basicamente ao consumo humano e animal; o uso na agricultura e em outras atividades vem em segundo plano. Esta situação se agrava ainda mais quando a região analisada dispõe somente de água de baixa qualidade.

As pesquisas vêm avançando no intuito de resolver problemas de uso das águas de qualidade inferior, como também buscar novas tecnologias que possibilitem a obtenção de novas fontes de abastecimento, sempre com o propósito da sustentabilidade tanto do homem como do meio ambiente.

É realidade que com o aumento crescente das populações, principalmente nas regiões de escassez, ocorrerá um incremento na demanda por água e alimento, assim já existem tecnologias apropriadas que possibilitem o reúso de água proveniente de redes de esgotos para a produção agrícola, restringindo e conservando assim a água de melhor qualidade para o uso humano. A grande vantagem do reúso de esgotos domésticos na irrigação de culturas agrícolas está na minimização da poluição hídrica dos mananciais, economia de água de melhor qualidade e também a diminuição dos gastos com adubação química devido à concentração de nutrientes presentes em tais águas.

Diferentes formas de tratamento de água provenientes de redes de esgotos podem ser utilizadas para obtenção de água usada na agricultura. Alguns métodos são bastante complexos e outros bem simples, obtendo um produto final que em muitas vezes e dependendo da fonte, são altamente férteis podendo funcionar como fonte de nutrientes, evitando assim o uso de sais fertilizantes para a adubação. Vários trabalhos têm sido realizados, onde se demonstra a viabilidade da produção agrícola fertirrigada com água residuária, sendo que os principais benefícios desta tecnologia estão diretamente ligados a aspectos ambientais de saúde pública (Cavallet et al., 2006; Silva, 2007; Rodrigues, 2008; Silva, 2009; Nichele, 2009; Deon, 2010).

Os efluentes geralmente possuem uma relação constante entre os nutrientes, sendo característica em particular de cada tipo de resíduo. Tal relação, no entanto, nem sempre é a mais adequada à produção e nutrição das plantas, podendo acarretar desbalanço de nutrientes no sistema solo-planta e efeitos negativos associados à sodificação, salinização e toxicidade de certos elementos (Deon, 2010).

Outra grande vantagem deste processo de reúso deste tipo de água, é a alocação do efluente dos esgotos, evitando a contaminação das águas superficiais e subterrâneas a partir do despejo, como também de oferecer alimento e desenvolvimento a regiões pouco desenvolvidas, localizadas em áreas bastantes críticas em relação à disponibilidade de água.

Mas, apesar das vantagens, existem algumas desvantagens, como por exemplo, elevadas concentrações de elementos que podem ser tóxicos as plantas, como é o caso do Cloro (Cl), Fósforo (P), Potássio (K) e Nitrogênio (N); que podem ser facilmente corrigidas a partir de algumas práticas de cultivo, como o uso adequado e coordenado da cultura a se utilizar, uso de solo com baixo poder de adsorção, época de plantio adequada, uso de matéria orgânica.

Algumas técnicas têm auxiliado no desenvolvimento e uso deste tipo de água na agricultura, como por exemplo, a irrigação por gotejamento pela vantagem de aplicar água em pequenas quantidades evitando possíveis contaminações, e a técnica dos extratores de cápsula porosa com o propósito de monitorar a solução do solo a partir de medições de condutividade elétrica ou até mesmo íons específicos.

Apesar da técnica do reúso da água proveniente de esgoto doméstico tratado para a produção agrícola no semiárido pernambucano estar em pleno desenvolvimento, a importância já se torna bastante promissora no aspecto do desenvolvimento regional, expondo novas formas de cultivo e conservação dos recursos hídricos perante os agricultores, bem como incentivando a sustentabilidade da região sertão de moxotó com a integração entre a população local.

Com o objetivo de contribuir cientificamente da técnica do aproveitamento de efluente oriundo de esgoto urbano tratado utilizado em irrigação, apresenta-se a seguir experiências de cultivo de mamona e de girassol, sob condições de campo, na região semiárida do Estado de Pernambuco, onde serão abordados os efeitos no crescimento vegetativo, produtividade e estado nutricional das plantas, como também sobre a fertilidade do solo.

8.2 ESCASSEZ DE ÁGUA NO SEMIÁRIDO

A Região Nordeste, que abriga 27% da população, concentra apenas 3,3% do recurso hídrico nacional disponíveis (Paz et al., 2000). Precisamente na região semiárida, as chuvas são mais escassas (entre 400 e 800 mm ano⁻¹) e irregulares (Rebouças, 2004), influenciando assim, nos regimes temporários dos rios das bacias hidrográficas, que secam praticamente durante todo o ano.

A escassez de água no semiárido brasileiro prejudica o desenvolvimento das atividades produtivas, tendo como consequência, prejuízos econômicos e sociais (Santos, 2009). Tal fato dificulta a fixação do homem na região, em função da redução na qualidade de vida; em virtude da diminuição na produção de alimentos e na geração de recursos financeiros.

A escassez de chuva durante longos períodos do ano do Nordeste Brasileiro resulta numa dificuldade bastante conhecida dos agricultores no momento de efetuar o plantio de qualquer cultura (Santana et al., 2006).

Segundo o Ministério da Integração Nacional (Brasil, 2007), aproximadamente 500 mil propriedades rurais na região semiárida não dispõem de oferta adequada de água, aumentando sobremaneira sua vulnerabilidade às secas, cujo impacto se traduz, gravemente, na baixaestima das comunidades atingidas. Para tanto, no Nordeste são imprescindíveis a captação, a conservação e o uso eficiente de água (Soares, 2007), o que passa necessariamente pelo conhecimento da hidrogeologia regional.

Ainda que a solução aos problemas de escassez de água no Nordeste seja uma meta há muito tempo almejada, inclusive constituindo a força motriz da primeira fase da história da irrigação no Brasil (Bernardo, 1992), quando se priorizou a açudagem, ainda se verificam, atualmente, os impactos das estiagens sobre a população local, seja como reflexos econômicos substanciais na agricultura ou como prejuízos sociais os quais se estendem, como consequência, às demais regiões do Brasil.

Na região do semiárido, para que a agricultura, familiar ou não, supere a residualidade do caráter de subsistência e assuma o de atividade econômica, é necessário modernizar o processo produtivo, sobretudo com a adoção de técnicas de irrigação e reúso de resíduos e educar os agricultores nos princípios da sustentabilidade financeira-ambiental (Soares, 2007). Portanto, a pesquisa deve antecipar problemas, seja mediante o monitoramento da performance das técnicas em campo ou mediante o acompanhamento da receptividade dos agricultores.

8.3 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO PARA REÚSO NA AGRICULTURA

Usualmente, consideram-se os seguintes níveis para o tratamento de esgotos: tratamento preliminar: destina-se a remoção de sólidos grosseiros em suspensão. São utilizados apenas mecanismos físicos (gradeamento e sedimentação por gravidade) como método de tratamento; *tratamento primário*: destina-se a remoção

dos sólidos sedimentáveis e de pequena parte da matéria orgânica, utilizando-se de mecanismos físicos como método de tratamento; tratamento secundário: são geralmente constituído por reatores biológicos, remove grande parte da matéria orgânica, podendo remover parcela dos nutrientes como nitrogênio e fósforo. Os reatores biológicos empregados para essa etapa do tratamento reproduzem os fenômenos naturais da estabilização da matéria orgânica que ocorreriam no corpo receptor e tratamento terciário: são geralmente constituídos de unidade de tratamento físico-químico e tem como finalidade a remoção complementar da matéria orgânica, dos nutrientes, de poluentes específicos e a desinfecção dos esgotos tratados. O tratamento terciário é bastante raro no Brasil (Sperling, 2005).

Para fins de produção agrícola, é recomendável que o tratamento do efluente seja feito até o nível secundário, neste nível apesar de haver uma significativa redução da carga orgânica, existirá ainda uma elevada concentração de macro e micronutrientes essenciais para o desenvolvimento das culturas agrícolas.

As principais tecnologias para tratamento secundário desenvolvidas foram: reatores anaeróbios de fluxo ascendente por meio do lodo (UASB); decanto-digestores seguidos de filtros anaeróbios; lagoas de estabilização inovadoras; formas de disposição controlada no solo; entre outras (Campos, 1999).

O reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), assemelha-se com o filtro anaeróbio ascendente, tendo este inclusive servido como modelo inicial do desenvolvimento que se seguiu. A diferença é que o UASB não possui qualquer material de enchimento para servir de suporte para a biomassa. A imobilização dos microrganismos ocorre por meio de auto-adesão, formando flocos ou grânulos densos suspensos, que se dispõem em camadas de lodo a partir do fundo do reator. O reator UASB representa um grande avanço na aplicação da tecnologia anaeróbia para o tratamento direto de águas residuárias, sejam de natureza simples ou complexa, de baixa ou de alta concentração, solúveis ou com material particulado (Kato et al., 1999). Sousa et al. (2000) em pesquisa com tratamento de água residuária por meio de reator UASB, detectaram eficiência de remoção de DQO, N-total e P, respectivamente de 76, 31 e 50%.

Os decanto-digestores (DG) associados a filtros digestores (FD) constituem uma configuração de tratamento de esgotos bastante interessante, devido principalmente a facilidade de partida, operação e manutenção, não perdendo a eficiência a curto prazo (Andrade Neto et al., 2000). Atualmente, é comum a associação com filtros anaeróbios, constituindo o popular sistema Tanque Séptico - Filtro Anaeróbio.

Os filtros anaeróbios são reatores que dispõem de uma camada de material suporte, em cuja superfície ocorre a fixação de microrganismos e o desenvolvimento de biofilmes. O fluxo hidráulico ascendente, horizontal ou descendente, ocorre nos interstícios do leito formado pelo material suporte, onde também proliferam microrganismos que podem se agregar na forma de grânulos e flocos. O principal objetivo dos filtros anaeróbios de lodo ativo sobre a fase líquida é propiciar um maior tempo de retenção celular, para obter um contato longo entre a biomassa ativa e o

esgoto a ser tratado. Exploram a imobilização e retenção de bactérias, na forma de biofilme, flocos ou grânulos (Andrade Neto et al., 2000).

Em relação ao pós-tratamento de sistema anaeróbios de tratamento de esgoto doméstico Sousa et al. (2005) observaram que utilizando a lagoa de polimento foi possível produzir um efluente compatível com as recomendações da Organização Mundial de Saúde para irrigação irrestrita. Os parâmetros observados foram DQO, pH, sólidos e suas frações, macronutrientes, ovos de helmintos e indicadores de contaminação fecal. Ainda segundo os autores a quantidade de macro e micronutrientes contida no efluente é suficiente para maioria das culturas cultivadas na região semiárida do Nordeste Brasileiro.

Atenção especial deve ser dada ao uso de fossas sépticas biodigestoras, pois representam uma alternativa para produção de adubo orgânico proveniente dos resíduos sanitários (processo de biodigestão anaeróbia), oferecendo um produto de excelente qualidade, a custo praticamente zero com tecnologia acessível para pequenos produtores (Pereira et al., 2011).

8.4 EFEITOS DA ÁGUA DE REÚSO SOBRE O DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DAS PLANTAS

Com a descoberta da importância dos nutrientes minerais para as plantas, surgiu a preocupação de retornar os nutrientes minerais exportados nos alimentos do campo para as cidades. Diante de tal necessidade, o reúso de águas provenientes de esgoto doméstico representa o caminho de volta, ou seja, a reciclagem dos nutrientes exportados do campo. Acrescente-se a este fato, uma significativa redução da poluição ambiental devido a não disposição de tais efluentes diretamente nos corpos hídricos (Deon et al., 2010).

Diante do desafio de conservação do meio ambiente, o reúso planejado de esgotos sanitários surge como alternativa para garantir a sustentabilidade de comunidades rurais, pois além de ser um insumo menos agressivo ao ambiente, possibilita o desenvolvimento de uma agricultura menos dependente de agroquímicos.

Os efluentes geralmente possuem uma relação constante entre os nutrientes, sendo característica de cada tipo em particular de resíduo. Tal relação, no entanto, nem sempre é a mais adequada à produção e nutrição das plantas, podendo acarretar desbalanço de nutrientes no sistema solo-planta e efeitos negativos associados à sodificação, salinização e toxicidade de certos elementos químicos (Barroso & Wolff, 2011; Deon et al., 2010). É possível também a contaminação do aquífero freático pela lixiviação de nitrato (NO_3^-). Assim, uma medida importante a ser tomada em relação à cultura, é a utilização de plantas com alta demanda de nitrogênio (Veloso et al., 2004). De acordo com Phillips & Sheehan (2005) os solos ideais para o recebimento de efluentes ricos em nitrogênio são aqueles com cargas positivas na superfície, capazes de reter estes ânions.

Vale lembrar que manejo adequado do sistema hidroagrícola se encontra no balanço coerente entre a demanda de água e de nutrientes das plantas, além da

observação aos problemas potenciais de salinidade, sodicidade e toxicidade (Bastos et al., 2005).

Em regiões semiáridas onde a escassez de água é um fator limitante à produção agrícola, resolve-se dois problemas de uma só vez, ou seja, economia de água e aporte de nutrientes via efluente de esgoto doméstico.

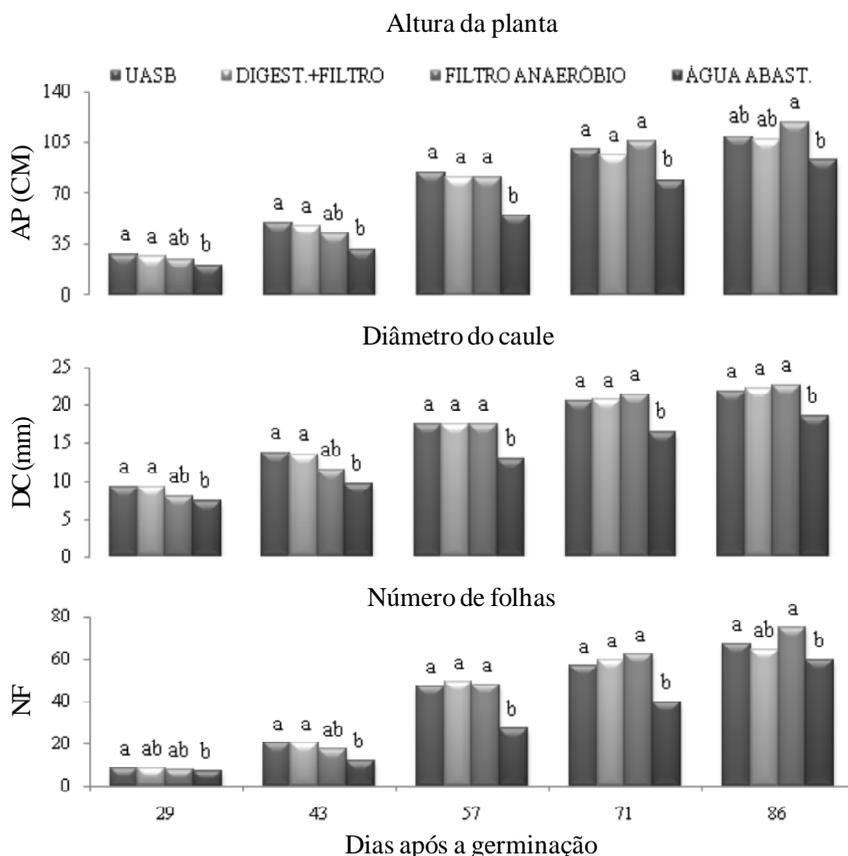
Efeitos benéficos em relação à produtividade das culturas agrícolas irrigadas com efluentes de esgotos domésticos têm sido observados. Em alguns casos, com aumento de até 50% de produtividade em relação à adubação química (Deon et al., 2010). Fidelis Filho et al. (2005) registraram maiores valores de altura das plantas de algodão BRS Verde irrigadas com efluente decantado comparado com água de poço, decorrente das altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes presentes no efluente. Cultivando pimentão, Duarte (2007) obteve aumento da altura das plantas, quando irrigadas com efluentes de origem doméstica.

A partir de resultados de pesquisa, utilizando as culturas mamona (Cultivar BRS energia) (Silva, 2010) e girassol (Cultivar Hélio 251 H251), irrigadas com água de reúso de esgoto doméstico tratado com diferentes técnicas (UASB - efluente reator; DG+FT - efluente decanto-digestor associado ao filtro anaeróbico; FT - efluente filtro anaeróbico), sobre as características de produtividade e desenvolvimento vegetativo na região semiárida do estado de Pernambuco, município de Ibimirim/PE; a água do abastecimento também foi utilizada nos cultivos, como análise de testemunha.

Com a Figura 8.1, constata-se que as diferentes formas de tratamento de esgoto (UASB, DG+FT e FT) não influenciaram no desenvolvimento da mamoneira, no que diz respeito à altura de planta, diâmetro de caule e número de folhas. Ainda analisando a Figura 8.1, observa-se que as plantas irrigadas com água de abastecimento, desenvolveram menos em relação aquelas irrigadas com efluentes, o que reforça o efeito do aporte de nutrientes via água de reúso, principalmente nitrogênio, nutriente de maior importância no crescimento das plantas; para o plantio da mamona o aporte médio de nitrogênio ao longo do experimento foi de 106,9, 74,32 e 84,3 mg L⁻¹, respectivamente, para efluente do reator UASB, Digestor+Filtro anaeróbico e Filtro anaeróbico.

Ao final do ciclo da cultura da mamona a produtividade de semente foi afetada quando se utilizaram os diferentes tipos de água. A produtividade de sementes para as plantas que foram irrigadas com efluente foram superiores aos das plantas irrigadas somente com água de abastecimento. Como não foi realizado tipo algum de adubação inicial, infere-se que o incremento de produtividade da mamoneira ocorreu devido ao aporte de nutrientes via água residuária. Neste trabalho a produtividade média de sementes foi de 1923,28 kg ha⁻¹, 1539,16 kg ha⁻¹ e 1744,77 kg ha⁻¹, respectivamente, para plantas irrigadas com efluente do reator UASB, Digestor+Filtro anaeróbico e Filtro anaeróbico (Figura 8.2).

Comparando a produtividade média de sementes obtida (1735,7 kg ha⁻¹) com resultados encontrados em cultivos com adubação química (1091 kg ha⁻¹) tem-se que



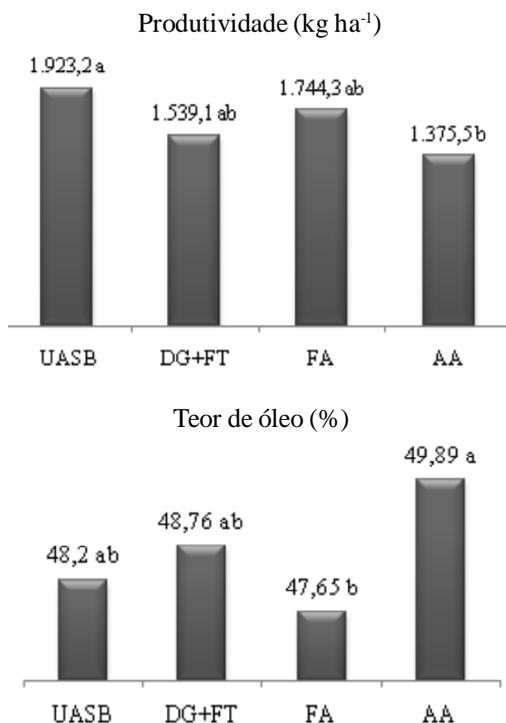
Médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Figura 8.1 Resumo de médias para altura de plantas (AP), diâmetro de caule (DC) e número de folhas por planta (NF) aos 29, 43, 57, 71 e 86 dias após a germinação

a mamona BRS energia irrigada com efluente atingiu níveis de produtividade satisfatórios, sugerindo que o aporte de nutrientes de tais águas é suficiente para promover produções rentáveis.

Para a cultura do girassol, as plantas irrigadas com efluentes obtiveram o mesmo padrão de desenvolvimento vegetativo, superior as irrigadas com água de abastecimento. Com altura média de 0,94 m (Figura 8.3).

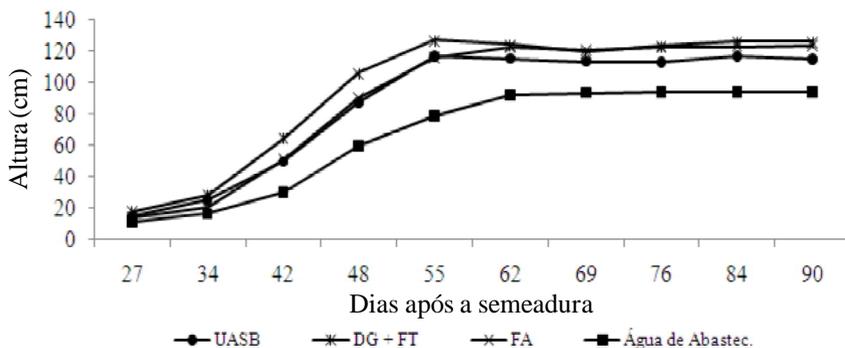
A produção do girassol variou em relação ao tipo de água utilizada, com os maiores valores obtidos para o tratamento com efluente decanto-digestor associado ao filtro anaeróbio, seguido do filtro anaeróbio (Figura 8.4). O que pode ser uma alternativa viável, principalmente por ser técnicas de baixo custo financeiro e fácil utilização. Característica importante quando se tratar de regiões com baixo poder econômico e agricultura familiar.



UASB - efluente reator; DG + FT - efluente decanto-digestor associado ao filtro anaeróbio; FA - efluente filtro anaeróbio; AA - água do abastecimento

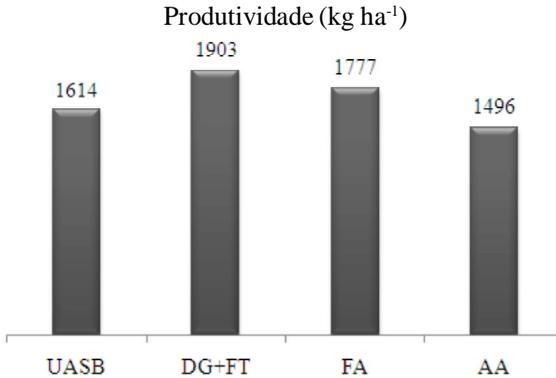
Médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Figura 8.2 Produtividade média e teor de óleo em sementes ao final do ciclo da cultura da mamona para diferentes águas



UASB - efluente reator; DG+FT - efluente decanto-digestor associado ao filtro anaeróbio; FA - efluente filtro anaeróbio; AA - água do abastecimento

Figura 8.3 Altura média de plantas durante o ciclo da cultura do girassol, para as diferentes águas



UASB - efluente reator; DG + FT - efluente decanto-digestor associado ao filtro anaeróbio; FA - efluente filtro anaeróbio; AA - água do abastecimento

Figura 8.4 Produtividade média em sementes ao final do ciclo da cultura do girassol para as diferentes águas

Os valores de produtividade encontrados na literatura se aproximam bastante do referido ensaio. Silva et al. (2007), encontraram eficiência técnica na produção uma vez que, mesmo sem irrigação, a produtividade média foi de 1924,27 kg ha⁻¹; todavia, em condições irrigadas a produtividade foi de 2293,15 kg ha⁻¹.

8.5 EFEITOS DA ÁGUA DE REÚSO SOBRE O ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS

As plantas dependem de água e nutrientes orgânicos e inorgânicos, para manter e regular o equilíbrio nutricional; devendo ter a seu dispor nutrientes essenciais e não essenciais para compor a formação dos seus tecidos que vão dar origem as diversas partes das plantas e, como também, disponíveis em quantidades adequadas, fornecidos e/ou alocados de forma a suprir as exigências nutricionais de consumo pelas plantas.

Através da prevenção, podemos interferir sobre a disponibilidade de nutrientes as plantas, a partir da análise do solo, da planta e da água, com o objetivo de diagnosticar possíveis problemas de deficiências ou excessos, ambos prejudiciais a partir de elementos químicos específicos.

Vários autores têm realizado a avaliação da fertilidade do solo (Guimarães et al., 1995; Leandro et al., 1995; Pedroso Neto, 1995; Araújo et al., 1999; Cavalcanti et al., 1999) e do estado nutricional de plantas (Costa et al., 1995; Silveira et al., 1995; Suzuki, 1995; Malavolta et al., 1997; Bueno et al., 1999; Oliveira et al., 1999; Veloso et al., 1999) com o objetivo de identificar os fatores mais limitantes, sob esses aspectos, para o crescimento, desenvolvimento e produção das culturas.

Na atualidade, esta prevenção pode ser realizada a partir de diversos equipamentos eletrônicos de uso diversos, porém com finalidades distintas, como por exemplo,

câmaras de filmagem infravermelho tem a capacidade de detectar pontos de desequilíbrios nutricionais; sistemas de visão artificial (SVA) pode ser uma ferramenta promissora na identificação do estado nutricional das culturas a partir do método de visão computacional para avaliar imagens de folhas, permitindo detectar matematicamente a carência de nutrientes.

A água existente na relação solo-planta-atmosfera serve de precursor na absorção e translocação dos diversos elementos ou compostos químicos orgânicos e/ou inorgânicos às plantas, e dependendo da sua origem esta pode ter diversas características físico/químicas desejáveis e/ou indesejáveis para o seu uso na agricultura.

Na natureza, a água contém elementos químicos dissolvidos, sendo os mais comuns os diversos tipos de sais, que em primeira instância, dependendo da sua concentração e tipo, provoca estresse salino às plantas.

As interações iônicas que afetam o estado nutricional das plantas são altamente complexas, mesmo na ausência de salinidade e de outros estresses. A salinidade adiciona um novo nível de complexidade para a nutrição mineral das culturas, afetando a atividade dos íons em solução e os processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição (Neves et al., 2009).

A agricultura moderna exige níveis aceitáveis de tecnologia e inovação, assegurado nos dados já existentes das pesquisas nacionais e internacionais, que podem proporcionar aumento de produtividade em áreas e/ou regiões desfavoráveis em relação aos recursos naturais.

A oferta de água em qualidade e quantidade estar cada vez mais limitada, devido principalmente ao aumento da população e conseqüentemente aumento na demanda por alimentos e produtos. O crescimento das cidades, das indústrias, piscicultura e irrigação, introduz a qualidade da água como problema relevante.

O gerenciamento da qualidade da água deverá incorporar instrumentos de incentivo econômico e participação pública em adição aos mecanismos de comando e controle, tornando-se esta uma diferença importante entre a gestão da qualidade da água pelos setores de recursos hídricos e ambientais (Souza Filho, 2011).

Com isso, a busca por novas fontes hídricas, mesmo de qualidade inferior para uso na agricultura estar sendo tema de discussões e reuniões científicas, afim de se elaborar estratégias e construir tecnologias de uso nos mais diversos sistemas de produção agrícolas.

Pesquisas têm avançado, em relação ao efeito do uso de água de reúso, oriundas de esgoto doméstico na agricultura convencional, sobre o estado nutricional das plantas, considerando que este tipo de água contém diversos elementos químicos misturados que podem provocar danos fisiológicos, se em níveis elevados.

Experiências em Israel demonstram que, os nutrientes das águas residuárias que funcionarão como fertilizantes tem que ser retirados em parte, devido que a quantidade de N e P das águas residuárias tratadas ser maior que a requerida pelas culturas, ocasionando problemas de crescimento vegetativo (Juanico, 2011), além de ser

altamente salinizante por causa da adição de sais durante o uso doméstico e industrial. O monitoramento da concentração de nutrientes nas águas residuárias em tempo real seria uma maneira de identificar casos problemáticos de excesso de nutrientes, evitando efeitos de sobrefertilização (Avnimelech, 1997).

Experiências nacionais tem demonstrado que os efluentes podem conter elevadas concentrações de Na, Cl e N, podendo assim elevar a salinidade da água de reúso, restringindo assim o seu uso em relação as tolerâncias das plantas e a técnica de cultivo utilizada, como também, o método de irrigação.

Resultados experimentais na região semiárida do Estado de Pernambuco (Município de Ibirimir/PE) tem demonstrado que, os diversos tipos de tratamentos aplicados na água de reuso oriunda de esgoto doméstico, podem influenciar diretamente na qualidade e consequentemente na nutrição da cultura da mamona (Tabela 8.1).

Tabela 8.1 Médias para estado nutricional da mamoneira BRS energia irrigadas com diferentes águas no final do experimento, comparadas com os valores de referência

Parâmetros	Plantas irrigadas com*				Valores de referência **
	UASB	DG + FT	FT	AA	
N (g kg ⁻¹)	38,86 a	38,63 a	39,75 a	33,04 b	40 - 50
P (g kg ⁻¹)	2,92	3,44	3,38	3,14	3 - 4
K ⁺ (g kg ⁻¹)	25,51 ab	25,68 a	26,66 a	21,71 b	30 - 40
Ca ²⁺ (g kg ⁻¹)	23,32	27,10	23,43	25,41	15 - 25
Mg ²⁺ (g kg ⁻¹)	2,87	2,24	2,98	3,31	2,5 - 3,5
Na ⁺ (g kg ⁻¹)	3,60 a	3,76 a	4,36 a	2,53 b	-

* UASB - efluente reator; DG + FT - efluente decanto-digestor associado ao filtro anaeróbio; FA - efluente filtro anaeróbio; AA - água do abastecimento

** Conforme Malavolta (2006)

Médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Rodrigues (2008) testando diferentes níveis de reposição de água residuária, observou que nos tecidos foliares da mamona o teor de N e K, foi, respectivamente, de 13,26 e 20,85 g kg⁻¹, valores inferiores aos observados na presente pesquisa. Barros Júnior (2007) em pesquisa com níveis de reposição de água, em ambiente protegido, verificou que as plantas da mamoneira adequadamente adubadas apresentaram concentrações de N nas folhas da ordem de 33,68 g kg⁻¹, valor superior ao detectado no presente trabalho.

Observa-se para o elemento sódio, um elevado consumo pelas plantas, devido a elevada concentração deste nas águas residuárias analisadas; podendo a longo prazo provocar problemas de sodificação dos solos; problema este miticado a partir da prática do monitoramento da solução do solo; técnica já bastante utilizada em diversos países que adotam o reúso de esgoto doméstico como fonte alternativa de água para a agricultura.

Em relação à concentração de P nas folhas da mamona, observa-se valores variando entre os recomendados pela literatura, o que indica baixa concentração deste elemento nas águas residuárias analisadas. Resultado este que difere de alguns países asiáticos.

8.6 EFEITOS DA ÁGUA DE REÚSO SOBRE O SOLO

Aspectos positivos e negativos podem ser relacionados quando se aplica água de reúso ao solo via irrigação. Íons e matéria orgânica presentes na água de reúso, em elevadas concentrações, podem servir como nutrientes para as culturas irrigadas, entretanto, também podem proporcionar toxidez as plantas ou efeitos negativos ao solo. No caso de lixiviação tais íons podem ainda promover contaminação dos recursos hídricos caso atinja o lençol freático (Varallo, et al. 2010). Assim, para cultivos irrigados com águas residuárias é primordial realizar o monitoramento da composição química da solução do solo, visando auxiliar nas estimativas da taxa de ciclagem dos elementos químicos e no fluxo e lixiviação de nutrientes (Miranda et al., 2006).

Diversos estudos foram desenvolvidos para analisar o efeito da aplicação de água de reúso sobre o solo (Baumgartner, et al. 2007; Andrade et al., 2005). Silva (2010), em trabalho realizado no semiárido pernambucano, utilizando água de esgoto doméstico tratado sob diferentes técnicas (reator UASB, decanto-digestor associado ao filtro anaeróbio e filtro anaeróbio), observou o efeito sobre as características químicas de um solo, classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico A moderado, com relevo predominantemente plano, no qual a camada de solo entre 0 e 66 cm apresenta textura franco arenosa com 760, 80 e 160 g kg⁻¹, respectivamente de areia, silte e argila (EMBRAPA, 2009). Antes e após um cultivo de mamona foram realizadas análises químicas do solo, que se encontram apresentadas na Tabela 8.2.

Tabela 8.2 Médias para fertilidade do solo (camada 0-20 cm) no início e no final do experimento, considerando-se os diferentes tipos de água utilizados

Parâmetros	Antes do experimento	Após o experimento			
		Efluente UASB	Efluente DG + FT	Efluente FT	AA
M.O. (%)	5,30	4,61	5,86	3,70	4,29
P (g kg ⁻¹)	0,16	0,07	0,08	0,06	0,03
pH	6,60	6,90	6,70	7,00	7,50
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,05	1,82	2,13	1,92	1,46
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,35	1,72	1,89	1,72	1,72
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,27	0,25	0,57	0,12
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,26	0,21	0,21	0,25	0,17

M.O. - matéria orgânica; P - fósforo total; UASB - reator de fluxo ascendente e manta de lodo; DG+FT - digestor associado ao Filtro anaeróbio; FT - filtro anaeróbio; AA - água de abastecimento

Silva (2010) observou que as águas de reúso provenientes das diferentes técnicas de tratamento não afetaram a concentração de matéria orgânica (M.O.). Tal constatação realizada por Silva (2010) difere dos encontrados por Silva (2007), que identificou um incremento da matéria orgânica do solo em parcelas irrigadas com água residuária tratada em detrimento daquelas irrigadas com água de abastecimento. O resultado obtido por Silva (2010) se deve, possivelmente, à eficiência de remoção de matéria orgânica dos diferentes tratamentos a que foi submetido o esgoto bruto. O incremento

no teor de matéria orgânica é logicamente encontrado quando a água de reúso é proveniente de esgoto não tratado.

Em relação aos nutrientes, Silva (2010) observou que a concentração de fósforo do solo diminuiu, as de potássio e cálcio se mantiveram praticamente constantes e a de magnésio aumentou, entre o início e final do ciclo da cultura, evidenciando que a demanda nutricional da cultura da mamona não foi totalmente atendida pelo aporte de íons presentes nos efluentes aplicados. Corroborando com essa observação, Medeiros et al. (2005) também citam que a aplicação de água residuária podem suprir parcialmente a demanda nutricional da cultura, devendo-se assim aplicar fertilizantes de forma suplementar. Resultados diferentes foram encontrados por Rodrigues (2008) e Silva (2007) que constaram uma melhoria na geral na fertilidade do solo, atribuindo este efeito à utilização de água residuária tratada, evidenciando que o efluente pode ser uma alternativa de aporte deste nutriente ao solo. Vale salientar que esse equilíbrio entre a demanda nutricional das culturas e o aporte de nutrientes depende da cultura e da composição química do efluente tratado.

Como efeito deletério, Silva (2010) constatou que devido à elevada concentração de Na nos efluentes aplicados, a concentração de Na no solo foi incrementada ao final do experimento, corroborando com Rodrigues (2008) e Nascimento (2004) que observaram resultados semelhantes. Notadamente, o aumento da proporção de Na adsorvido no complexo sortivo é um fator preocupante, principalmente em solos com maiores teores de argila, pois proporcionam redução na infiltração da água no solo, processo esse denominado de sodificação, o qual podem inviabilizar a atividade agrícola na área irrigada com efluentes domésticos.

Analisando o pH do solo, Silva (2010) verificou que o mesmo não apresentou alteração significativa quanto aos fatores estudados. Entretanto, considerando que o pH inicial do solo era 6,60, é possível observar que houve um leve aumento quando se aplicou água residuária tratada (pH médio=6,94) e água de abastecimento, proveniente de poços (pH =7,52). Provavelmente o curto período do experimento não foi suficiente para perceber grandes alterações no pH, mas o incremento na concentração de Na indica que o pH tenderia a aumentar ao longo do tempo, o que poderia gerar problemas nutricionais as culturas.

8.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos trabalhos realizados no semiárido pernambucano, mostra-se que a produtividade de sementes e os aspectos nutricionais não diferiram, independente da configuração do tratamento da água residuária oriunda de esgoto doméstico. Tal constatação é interessante, pois a instalação, operação e manutenção de um filtro anaeróbio ou mesmo um decanto-digestor (tanque-séptico) são bem mais simples que a instalação e a partida de um reator UASB. Em relação ao efeito provocado nas características químicas do solo, elas se mantiveram praticamente constantes, independente do tipo de efluente utilizado na irrigação, exceto para o elemento sódio (Na) que apresentou elevada concentração, fato este preocupante por se tratar de um elemento com elevado poder salino.

No geral, os resultados obtidos permitem considerar que é promissor o aproveitamento de efluentes de esgoto doméstico tratado em cultivos agrícolas, de modo a otimizar o uso e a proteção dos recursos hídricos, como também, a reciclagem de nutrientes.

8.8 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à CAPES/PNPD e à FACEPE pelo apoio financeiro a esta pesquisa, como também ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCTSal).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, I. P.; Montenegro, A. A. A.; Silva, J. A. A.; Freire, M. B. G. dos S.; Santos, T. E. M. Impacto do reúso de efluentes de esgoto no lixiviado de solos cultivados com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.212-216, 2005.
- Andrade Neto, C. O. de; Melo, H. N. de S.; Lucas Filho, M. Variação das concentrações de matéria orgânica em um sistema decanto-digestor e filtros anaeróbios. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, 2000, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ABES, 2000. 8p. CD Rom.
- Araújo, E. A.; Amaral, E. F.; Oliveira Filho, L. M.; Lima, I. F.; Souza, A. N.; Melo, A. W. F.; Araújo Neto, S. E. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de adubos e corretivos nas propriedades rurais do PED-Senador Guimard. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27., 1999, Brasília. Anais... Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. CD-Rom
- Avnimelech, Y. Wastewater recycling in Israel: Past, present and future. *International Water Engineering*, v.17, p.46-50. 1997.
- Barroso, L. B.; Wolff, D. B. Reúso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas, *Engenharia Ambiental*, v.8, p.225-236, 2011.
- Bastos, R. K. X.; Bevilacqua, P. D.; Silva, C. A. B.; Dornelas, F. L.; Assunção, F. A. L.; Rios, E. N.; Silva, A. F. S.; Freitas, A. S.; Costa, G. S. Tratamento de esgotos sanitários e usos múltiplos de efluentes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.164-170, 2005.
- Baumgartner, D.; Sampaio, S. C.; Silva, T. R.; Teo, C. R. P. A.; Vilas Boas, M. A. Reúso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. *Engenharia Agrícola*, v.27, p.152-163, 2007.
- Bernardo, S. Desenvolvimento e perspectiva da irrigação no Brasil. *Engenharia na Agricultura*, v.1, p.1-14, 1992.
- Brasil. Ministério da Integração Nacional. Cartilha do Programa de Desenvolvimento Integrado e Sustentável do Semi-Árido (CONVIVER). <<http://www.integracao.gov.br/programasregionais/publicacoes/conviver.asp>> 10 Jun. 2007.

- Bueno, N.; Lima, R. M. B.; Azevedo, C. P. Estado nutricional de espécies arbóreas cultivadas em podzólico amarelo distrófico no Amazonas. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27., 1999, Brasília. Anais... Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. CD Rom
- Campos, J. R. Tratamentos de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464p. Projeto PROSAB.
- Cavalcanti, F. J. A.; Messias, A. S.; Silva, M. C. L.; Moraes, E. J. F.; Lira, L. R. B. Avaliação da fertilidade dos solos de Pernambuco: Resultados de 1998. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27, 1999, Brasília. Anais... Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. CD Rom
- Cavallet, L. E.; Lucchesi, L. A. C.; Moraes, A. M.; Schimidt, E.; Perondi, M. A.; Fonseca, R. A. Melhoria da fertilidade do solo decorrentes da adição de água residuária da indústria de enzimas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, p.724-729, 2006.
- Costa, A.N.; Felipo, B. V.; Alvarez, V.H.; Braga, J.M.; Dessaune Filho. Avaliação do estado nutricional dos mamoeiros no Estado do Espírito Santo pelo Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS). In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25., 1995, Viçosa. Anais... Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.1325-1327.
- Deon, M. D. Reciclagem de água e nutrientes pela irrigação da cana-de-açúcar com efluente de estação de tratamento de esgoto. Piracicaba: ESALQ/USP, 2010. 88p. Tese Doutorado
- Deon, M. D.; Gomes, T. M.; Melfi, A. J.; Montes, C. R.; Silva, E. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, p.1149-1156, 2010.
- Duarte, A. S. Reuso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (*Capsicum annun L.*). Piracicaba: ESALQ/USP, 2007. 187p. Tese Doutorado
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa SPI, 2009. 412p.
- Fidelis Filho, J.; Nóbrega, J. Q.; Sousa, J. T. de; Dantas, J. P. Comparação dos efeitos de água residuária e de poço no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, p.328-332, 2005.
- Guimarães, F. V. A.; Benício, V. A.; Costa, R. I. Levantamento da fertilidade do solo no Estado do Ceará. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25, 1995, Viçosa. Anais... Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.612-613.
- Juanicó, M. Reúso de águas residuárias em regiões áridas e semiáridas: A experiência israelense. In: Medeiros, S.S.; Gheyi, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. S. (ed.). Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. p.361-378.
- Kato, M. T., Andrade Neto, C. O. de, Chernicharo, C. A. de L., Foresti, E.; Cybis, L. F. Configurações de Reatores Anaeróbios. In: Campos, J. R. Tratamentos de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 3, p.53-99.

- Leandro, W. M.; Oliveira Junior, J. P.; Brasil, E. M.; Almeida Neto, J. X.; Oliveira, S. A.; Chitolina, J. C.; Kliemann, H.; Dias, R. L.; Santos, A. F.; Ribeiro, M. P.; Peixoto, J. Avaliação do estado nutricional da cultura do milho, em áreas de produção de sementes (BR-201) na região de Goianésia-GO através da análise de solo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25. 1995, Viçosa. Anais... Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.560-561.
- Léon, S. G.; Cavallini, J. M. Tratamento e uso de águas residuárias. Campina Grande: UFPB. 1999. 109p.
- Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.
- Mancuso, P. C. S.; Santos, H. F. Reúso de água. São Paulo: Manole, 2003. 576p.
- Medeiros, S. S.; Soares, A. A.; Ferreira, P. A.; Neves, J. C. L.; Matos, A. T.; Souza, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, p.603-612, 2005.
- Miranda, J.; Costa, L. M.; Ruiz, H. A.; Einloft, R. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.30, p.633-647, 2006.
- Nascimento, M. B. H.; Lima, V. L. A.; Beltrão, N. E. M.; Souza, A.P. Utilização de água residuária e biossólido na cultura da mamona: crescimento e desenvolvimento. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1, 2004. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004a. 5p. CD Rom.
- Nascimento, M. B. H.; Lima, V. L. A.; Beltrão, N. E. M.; Souza, A. P. Utilização de água residuária e biossólido na cultura da mamona: Componentes de produção. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1, 2004. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004b. 5p. CD Rom
- Neves, A. L. R.; Lacerda, C. F.; Guimarães, F. V. A.; Hernandez, F. F. F.; Silva, F. B.; Prisco, J. T.; Gheyi, H. R. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão de corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. Revista Ciência Rural, v.39, p.758-765, 2009.
- Nichele, J. Utilização de efluentes sanitários tratado para o suprimento de nutrientes à cultura do milho e modificações em propriedades químicas do solo. Porto Alegre: UFRS, 2009. 75p. Dissertação Mestrado
- Oliveira, J. R. C.; Costa, N. L.; Paulino, V. T. Nutrientes limitantes ao crescimento de *Acacia angustissima*. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27., 1999, Brasília. Anais... Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. CD Rom
- OMS - Organização Mundial da Saúde. Directrices sanitárias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Genebra: OMS. 1989. 90p. Serie Informes Tecnicos, 78

- Paz, V. P. S.; Teodoro, R. E. F.; Mendonça, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, p.465-473, 2000.
- Pedroso Neto, J. C. Levantamento da fertilidade e granulometria do solo da microrregião de Iturama- MG. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25., 1995, Viçosa. Anais... Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.606-608.
- Pereira, M. A. B.; Bessa, N. G. F.; Dotto, M. C.; Carvalho, R. H.; Campos, S. L.; Quirino, M. S. Alface adubada com efluente de fossa séptica biodigestora: Alternativa agroecológica em reassentamento rural, Tocantins. *Cadernos de Agroecologia*, v.6, 2011.
- Phillips, I. R.; Sheehan, K. J. Importance of surface charge characteristics when selecting soils for wastewater reuse. *Australian Journal of Soil Research*, v.43, n.8, p.915-927, 2005.
- Rebouças, A. C. *Uso inteligente da água*. São Paulo: Escrituras Editora, 2004.
- Rodrigues, L. N. Níveis de reposição da evapotranspiração da mamoneira irrigada com água residuária. Campina Grande: UFCG, 2008. 161p. Tese Doutorado
- Santana, R. B.; Silva, A. A. G.; Faccioli; Gomes, N. O. O; Batista, W. R. M. Introdução aos estudos de zoneamento de risco climático para a cultura do girassol no Estado de Pernambuco. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14. 2006. Florianópolis. Anais... Florianópolis: SBMET, CD Rom
- Santos, A. N. Rendimento e avaliação nutricional do cultivo hidropônico de alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema NFT no semi-árido brasileiro utilizando águas salobras. Recife: UFRPE, 2009. 134p. Dissertação Mestrado
- Silva, M. B. R. Produção de pinhão manso irrigado com água residuária em função de reposição da evapotranspiração. Campina Grande: UFCG, 2009. 150p. Tese Doutorado
- Silva, M. L. O.; Faria, M. A.; Morais, A. R.; Andrade, G. P.; Lima, E. M. C. Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.482-488, 2007.
- Silva, M. M. Irrigação com efluentes secundários no crescimento, produtividade e concentração de nutrientes no solo e na mamoneira. Campina Grande: UFCG, 2010. 77p. Tese Doutorado
- Silva, V. P. Efeitos da fertirrigação com efluente de lagoa de polimento nos atributos do solo e na produção do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Recife: UFPE, 2007. 128p. Tese Doutorado
- Silveira, R. L. V. A.; Teramoto, E. R.; Dário, F. R.; Bierwagen, R.; Muniz, M. R. A.; Gonçalves, A. N. Avaliação do estado nutricional de duas procedências de ipê felpudo (*Zeyheria tuberculosa*). In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25, 1995, Viçosa. Anais... Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.797-799.
- Soares, T. M. Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro. Piracicaba: ESALQ/USP, 2007. 267p. Tese Doutorado

- Sousa, J. T. de; Haandel, A. C. V.; Cosentino, P. R. da S.; Guimarães, A. V. A. Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas “wetlands” construídos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, p.87-91, 2000.
- Sousa, J. T.; Haandel, A. C. V.; Cavalcanti, P. F. F.; Figueiredo, A. M. F. Tratamento de esgoto para uso na agricultura no semi-árido nordestino. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v.10, p.260-265, 2005.
- Souza Filho, F. A. A. Política nacional de recursos hídricos: Desafios para sua implantação no semiárido brasileiro. In: Medeiros, S.S.; Gheyi, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. S. (ed.). *Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas*. Campina Grande: INSA, 2011. p.1-25.
- Sperling, M. V. *Princípios básicos do tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, v.2, 2005. 211p.
- Suzuki, A. Levantamento do estado nutricional da macieira na região de Fraiburgo, SC. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25. 1995, Viçosa. Anais... Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.568-570.
- Varallo, A. C. T.; Carvalho, L.; Santoro, B. L.; Souza, C. F. Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho-amarelo irrigado com água de reúso. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*. v.14, p.372-377, 2010.
- Veloso, C. A. C.; Menezes, A. J. E. A.; Brasil, E. C.; Carvalho E. J. M. Determinação do estado nutricional de cultivares de bananeira no nordeste paraense. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27., 1999, Brasília. Anais... Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. CD Rom
- Veloso, M. E. C.; Duarte, S. N.; Silva, I. J. O. Potencial de uso agrícola de águas residuárias na agricultura como suprimento hídrico e nutricional. *Engenharia Rural*, v.15, p.79-86, 2004.

Capítulo 9

Gestão das águas residuárias provenientes da dessalinização da água salobra

Nildo da S. Dias¹, Christiano R. Cosme¹,
Ana C. M. Souza¹ & Márcia R. F. da Silva²

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido

² Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

- 9.1 Introdução
 - 9.2 A qualidade do rejeito salino gerado nas estações de tratamento de água salobra nas comunidades rurais de Mossoró, RN
 - 9.3 Uso de rejeito salino para produção de hortaliças: A experiência da comunidade Bom Jesus, Campo Grande, RN
 - 9.4 Utilização de rejeito salino para o consórcio psicultura/forragicultura
 - 9.5 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões semiáridas:
Estudos e aplicações
ISBN 978-85-64265-03-5



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB



Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia
Cruz das Almas - BA

9 Gestão das águas residuárias provenientes da dessalinização da água salobra

9.1 INTRODUÇÃO

Historicamente a Região Nordeste, em especial na sua porção semiárida, é afligida pela escassez de água. Conforme dados da Agência Nacional de Águas – ANA, nesta região o balanço entre a disponibilidade e a demanda dos recursos hídricos superficiais das regiões hidrográficas, está entre as mais preocupantes do País. A situação mais crítica é a observada na região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, com média inferior a $1.200 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo que em algumas unidades hidrográficas dessa região são registrados valores menores que $500 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Brasil, 2007).

Apesar desta deficiência em recursos hídricos superficiais, de acordo com levantamentos da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS, poderiam ser explorados do subsolo da Região Nordeste, sem risco de esgotamento dos mananciais, pelo menos 19,5 bilhões de m^3 de água por ano, correspondendo a 40 vezes o volume explorado atualmente (Soares et al., 2006). No entanto, na grande parte dos casos a utilização dessas águas, seja para o dessedentamento humano ou para a irrigação, esbarra em um sério obstáculo, isto é, a elevada concentração de sais nelas contida, uma vez que nas regiões das rochas cristalinas do semiárido brasileiro, os teores de sólidos totais dissolvidos (STD) nas águas subterrâneas superam os 2.000 mg L^{-1} em 75 % dos casos (Rebouças, 1999). Considerando que esses valores de sólidos totais dissolvidos nas águas subterrâneas são duas vezes maiores que os limites máximos permitidos deste parâmetro na água para o consumo humano, de acordo com a Portaria MS nº 518 de 2004 (Brasil, 2005), os Governos Federal e Estaduais têm procurado mitigar este problema, desde meados da década de 90, através da instalação de equipamentos de dessalinização das águas salobras subterrâneas, objetivando a geração de água doce para o abastecimento de comunidades isoladas no Nordeste.

O método de dessalinização predominante é o processo de osmose reversa (Porto et al., 2004). Fato este, devido principalmente à simplicidade e robustez do equipamento; aos baixos custos de instalação e operação associados à capacidade de tratar volumes baixos ou moderados de água bruta (Amorim et al., 2001). O emprego

desta tecnologia acaba por amenizar as precárias condições do abastecimento hídrico nas localidades nordestinas contempladas pelos programas governamentais neste âmbito. Entretanto, um ponto negativo da dessalinização por osmose reversa é o fato de que, para gerar água potável, necessariamente neste processo é produzida uma água altamente salobra, denominada rejeito salino. De acordo com Porto et al. (2001) dependendo do equipamento e da qualidade da água do poço, a quantidade de rejeito gerado no processo será da ordem de 40 a 60% do total de água salobra oriunda do poço; logo, considerando o número de dessalinizadores nesta região, estimado em 400 equipamentos, um grande volume de rejeito está sendo gerado no semiárido brasileiro que, na maioria dos casos, não está recebendo qualquer tratamento; mesmo assim, vem sendo despejado no solo propiciando alto acúmulo de sais nas camadas superficiais dos solos (Porto et al., 2001). Para os autores, a deposição deste rejeito no solo poderá trazer, em curto espaço de tempo, sérios problemas para as comunidades que se beneficiam da tecnologia de dessalinização.

De acordo com Amorim et al. (2001), a água de rejeito tem potencial para contaminar mananciais, solos e, em casos extremos, a fauna e a flora da região; além disso, os sais depositados na superfície do solo poderão ser transportados pela ação do vento ou por escoamento superficial e salinizar aguadas e áreas próximas; conseqüentemente, a vegetação local será prejudicada pelos efeitos dos sais no solo e na planta, bem como os rebanhos e os animais silvestres, pela falta de pastagem natural e abrigo. Um exemplo disto pode ser verificado através dos dados obtidos por Amorim et al. (1997), ao indicarem que a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}) atingiu valor maior que $12,0 \text{ dS m}^{-1}$ e a percentagem de sódio trocável (PST) atingiu valor maior que 15% nos primeiros 30 cm do solo, em locais onde o rejeito era depositado em uma comunidade rural de Petrolina, PE.

Desta forma e buscando amenizar esses riscos potenciais, algumas alternativas de utilização do rejeito estão sendo estudadas, como o cultivo de espécies halófitas, dentre as quais a erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) é uma das mais importantes visto que, em virtude de ser originária de regiões áridas, o gênero *Atriplex* vem se destacando há algumas décadas, sobretudo por conseguir produzir e manter uma fitomassa abundante, mesmo em ambientes de alta aridez e salinidade, adaptando-se muito bem as regiões com baixas precipitações (Porto et al., 2001). Outros autores, como Dubon & Pinheiro (2001) observaram resultados também promissores ao investigarem o crescimento da tilápia (*Oreochromis* SP) em águas de elevada salinidade. Além da piscicultura, a carcinicultura também vem sendo empregada no aproveitamento da água de rejeito. Outra alternativa que vem sendo estudada para o reúso do rejeito da dessalinização, é sua utilização na composição da solução nutritiva para o cultivo hidropônico de diversas hortaliças, que surge como uma forma interessante para destinar este resíduo, como mostram os resultados de pesquisas de diversos autores (Soares, 2007; Dias et al., 2010; Santos et al., 2010a; 2010b). Uma vez que os cultivos hidropônicos podem constituir uma vantagem quando se utiliza água salobra, pois neste sistema inexistente o potencial mátrico, em razão do estado de saturação ao qual

as plantas estão submetidas, fato passível de possibilitar o aumento da resposta das culturas à salinidade (Soares, 2007); deste modo, os riscos de contaminação do solo poderiam ser reduzidos, gerando, como benefícios, a garantia da segurança alimentar das famílias e a conservação do ambiente local.

De maneira geral, este capítulo tratará acerca da gestão destas águas residuárias oriundas do processo de dessalinização nas estações de tratamento de água salobra.

9.2 A QUALIDADE DO REJEITO SALINO GERADO NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA SALOBRA NAS COMUNIDADES RURAIS DE MOSSORÓ, RN

Visando avaliar a qualidade, para fins de irrigação, da água de rejeito gerada pelo processo de osmose reversa em comunidades rurais do município de Mossoró, RN, foram realizadas campanhas de coleta de amostras de águas do rejeito em 28 comunidades onde foram instaladas estações de tratamento de água salobra pelo projeto água boa e água de beber dos governos Federal e Estadual. Na Figura 9.1 pode-se observar a variação da qualidade da água tendo como base a classificação proposta por Richards (1954).

A Tabela 9.1 mostra uma síntese dos percentuais das classificações da água quanto à sua qualidade para a irrigação para as águas de rejeito analisadas, sintetizando as informações da Figura 9.1. Apenas 10,7% das águas dos rejeitos das comunidades rurais estudadas são classificados em C_2S_1 , que são águas consideradas boas para a prática da irrigação por apresentarem um nível médio de salinidade e baixo de sodicidade, podendo ser usadas em solos que permitam uma lixiviação moderada de sais, como os solos silto-arenosos, siltosos ou areno-argilosos, e se prestam ao cultivo da maioria dos vegetais. Enquadram-se, nesta classificação, as comunidades Bom Destino, Arisco I e Coqueiro II.

A classe C_3S_1 é a predominante com quase 60,0% das amostras dos rejeitos salinos estudados (Tabela 9.1), consideradas de qualidade regular, apesar do baixo nível de sodicidade mas devido ao alto teor de sais. Essas águas sofrem restrições quanto à sua utilização para a irrigação, não podendo ser utilizadas em solos com drenagem deficiente, por depositarem no solo grande quantidade de sais que, conseqüentemente, se acumulam no solo próximo à zona radicular das plantas aumentando, a cada irrigação, seus teores, podendo vir a gerar problemas de salinidade no solo afetando sua estrutura e comprometendo o rendimento das culturas sensíveis aos sais. Para viabilizar a utilização das águas com elevada salinidade, necessita-se de adoção de práticas especiais de manejo da água e do solo para o controle da salinidade, como a drenagem e lâmina de lixiviação.

Por exemplo, neste caso, poderiam ser cultivadas, irrigando-se com essas águas, culturas moderadamente sensíveis à salinidade, como abóbora, alface, batata-doce, melancia, melão, milho, girassol e mamona (Ayers & Westcot, 1999). As comunidades

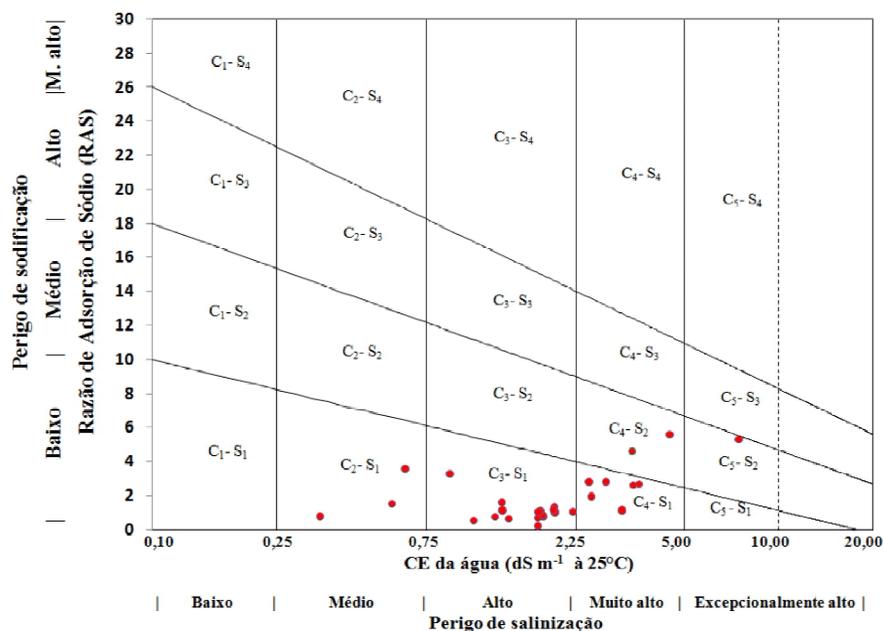


Figura 9.1 Diagrama de classificação de águas para irrigação (Richards, 1954): classificação das águas de rejeito das comunidades rurais do município de Mossoró, RN

Tabela 9.1 Percentagens relativas das diferentes classes de água para a água de rejeito das comunidades rurais de Mossoró, RN, com base na classificação de Richards (1954)

Classes	Perigo de		%	Qualidade da água
	Salinidade	Sodicidade		
C ₂ S ₁	Médio	Baixo	10,7	Boa
C ₃ S ₁	Alto	Baixo	57,1	Regular
C ₄ S ₁	Muito Alto	Baixo	21,4	Ruim
C ₄ S ₂	Muito Alto	Médio	7,1	Ruim
C ₅ S ₂	Excepcionalmente Alto	Médio	3,6	Ruim

que possuem o rejeito salino com maiores condutividades elétricas são por ordem decrescente: Boa Fé (7,46 dS m⁻¹); Puxa Boi (4,48 dS m⁻¹); Maracanaú (3,58 dS m⁻¹); Espinheirinho (3,43 dS m⁻¹); Lajedo II (3,41 dS m⁻¹); Picada I (3,16 dS m⁻¹); Oziel Alves (2,81 dS m⁻¹); Pau Branco (2,52 dS m⁻¹) e São Romão (2,48 dS m⁻¹).

A preocupação que surge nessas comunidades é a deposição desses rejeitos, em virtude de seu potencial em contaminar os mananciais hídricos, o solo e até a fauna e flora da região, como alertado anteriormente, uma vez que os sais depositados na superfície do solo além de contaminarem mananciais subterrâneos poderão ser

transportados pela ação dos ventos ou pela água de escoamento superficial e salinizar as águas e áreas próximas.

As comunidades Boa Fé, Puxa Boi e Lajedo II, continuam a se destacar das demais com relação aos níveis de sódio contidos na água de rejeito por elas produzida, sendo classificadas como S_2 . Para a utilização desses rejeitos para cultivos hidropônicos, por exemplo, deve-se ter cuidado com os elevados teores de sódio que podem causar problemas de toxidez em culturas sensíveis aos elevados níveis deste elemento. De acordo com os parâmetros para avaliação da qualidade da água proposta por Ayers & Westcot (1999), a porcentagem de valores normais para CE foi de 84,6%, com relação às concentrações dos íons, elevado percentual de águas de rejeito das localidades possuem teores de Ca^{2+} , Na^+ , HCO_3^- e Cl^- , dentro dos níveis considerados normais (Tabela 9.2); já para a concentração dos íons CO_3^{2-} e principalmente o Mg^{2+} , uma baixa quantidade de águas está dentro da faixa considerada normal para tais elementos. Todas as águas tiveram pH normal e RAS entre 0 e 15 ($mmol L^{-1}$)^{1/2}.

Tabela 9.2 Percentagens de valores normais à água de irrigação, para água de rejeito das comunidades rurais de Mossoró, RN

Parâmetros ¹	Valores normais	Unidade	Rejeito
Conteúdo de sais			
CE	0 - 3,0	dS m ⁻¹	78,6
Cátions e Ânions			
Ca^{2+}	0 - 20	mmol _c L ⁻¹	78,6
Mg^{2+}	0 - 5	mmol _c L ⁻¹	14,3
Na^+	0 - 40	mmol _c L ⁻¹	100,0
CO_3^{2-}	0 - 0,1	mmol _c L ⁻¹	42,9
HCO_3^-	0 - 10	mmol _c L ⁻¹	85,7
Cl^-	0 - 30	mmol _c L ⁻¹	82,1
Vários			
pH	6 - 8,5	-	100,0
RAS	0 - 15	(mmol L ⁻¹) ^{1/2}	100,0

¹ Adaptado de Ayers & Westcot (1999)

9.3 USO DE REJEITO SALINO PARA PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS: A EXPERIÊNCIA DA COMUNIDADE BOM JESUS, CAMPO GRANDE, RN

As famílias residentes na comunidade rural Bom Jesus, localizada no município de Campo Grande, RN, apresentam um histórico de desafios e resistência aos fatores climáticos naturais da região, sobretudo, no tocante à falta d'água. Na referida localidade existem quatro pequenos açudes que dão suporte hídrico ao consumo doméstico e animal, até certo período do ano; já nos meses mais secos os moradores sofrem com a escassez. Para solucionar este problema o Governo Federal, com o "Programa Água Boa" instalou, na referida comunidade, uma estação de tratamento de água por osmose reversa, como alternativa para a obtenção de água potável para as famílias através de dessalinização da água salobra de um poço profundo perfurado na comunidade.

Desta forma, atualmente o dessalinizador e as cisternas de placa são os meios para garantir o abastecimento doméstico na comunidade. Como forma de minimizar os impactos negativos gerados pelo descarte do rejeito, que era realizado diretamente no solo como mostra a Figura 9.2B e C, a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e a Assessoria Técnica do Núcleo Sertão Verde, através do Programa de Iniciação Científica e Tecnológica para Micro e Pequenas Empresas (BITEC), viabilizaram uma proposta que busca o destino nobre e utilitário às águas residuárias provenientes dos dessalinizadores, por meio de sua utilização para a produção vegetal, com a implantação do projeto “Produção de Hortaliças com Água Residuária Proveniente da Estação de Tratamento de Água Salobra da Comunidade de Bom Jesus, Campo Grande, RN”, beneficiando a população local com a criação de uma horta comunitária irrigada com água de rejeito, visando fortalecer a agricultura familiar com a garantia da subsistência e a venda do excedente, aquecendo o comércio local com a expansão de mercados para produtos e serviços.



Figura 9.2 Estação de tratamento de água salobra (A) e descarte do rejeito salino no solo e no curso d’água (B) e (C)

As ações do projeto foram desenvolvidas no período de julho a dezembro de 2009, com objetivo norteador de analisar a viabilidade de produzir hortaliças orgânicas aproveitando, como suporte hídrico, o rejeito salino oriundo da estação de tratamento de água da comunidade Bom Jesus, a partir de princípios sistemáticos de sustentabilidade agrícola em bases ecológicas.

A metodologia utilizada foi baseada no planejamento participativo, isto é, todas as atividades do projeto foram pensadas e realizadas com a comunidade, escolhendo-se o melhor caminho para se chegar ao objetivo proposto. É importante ressaltar que o grupo já possuía noções básicas de produção de hortaliças mas, carecia de capacitações específicas, que foram orientadas pela equipe técnica da UFERSA e do Núcleo Sertão Verde.

Através de análise local, foi selecionada uma área 12 x 20 m próximo ao dessalinizador; onde foi construído um viveiro para o plantio das mudas em canteiros e um pequeno sistema de irrigação através do qual se usaria a água residual do dessalinizador para dar suporte hídrico ao desenvolvimento das culturas.

A partir daí foram realizados: o preparo da área para o plantio e a construção dos chamados “canteiros inteligentes”, com sistema alternativo de distribuição de água por subsuperfície (Figura 9.3A), a fim de evitar o contato direto das hortaliças folhosas com o rejeito salino. Os canteiros foram preenchidos com material vegetal (fibra de coco, restos vegetais, pó de serra etc.), em substituição ao solo, funcionando como um substrato, análogo a um sistema hidropônico, buscando assim, a redução do potencial matricial do solo, visando diminuir os efeitos deletérios da água de rejeito salino sobre as plantas. Ademais foi plantado, na metade da área disponível, um coquetel de leguminosas e gramíneas (Tabela 9.3), para a produção de biomassa que serviu, posteriormente, de adubação verde e material orgânico para o solo.

Nos canteiros foram cultivadas hortaliças como alface, cebolinha, coentro, rúcula, pimentão e tomate. Fruteiras como goaibeira e acerola também foram plantadas na



Figura 9.3 Canteiros inteligentes para cultivo de hortaliças irrigado por subsuperfície (A) e capim elefante irrigado por sulco com rejeito da dessalinização da água (B)

Tabela 9.3 Composição e quantidades de sementes das espécies utilizadas no coquetel incorporado ao material de solo

Leguminosa/gramínea	Quantidade (kg ha ⁻¹)
Milho	24
Feijão-de-porco	16
Girassol	8
Mamona	5
Calopogônia	4
Milheto	2
Crotalária Juncea	10
Crotalária spectabilis	10
Mucuna	16
Feijão – guandu	16
Lab Lab	12
Sorgo	3
Feijão moita	12

área, além de espécies halófitas, como a erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) e mudas de reflorestamento. Com a finalidade de produzir forragem e considerando a maior demanda hídrica e alta tolerância das gramíneas à salinidade da água, foi construída uma capineira, para se cultivar capim elefante (*Pennisetum purpureum*) (Figura 9.3B) irrigado por sulco, sendo que esta foi uma estratégia para impedir que o rejeito salino fosse carreado para o rio.

A produção excedente desses cultivos foi vendida na localidade, em comunidades vizinhas e na feira da agricultura familiar do município. Os recursos oriundos das vendas do excedente foram utilizados para cobrir os custos provenientes da produção.

A execução do projeto possibilitou impactos significativos nos aspectos socioeconômico, técnico-científico e ambiental da comunidade abastecida, com unidades de captação e tratamento de água por dessalinização. Foi promovido um diálogo entre as famílias envolvidas na pesquisa com a finalidade de discutir os benefícios do sistema de cultivo implantado na comunidade, visando a continuidade da iniciativa pelos comunitários, além de mostrar e debater outras alternativas de reúso do rejeito salino como, por exemplo, a criação de tilápia, a construção de tanque de evaporação para produção de sais minerais e o cultivo de girassol para produção de óleo e ornamentação (plantio em jarros). No caso do cultivo de girassol cabe explicar que, durante a condução do experimento e com o plantio do coquetel de leguminosas para a adubação verde, os agricultores envolvidos na pesquisa observaram o melhor desempenho das plantas de girassol em relação a tolerância à salinidade da água de rejeito salino, sobressaindo em relação às demais espécies do coquetel.

A partir desta constatação os envolvidos na pesquisa participativa discutiram as potencialidades e a importância econômica da cultura do girassol, sendo definidas investigações futuras com a perspectiva de uso do rejeito salino. A Tabela 9.4 apresenta a produtividade média das principais espécies produzidas com rejeito salino e sua relação com a produção em sistema convencional (utilizando água de boa qualidade). Com relação ao teor de proteína bruta do capim elefante, pode-se verificar aumento no teor com o uso do rejeito salino, embora com perdas na porcentagem de matéria seca.

Tabela 9.4 Produtividade média das principais espécies produzidas com rejeito salino e qualidade da forragem de capim elefante em relação aos cultivos com água de boa qualidade (sistema convencional)

Espécies	Rejeito salino	Água boa	Perda relativa (%)
Alface (fitomassa fresca)	72 g planta ⁻¹	98 g planta ⁻¹	26,53
Tomate (número de frutos)	27 frutos planta ⁻¹	36 frutos planta ⁻¹	25,00
Pimentão (peso de frutos)	43,1 g fruto ⁻¹	57,7 g fruto ⁻¹	25,30
Girassol (fitomassa seca)	7,8 ton ha ⁻¹	-	-
Capim elefante:	-	-	-
- Porcentagem de matéria seca	80,5%	90,5%	11,04
- Teor de proteína bruta	9,5%	4,0%	-

Pode-se constatar que houve perdas de produtividade em todas as espécies cultivadas com água de rejeito salino, sendo registradas perdas relativas entre 25,3 a 26,7% em relação aos cultivos tradicionais com a utilização de água de boa qualidade para a irrigação (Tabela 9.4). Entretanto, caso sejam consideradas as perdas de produção comercial das hortaliças devido aos efeitos da salinidade do rejeito salino certamente são compensatórias pelos ganhos obtidos da opção de dispor adequadamente o rejeito da dessalinização, reduzindo os impactos ambientais devido à sua deposição no solo e nos cursos d'água.

9.4 UTILIZAÇÃO DE REJEITO SALINO PARA O CONSÓRCIO PSICULTURA/ FORRAGICULTURA

A Embrapa desenvolveu um sistema de produção integrada (piscicultura/ forragicultura), adotado em unidades demonstrativas, para se tornar uma alternativa de uso adequado do efluente (concentrado) do sistema de dessalinização, minimizando impactos ambientais negativos e contribuindo para a segurança alimentar da(s) localidade(s) beneficiada(s).

Em 2003 o referido sistema foi adotado como referência pelo Programa Água Doce, do Ministério do Meio Ambiente (MMA); na Figura 9.4 pode-se observar um desenho esquemático desse sistema, o qual utiliza os efluentes da dessalinização de águas subterrâneas salobras ou salinas, em uma combinação de ações integradas de forma sustentável, composto de quatro subsistemas interdependentes citados abaixo.

1) Inicialmente, o sistema de dessalinização produz água potável;

2) Em seguida, o efluente do dessalinizador (concentrado), solução salobra ou salina, é enviado para tanques de criação de peixes (tilápia);



Fonte: Brasil (2010)

Figura 9.4 Esquema representativo da Unidade Demonstrativa de rejeito de dessalinizador de água salobra

3) No momento posterior o efluente dessa criação, enriquecido em matéria orgânica, é aproveitado para a irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) que, por sua vez, é utilizada na produção de feno.

4) Por fim, a forragem, com teor protéico entre 14 e 18%, é utilizada para a engorda de caprinos e/ou ovinos na região, fechando assim o sistema de produção ambientalmente sustentável.

No sistema de produção integrada são construídos dois tanques que servem como viveiro para aquicultura, com capacidade para mil peixes, os quais são comercializados trimestralmente, enquanto, o terceiro tanque recebe as descargas dos viveiros, sendo enriquecido com matéria orgânica (fezes e ração dos peixes), cuja água residuária salobra resultante do tanque é utilizada para irrigação da erva-sal que, conseqüentemente, será destinada para servir como complemento de até 30% na ração animal.

No Rio Grande do Norte foi instalada a primeira Unidade Demonstrativa (UD) deste projeto no Assentamento Caatinga Grande; no município de São José do Seridó, em parceria com a SEMARH- Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte a Prefeitura de São José do Seridó entre outros órgãos.

A Figura 9.5 ilustra ações desenvolvidas na Unidade Demonstrativa do Projeto de Assentamento Caatinga Grande, São José do Seridó, RN. O assentamento Caatinga Grande foi escolhido por preencher todos os pré-requisitos do Programa Água Doce, tais como: ter disponível pelo menos dois hectares de área, solo com a qualidade propícia, possuir poço com vazão suficiente para a irrigação da erva sal, dentre outros e principalmente, devido o comprometimento da comunidade na gestão do projeto.



Fonte: Brasil (2010)

Figura 9.5 Despesca de uma Unidade Demonstrativa (A), colheita da erva sal para fenação (B) e Estação de tratamento de água salobra implantado (C)

A unidade é constituída de dois tanques, o primeiro para criação de peixes com 30 x 9,40 m de superfície e 1,50 m de profundidade e o segundo com 30 x 9,40 m e 2,00 m de profundidade para acumular o concentrado que servirá para abastecer os viveiros e irrigar a erva-sal; além disso, foi instalado um sistema de irrigação localizado para atender à demanda hídrica da *Atriplex*.

Os benefícios do projeto foram observados aproximadamente 1 ano após a sua implantação, produzindo para a comunidade cerca de 750 kg de peixe, que foram comercializados, gerando o valor de R\$ 2.650,00, dos quais 50% foram aplicados no fundo de reserva. Além disso, a irrigação da erva sal com o efluente oriundo da piscicultura já em sua primeira colheita, rendeu cerca de 2.374 kg de feno, sendo este utilizado na engorda de ovinos e caprinos (Lucas, 2012).

9.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A gestão dos recursos hídricos envolve duas dimensões significativas: a primeira se referente à quantidade de água e a segunda se relacionada à qualidade da água. Ao analisar essas duas dimensões observa-se a importância de pesquisas que apresentam possibilidades técnicas de reúso da água e apontam a viabilidade desse processo para a produção agrícola.

- No Brasil, diferentemente de vários países a dessalinização de águas ocorre especialmente mediante o uso de instalações de pequena capacidade, cujo sistema mais utilizado é a dessalinização por osmose reversa.

- Ao considerar as alternativas de uso do rejeito salino apresentados, tornam-se notórios os benefícios socioambientais, tais como: redução dos riscos de contaminação ambiental, produção de hortaliças, criação de peixes, além da irrigação de espécies forrageiras para a alimentação de caprinos e ovinos.

- Em síntese, é importante destacar que uma orientação sustentável dos sistemas de reúso da água poderá colaborar, de forma significativa, na gestão das águas residuárias e potencializar a geração de renda por meio da inovação e da diversidade de atividades que poderão ser desenvolvidas pelas famílias, além de contribuir para a conservação ambiental de importantes recursos naturais como o solo e a água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim, M. C. C.; Porto, E. R.; Araújo, O. J.; Silva Júnior, L. G. Alternativas de reuso dos efluentes da dessalinização por osmose inversa: evaporação solar e meio líquido para cultivo de tilápia koina (*Oreochromis* sp.). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21., 2001, João Pessoa. Saneamento ambiental: desafio para o século 21. João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. CD Rom
- Amorim, M. C. C.; Porto, E. R.; Silva Júnior, L. G. A.; Liberal, G. S. Efeitos de sais no solo provenientes de rejeitos da dessalinização por osmose inversa no semi-árido pernambucano. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 26, 1997, Campina Grande. Resumos... Campina Grande: UFPB, 1997. CD Rom
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2.ed. Campina Grande: UFPB. 1999. 153p.

- Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria MS n.º 518/2004 / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 28p. Série E. Legislação em Saúde
- Brasil. Agência Nacional de Águas (ANA). Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2007. CD Rom. [http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2007/DisponibilidadeE DemandasBrasil.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2007/DisponibilidadeE%20DemandasBrasil.pdf)>. 13 Fev. 2012. Cadernos de Recursos Hídricos, 2
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Programa Água Doce: Documento base. Brasília, DF. 2010. 321p. http://www.mma.gov.br/estrutura/212/_arquivos/documento_base_pad_verso_preliminar_20120_212.pdf. 02 Fev. 2012.
- Dias, N. S.; Lira, R. B.; Brito, B. L.; Sousa Neto, O. N.; Ferreira Neto, M.; Oliveira, A. M. Produção de melão rendilhado em sistema hidropônico com rejeito da dessalinização de água em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.755-761. 2010.
- Dubon, J. A. M.; Pinheiro, J. C. V. Aproveitamento de águas residuais provenientes de dessalinizadores instalados no Estado do Ceará. In: Encuentro de las Aguas, 3, 2001, Santiago - Chile. Encuentro de las Aguas - Agua, Vida y Desarrollo, 3. Santiago: IICA. 2011. Diseño y Producción www.plotdesign.com
- Lucas, D. O programa água doce/Sede zero [on line]. <<http://www.mineiropt.com.br/fotosnoticia/arq46e94fc797bed.pdf>>. 15 Fev. 2012.
- Porto, E. R.; Amorim, M. C. C. de; Silva Júnior, L. G. A. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, p.111-114, 2001.
- Rebouças, A.C. Águas subterrâneas. In: Rebouças, A.C.; Braga, B.; Tundisi, J.G. (ed.). Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras, 1999. Cap. 4, p.117-151.
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: U.S. Salinity Laboratory, 1954. 160p. USDA. Agriculture Handbook, 60
- Santos, A. N.; Soares, T. M.; Silva, E. F. F.; Silva, D. J. R.; Montenegro, A. A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.961-969, 2010a.
- Santos, R. S. S.; Dias, N. S.; Sousa Neto, O. N.; Gurgel, M. T. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra no cultivo da alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema hidropônico NFT. *Ciência e Agrotecnologia*, v.34, p.983-989, 2010b.
- Soares, T. M. Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro. Piracicaba: ESALQ/USP, 2007. 268p. Tese Doutorado
- Soares, T. M.; Silva, I. J. O.; Duarte, S. N.; Silva, E. F. de F. e. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.730-737, 2006.

Capítulo 10

Salinidade de solo e da água e seus efeitos na produção agrícola

José F. de Medeiros¹, Hans R. Gheyi²
& Iarajane B. do Nascimento¹

¹ Universidade Federal Rural do Semiárido

² Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

- 10.1 Introdução
- 10.2 Características dos solos afetados por sais
 - 10.2.1 Pedogênese dos solos afetados por sais - classes de solos
 - 10.2.2 Características químicas e física dos solos afetados por sais
 - 10.2.3 Solos salinos
 - 10.2.4 Solos salino-sódicos
 - 10.2.5 Solos sódicos
 - 10.2.6 Solos salinos e sódicos no sistema brasileiro de classificação de solos
- 10.3 Qualidade da água de irrigação
 - 10.3.1 Características da água de irrigação
 - 10.3.2 Classificação da qualidade da água para irrigação
 - 10.3.3 Qualidade da água no nordeste brasileiro
- 10.4 Efeitos prejudiciais dos sais nas áreas irrigadas
 - 10.4.1 Efeitos da salinidade da água sobre o solo
 - 10.4.2 Efeito dos sais sobre as plantas
- 10.5 Técnicas de manejo para controlar os efeitos da salinidade
- 10.6 Considerações finais
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões semiáridas:
Estudos e aplicações
ISBN 978-85-64265-03-5



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB



Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia
Cruz das Almas - BA

10 Salinidade de solo e da água e seus efeitos na produção agrícola

10.1 INTRODUÇÃO

Os solos de regiões secas são mais planos e rasos, contribuindo para o acúmulo de sais no perfil pois, com pouca água para promover lixiviação associado a solos com baixa permeabilidade favorece a concentração de sais nas camadas mais superficiais podendo ocorrer salinização em pouco tempo.

Nas regiões secas, a chuva não é suficiente para atender à demanda hídrica das principais espécies de plantas cultivadas pelo homem, utiliza-se a irrigação para suprir tal deficiência. Entretanto, outro problema surge, associado à própria água de irrigação em que, embora apresentando baixa concentração de sais devida aos grandes volumes aplicados de água nas áreas irrigadas, quantidades elevadas de sais são adicionadas aos solos.

Para atender ao acelerado crescimento populacional mundial surge, a cada dia, a necessidade de maior produção de alimento, razão por que se expandiram as áreas agricultáveis em todo o mundo impulsionando, então, o uso da irrigação para tornar produtivas as regiões áridas e semiáridas e complementar as carências hídricas nas regiões úmidas.

No Brasil, a área irrigada corresponde a três milhões de hectares, ocupando o 18º lugar no mundo, em termos de área irrigada. Quando se leva em consideração a relação área irrigada/área total cultivada, o Brasil se situa no 23º lugar, com 5% da área total cultivada (Hoffman & Evans, 2007), porém produzindo mais de 17% da produção total. Em virtude da capacidade produtiva e de maior necessidade de se produzir por unidade de área, a tendência atual é de um crescimento acelerado das áreas irrigadas.

Por outro lado, a expansão das áreas irrigadas tem causado alguns problemas, dentre os quais se destaca a salinização do solo, que ocorre pelo fato da água de irrigação apresentar sais dissolvidos que, mesmo em baixa concentração, podem ser incorporados ao solo, que pode tornar-se salino em poucos anos (Medeiros, 2008). Segundo Ayers & Westcot (1999), quanto maior o conteúdo de sais no solo maior também o esforço da planta para absorver a água; assim, ocorre a diminuição no uso consultivo da planta à medida em que cresce a concentração de sais na região da zona radicular das culturas (Allen et al., 1995; Medeiros, 1998).

Na agricultura irrigada a qualidade da água deve ser questionada antes do início do cultivo, pois se trata de um dos fatores que têm limitado ou impossibilitado a expansão da produção agrícola nas regiões áridas e semiáridas do mundo. Além disso, a alta taxa de evapotranspiração e a baixa pluviosidade contribuem para a salinização dos solos irrigados. Embora as águas salinas tenham sido consideradas inadequadas para a irrigação, existem amplas evidências, em todo mundo, de que seu uso pode ser viabilizado desde que se adotem técnicas de manejo adequadas e culturas tolerantes á salinidade (Steppunh, 2001).

No Brasil, aproximadamente nove milhões de hectares de solos são afetados pela presença de sais, cobrindo sete Estados. Na região do Nordeste brasileiro a maior área afetada está localizada no estado da Bahia (44% do total), seguido do estado do Ceará, com 25% da área total (Gheyi & Fageria 1997). Nesses Estados a salinidade tem sido apontada como um dos principais fatores responsáveis pela diminuição no crescimento e na produtividade das culturas (Pereira et al., 2005).

Os efeitos negativos da salinidade podem ser observados no “stand” da cultura, no crescimento das plantas e em rendimentos sendo que, em casos extremos, pode haver até perda total da cultura. Portanto, o manejo de água nas áreas irrigadas associado ao manejo do solo e das culturas, é fundamental para manter a atividade da agricultura irrigada, por várias gerações.

10.2 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS AFETADOS POR SAIS

Diversas regiões do mundo apresentam problemas com solos halomórficos, principalmente nas regiões de clima árido e semiárido, onde o acúmulo de sais se dá pela elevada evaporação e precipitação anual insuficiente para que ocorra a lixiviação dos sais da zona radicular (Barros et al., 2004). Este impasse é antigo mas sua magnitude e intensidade vêm aumentando, devido à adoção de práticas de manejo e procedimentos de correção inadequados. Estima-se que pelo menos três hectares potencialmente aráveis são perdidos a cada minuto em todo o mundo, em virtude dos processos de salinização e sodificação (Keiffer & Ungar, 2002).

Os solos resultam do processo de intemperização química, que implica em reações de hidrólise, hidratação, dissolução, oxidação e carbonatação, em que os constituintes são liberados gradualmente e se tornam solúveis. A água subterrânea transporta e acumula os produtos solúveis das reações de intemperização, transferindo sais solúveis de uma área para outra, desempenhando importante papel na salinização e sodificação dos solos, condicionado por condições climáticas, cuja precipitação pluviométrica é sempre inferior à evapotranspiração (Richards, 1954; Ferreira, 2002).

No Brasil, os solos salinos e sódicos ocorrem no Rio Grande do Sul, no Pantanal Mato-Grossense e, predominantemente, na região semiárida do Nordeste ou, mais especificamente, nos perímetros irrigados encontrados nos polígonos das secas, que perfazem 57% da área total da região semiárida (Gupta & Abrol, 1990; Ribeiro et al., 2003).

10.2.1 Pedogênese dos solos afetados por sais – classes de solos

As teorias clássicas sobre a formação e evolução dos solos afetados por sais foram atribuídas, geralmente, ao cientista russo K. K. Gedeoits em 1927 e, posteriormente, melhoradas por C. E. Kellog e outros cientistas americanos, na década de 1930 (Fanning & Fanning, 1989).

Desta forma, a salinização, solonização e solodização são processos pedogenéticos sequenciais relacionados com a formação, evolução e degradação dos solos salinos e sódicos, embora estudos mais recentes confirmem que o desenvolvimento da sodicidade pode também ocorrer independentemente de um estágio prévio de salinização, pela passagem direta do Na para as superfícies coloidais, a partir do intemperismo de minerais ricos em sódio, em condições de drenagem deficiente (Wilding et al., 1963).

A salinização dos solos pode ser originada por diversos fatores, como: altas taxas de evaporação e baixa precipitação pluviométrica, associadas às características do material de origem e às condições de relevo, que condicionam a formação de solos com teores elevados de sais solúveis e sódio trocável (Montenegro et al., 2001). Além das causas naturais o homem pode induzir ou incrementar a salinização do solo, principalmente com o uso de água salina na irrigação e com a elevação do lençol freático, pelo excesso de irrigação associado a uma drenagem insuficiente nos solos de baixa condutividade hidráulica (Montenegro & Montenegro, 2004).

A quantidade de Na^+ do complexo de troca começa a ser relevante quando este cátion constitui a metade ou mais de sais dissolvidos no solo. Nessas condições, o Ca^{+2} e Mg^{+2} , por serem menos solúveis, se precipitam à medida em que a solução do solo se concentra em consequência da evapotranspiração, deixando o Na^+ como principal cátion na solução do solo.

O processo da passagem do Na^+ para o complexo de troca se chama solodificação e constitui a primeira etapa do processo de sodificação levando à formação dos solos salino-sódicos (Camargo et al., 1987). O efeito dos sais sobre o solo ocorre, basicamente, pela interação eletrolítica existente entre os sais e a argila. A intensidade deste fenômeno depende da natureza da argila e do cátion presente. A característica principal deste efeito é a dispersão da argila em virtude da predominância de cargas negativas, de íons de sódio e das forças repulsivas na dupla camada difusa. Este fenômeno reduz a floculação e a estabilidade de agregados do solo reduzindo sua porosidade, capacidade de retenção e infiltração de água no solo (Lima, 1997).

A solodização é o processo de lavagem que promove a dessalinização e não se limita somente à lixiviação dos sais solúveis mas pode continuar hidrolisando o sódio do complexo de troca (Ribreiro, 2010). Este sódio vai sendo substituído gradualmente pelo hidrogênio, no complexo de troca em quantidades sempre crescentes e termina por modificar a reação do solo, de alcalina para ácida.

10.2.2 Características químicas e física dos solos afetados por sais

No Brasil, os solos degradados por sais ocupam extensas áreas, caracterizam por apresentar atributos físicos e químicos desfavoráveis, principalmente elevada

concentração de sais solúveis e de sódio trocável, baixa permeabilidade e elevada densidade global. A classificação de solos afetados por sais é baseado nas características propostas por Richards (1954), de acordo com as características de Condutividade Elétrica do extrato de saturação (CEs) e Percentagem de Sódio Trocável (PST). Em virtude da propriedade dos íons em solução conduzir a corrente elétrica, a condutividade elétrica do extrato de pasta de saturação é o mais rápido e simples método para se estimar o total de sais solúveis do solo, tendo em vista que a condução da corrente elétrica é diretamente proporcional à quantidade de íons em solução (Donahue et al., 1997); além de que a PST representa o percentual de Na^+ em relação à capacidade total de troca de cátions (ETc) e é calculada pela Eq. (10.1)

$$\text{PST} = \frac{\text{Sódio Trocável}}{\text{CTC}} \cdot 100 \quad (10.1)$$

Uma grande diferença que existe entre solos afetados por sais e solos considerados normais, é a presença elevada de sais solúveis na solução do solo e/ou de sódio trocável no complexo de troca; em razão disto, na determinação dos cátions trocáveis há necessidade de se subtrair, dos “cátions extraíveis”, os solúveis.

Os procedimentos de extração dos cátions trocáveis com fins de diagnóstico de sodicidade do solo, diferem dos procedimentos adotados para análise de fertilidade do solo. Sugere-se utilizar outros extratores em maior proporção em relação à alíquota do solo; por exemplo, para a extração de Na e K utiliza-se acetato de amônio 1N pH 7,0 na proporção de 1:10, para Ca e Mg, cloreto de potássio a 1N pH 7,0 na proporção de 1:15 e, para Al+H, acetato de cálcio pH 7,0 na proporção 1:20 (EMBRAPA, 1997). Além disso, há necessidade de se determinar os cátions solúveis na solução do solo obtidos no extrato da pasta de solo saturado. Assim, os cátions trocáveis (CT) são obtidos pela Eq. (10.2)

$$\text{CT} = \text{CEx} - \frac{\text{CS.US}}{10} \quad (10.2)$$

em que,

CT - cátion trocável, em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$

CEx - cátion extraível, solúvel + trocável, em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$

CS - cátion solúvel, medido no extrato de saturação do solo, em $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de extrato

US - umidade de saturação do solo, em g g^{-1}

Três grupos de solo halomórfico são definidos em função desses parâmetros pelo Richards (1954), mais conhecidos a partir de 1963 como solos salinos, salinos-sódicos e sódicos.

10.2.3 Solos salinos

Os solos salinos derivados de rochas detríticas, quer de salinidade moderada quer de salinidade elevada, apresentam $CEes \geq 4 \text{ dS m}^{-1}$ e a $PST \leq 15 \%$. Esses solos são denominados “Solonchaks” nos antigos sistemas de classificação taxonômica e no sistema atual do World Reference Base for Soil Resouces (WRB) possuem, no horizonte superficial, uma acumulação de sais solúveis de sódio, cálcio, magnésio e potássios, principalmente cloretos e sulfatos e alguns carbonatos e bicarbonatos que, às vezes, se concentram na superfície, por capilaridade, sob a forma de uma crosta branca.

No complexo de troca predominam com frequência o cálcio e o magnésio sobre o sódio, pelo que o pH raramente sobe acima de 8,5. A elevada concentração de sais evita a dispersão dos coloides, não sendo por isso inteiramente desfavorável a estrutura do solo (Santos et al., 2010).

Os solos salinos apresentam, como características físico-hídricas, baixa permeabilidade, baixa condutividade hidráulica e instabilidade dos agregados. Em locais de clima semiárido é comum a ocorrência de solos com elevadas concentrações de sais, embora alguns deles se apresentem salinizados, independente da ação do homem, ou seja, são salinos por natureza.

Atualmente, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) a salinidade é considerada no caráter sálico ($CEes \geq 7 \text{ dS m}^{-1}$, a 25°C) e não sálico ($4 < CEes < 7 \text{ dS m}^{-1}$, a 25°C), utilizados para separar classes nos segundo, terceiro e quarto níveis categóricos (EMBRAPA, 2006).

10.2.4 Solos salino-sódicos

Os solos salino-sódicos possuem altas concentrações de sais solúveis e altos níveis de sódio trocável. Apresentam condutividade elétrica do extrato de saturação ($CEes$) $\geq 4 \text{ dS m}^{-1}$, $PST > 15\%$ e pH em torno de 8,5. Devido ao excesso de sais esses solos são de difícil manejo e sua recuperação é mais viável com uso de práticas físicas de manejo, corretivos, seguidos de lavagens e drenagem para lixiviação dos sais do ambiente radicular.

Mencionados solos foram classificados como Solonchak-Solonetzico nos antigos sistemas de classificação taxonômica (Camargo et al., 1987).

Esses solos são comuns nos perímetros irrigados do semiárido paraibano, apresentam problemas na fertilidade em razão da concentração excessiva de sódio solúvel e trocável que acrescenta uma dificuldade específica no manejo desses solos e o pH elevado, que variam de 8,5 a 11, esta, com influência direta e indireta na disponibilidade de nutrientes (Santos et al., 2010).

10.2.5 Solos sódicos

Os solos sódicos, denominados Solonetz (Camargo et al., 1987) nos antigos sistemas de classificação taxonômica, podem evoluir de um solo salino-sódico, através de drenagem natural ou artificial, que provocam a lixiviação dos sais, ficando apenas o solo sódio no complexo de troca do solo. Tais solos se caracterizam por possuírem

percentagem de sódio trocável (PST) superior a 15%, condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) abaixo de 4 dS m^{-1} a 25°C e pH variando entre 8,5 a 10. Em geral, possuem alto índice de dispersão das argilas na superfície, apresentando aspecto característico (de pó) desestruturado e a matéria orgânica mineralizada, depositada na superfície, ocasionando o aparecimento de manchas escuras, justificativas do termo “álcali negra”. A solonetz pode evoluir para o Solonetz Solodizado, ainda considerada sódico, por meio de uma lavagem superficial do Na, tornando o solo menos alcalino e formando horizontes A e E sobre um Bt_n mais profundo e sódico (Fanning & Fanning, 1989).

O SiBCS considera dois níveis de sodicidade para a separação de classes: o caráter sódico ($\text{PST} \geq 15\%$ e o caráter solódico ($6\% < \text{PST} < 15\%$) (EMBRAPA, 2006).

10.2.6 Solos salinos e sódicos no sistema brasileiro de classificação de solos

No Brasil, o sistema utilizado para a classificação de solos (SiBCS) referente à tendência mundial, adotou definição de atributos e horizontes diagnósticos visando à diferenciação das diferentes classes. Visto que os solos halomórficos não constituem uma classe individualizada no 1º nível categórico, a salinidade e a sodicidade separam classes em níveis hierárquicos mais baixos de diversa ordens do sistema, com base nos seguintes atributos diagnósticos (EMBRAPA, 2006):

Caráter salino: Propriedade referente à presença de sais mais solúveis em água fria que o $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, em quantidades expressas por $\text{CE} > 4$ e $\leq 7 \text{ dS m}^{-1}$;

Caráter sálico: Propriedade relativa à presença de sais mais solúveis em água fria que $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, em quantidades expressas por $\text{CE}_{\text{es}} \geq 7 \text{ dS m}^{-1}$;

Caráter solódico: Termo usado para distinguir horizontes ou camadas que apresentam PST variando de 6 a 15%;

Caráter sódico: Termo usado para distinguir horizontes ou camadas que apresentam $\text{PST} \geq 15\%$.

Esses atributos estão relacionados aos 120 cm do perfil e são utilizados para diferenciar classes nos 2º, 3º e 4º níveis categóricos, na dependência da importância desses processos na formação dos solos e do nível de restrição imposto ao desenvolvimento das plantas e ao movimento da água.

Altos níveis de salinidade e sodicidade representados pelos termos sálico e sódico, são utilizados, preferencialmente, nos níveis de subordem e grande grupo. Ocorrem naturalmente relacionados com a formação de classes de solos como Planossolos, Neossolo Flúvico, Vertissolos, Gleissolos e Cambissolos normalmente relacionadas com baixas posições do relevo e apresentam subordens e grandes grupos formados sob condições de deficiência de drenagem e semiaridez, como nos seguintes exemplos: Planossolo Háptico Sálico e Vertissolo Háptico Sódico ou Sálico.

Com relação aos níveis moderados de salinidade e sodicidade, os termos utilizados são salino e o solódico, que servem para separar classes no quarto nível de várias classes de solo, como, por exemplo: Neossolo Regolítico Eutrófico solódico e Argissolo Amarelo Eutrófico solódico.

10.3 QUALIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

Partindo-se do princípio de que todas as águas contêm sais, mesmo utilizando águas para irrigação que apresentam reduzidas concentrações, existe certo potencial de salinização em condições de chuvas insuficientes e/ou drenagem deficiente. Normalmente, em regiões áridas e semiáridas as águas superficiais e subterrâneas apresentam maior concentração salina do que em regiões úmidas e subúmidas, o que se vai somar aos problemas de salinização e sodificação do solo, que já podem ocorrer naturalmente (Medeiros, 1998). O conceito de qualidade da água refere-se às características passíveis de afetar as necessidades do usuário, definidas por uma ou mais propriedades físicas, químicas e/ou biológicas. Assim, uma água pode ser considerada de melhor qualidade se produzir melhores resultados (Figueirêdo, 2008).

Ayers & Westcot (1999) conceituam a qualidade da água levando em conta as características que podem afetar sua adaptabilidade para um uso específico, ou seja, a relação entre a qualidade da água e sua finalidade de uso.

A variação na composição e qualidade das águas destinadas à irrigação depende da zona climática, fonte da água, trajeto percorrido, época do ano, geologia da região e manejo adotado na irrigação (Cruz et al., 2003). Pode variar significativamente de um lugar para outro e com o tempo. Os sais se encontram em quantidades relativamente pequenas porém significativas tendo origem na intemperização das rochas e dissolução lenta do gesso, calcário e de outros minerais.

Nas regiões áridas e semiáridas, o aumento da demanda da população por água tem levado à utilização da maioria das fontes de boa qualidade disponível obrigando a utilização de águas que apresentem níveis de salinidade mais elevados. No nordeste brasileiro a maioria das fontes de água disponíveis para irrigação, como os grandes açudes, apresenta boa qualidade (Medeiros, 1992), porém um grande número de fontes de água existente de qualidade inferior com bom volume de água disponível e custo de obtenção mais barato, podem viabilizar o aumento da área irrigada na região, como é o caso de poços que exploram o aquífero situado em rochas calcárias.

Existem amplas evidências em todo o mundo, de que águas de alta salinidade, classificadas inadequadas para irrigação, podem ser usadas na irrigação de várias culturas selecionadas sob certas condições (Rhoades et al., 2000). Por outro lado, a utilização indiscriminada de águas com concentração elevada de sais pode salinizar os solos, comprometendo a produção das culturas.

Para se determinar a viabilidade do uso de determinada água de irrigação, deve-se levar em consideração sua concentração e composição química, a tolerância das culturas aos sais, as propriedades físicas e químicas do solo, as práticas de manejo do solo, água e culturas, as condições climáticas, o método de irrigação e as condições de drenagem (Medeiros, 1998).

10.3.1 Características da água de irrigação

As características principais que determinam a qualidade da água de irrigação, são: a) concentração total de sais solúveis; b) proporção relativa de sódio e de

outros cátions; c) concentração de elementos tóxicos, como o boro, o cloreto e o sódio e d) concentração de bicarbonatos relacionados com cálcio e magnésio (Cruciani, 1987). Além dessas características, Bernardo et al. (2005) acrescentam o aspecto sanitário e o aspecto de entupimento de emissores (irrigação localizada).

Para que se possa fazer a interpretação correta da qualidade da água para irrigação, os parâmetros analisados devem estar relacionados com seus efeitos no solo, nas culturas e no manejo da irrigação, os quais serão necessários para controlar ou compensar os problemas relacionados com a qualidade da água (Bernardo et al., 2005).

A qualidade da água é avaliada dependendo das circunstâncias de uso. Para irrigação se avaliam o potencial da água em causar salinização, a redução na capacidade de infiltração da água no solo, a concentração elevada de íons específicos (Cl, Na e B) que causam toxicidade nas plantas e os efeitos indiretos como aqueles que provocam problemas nutricionais nas plantas.

Efeitos na redução da infiltração de água nos solos ocorrem devido ao alto teor de sódio em relação aos de cálcio e magnésio, definidos pela relação de adsorção de sódio (RAS) associado a baixa salinidade, que provocam dispersão das partículas coloidais obstruindo os poros do solo.

Normalmente, a toxicidade é provocada pelos íons cloreto, sódio e boro; entretanto, muitos outros oligoelementos são tóxicos às plantas, mesmo em pequenas concentrações.

Em ambientes salinos o NaCl é o sal predominante e também aquele que causa maiores danos às plantas. Os efeitos sobre a nutrição mineral são decorrentes sobretudo da toxicidade dos íons em razão da absorção excessiva do Na⁺ e Cl⁻ e do desequilíbrio nutricional causado por distúrbios na absorção e distribuição dos nutrientes. Os excessos de Na⁺ e, em especial, de Cl⁻ no protoplasma, ocasionam distúrbios em relação ao balanço iônico além dos efeitos específicos desses íons sobre as enzimas e membranas celulares (Flores, 1990).

Esses efeitos acontecem quando as plantas absorvem os sais do solo, juntamente com a água, permitindo que haja toxidez na planta por excesso de sais absorvidos. Este excesso promove, então, desbalanceamento e danos ao citoplasma, resultando em danos principalmente na bordadura e no ápice das folhas, a partir de onde a planta perde, por transpiração, quase que tão somente água havendo, nessas regiões, acúmulo do sal translocado do solo para a planta e, obviamente, intensa toxidez de sais.

A presença de um íon em excesso poderá provocar deficiência ou inibir a absorção de outro íon, devido à precipitação. Por exemplo, o excesso de sulfato, carbonato e bicarbonato, poderá precipitar o cálcio e afetar o crescimento da planta pela falta do elemento precipitado e não pelo excesso de outro íon.

Outro efeito indireto é o excesso de sódio trocável no solo, que provoca condições físicas desfavoráveis para o crescimento das plantas, sobretudo para o desenvolvimento do sistema radicular. A presença de sais de sódio também tende a restringir a taxa de mineralização do nitrogênio (N) já que, com o aumento de sua

concentração no solo, em geral a mineralização do N orgânico é reduzida, afetando o crescimento da planta, pela redução do N disponível e não pelo excesso de sódio.

Larcher (2002) reforça que quando o conteúdo de NaCl no solo é alto a absorção de nutrientes minerais, especialmente o NO_3^- , K^+ e Ca^{2+} , é reduzida. O efeito antagonico de íons de Cl^- e de Na^+ é bastante conhecido, sendo de fundamental importância para aumento na eficiência da aplicação de fertilizantes. A presença excessiva de íons de Cl^- na solução do solo favorece o desbalaceamento nutricional pela deficiência de íons NH_4^+ , uma vez que reduz a absorção de NO_3^- e SO_4^{2-} , enquanto o excesso de íons de Na^+ inibe a absorção de NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , e K^+ .

Com relação ao excesso de Cl^- nos tecidos vegetais, pode reduzir a entrada de NO_3^- e, conseqüentemente, uma diminuição considerável na disponibilidade de NO_3^- nas folhas. As plantas podem responder ao estresse salino de diferentes formas, dentre as quais se pode destacar a redução na assimilação de nitrogênio e biossíntese de aminoácidos (Flores et al., 2000).

10.3.2 Classificação da qualidade da água para irrigação

Vários autores têm proposto esquemas de classificação da água para irrigação. Davis & DeWiest (1966) sugeriram um esquema de classificação com um diagrama apresentando a composição iônica da água de irrigação em escala percentual, em função das concentrações de cálcio, magnésio e da soma de sódio e potássio e, ainda, pelos ânions cloretos, sulfatos e soma dos carbonatos com bicarbonatos. Shalhevet & Kamburov (1976) efetuaram extensivo levantamento de diferentes esquemas de classificação usados em todo o mundo e verificaram que a maioria deles é baseada na razão de adsorção de sódio (RAS) e na condutividade elétrica (CE). Laboratórios de alguns países incluem boro em sua classificação de águas, para o mesmo fim; outros os associam às características e propriedades físicas e químicas dos solos em que as águas vão ser utilizadas.

Atualmente, tem-se recomendado a classificação proposta pelo Comitê de Consultores da Universidade da Califórnia, que é menos rigorosa. A classificação proposta pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos da América é a mais utilizada no Brasil para classificar as águas destinadas à irrigação. De acordo com Richards (1954), baseia-se, na condutividade elétrica (CE), que indica o risco de salinidade, e na razão de adsorção de sódio (RAS) como indicador de sodicidade. As águas se dividem em quatro classes, de acordo com a concentração total de sais solúveis (C_1 , C_2 , C_3 e C_4), cada qual representando condutividades elétricas de 0-0,25; 0,25-0,75; 0,75-2,25; 2,25-4,00 dS m^{-1} , respectivamente. Quanto à sodicidade, as águas são classificadas também em quatro classes (S_1 , S_2 , S_3 e S_4), cada uma separada em função da RAS e da CE, da seguinte forma: $S_1 - \text{RAS} < 18,87 - 4,44 \cdot \log \text{CE}$, $S_2 - 18,87 - 4,44 \cdot \log \text{CE} < \text{RAS} < 31,31 - 6,66 \cdot \log \text{CE}$, $S_3 - 31,31 - 6,66 \cdot \log \text{CE} < \text{RAS} < 43,75 - 8,87 \cdot \log \text{CE}$ e $S_4 - \text{RAS} > 43,75 - 8,87 \cdot \log \text{CE}$.

A FAO recomenda a classificação proposta pela University of California Committee of Consultants (1974), divulgada por Ayers & Westcot (1999), cujas diretrizes levam

em consideração o estudo do grau de restrição no uso de águas com problemas potenciais para salinização do solo, redução de infiltração de água no solo, toxicidade de íons específicos e outros problemas (Tabela 10.1). As informações contidas nesta tabela apenas alertam para o grau de restrições, ou seja, se há necessidade de se tomar medidas mais complexas ou não, para evitar as consequências da salinização ou não.

Segundo Rhoades et al. (2000), a utilização das águas para irrigação depende das condições de uso, incluindo-se culturas, clima, solos, métodos de irrigação e práticas de manejo o que torna as classificações de água, quanto à salinidade não aconselhada para avaliar a adequabilidade da água de irrigação. No entanto, esses autores sugerem que, com o propósito de identificar os níveis de salinidade de água, é necessário dispor de um esquema de classificação sugerindo-a em termos de concentração de sais expressos em condutividade elétrica e o tipo de água correspondente dentro das classes: água não salina – $CE < 0,7 \text{ dS m}^{-1}$, ligeiramente salina – CE entre $0,7$ e $2,0 \text{ dS m}^{-1}$,

Tabela 10.1 Diretrizes para interpretar a qualidade da água de irrigação

Problema potencial	Unidade	Grau de restrição de uso		
		Nenhuma	Ligeira e moderada	Severa
Salinidade (Afeta a disponibilidade de água para a cultura):				
CEa	dS m^{-1}	$< 0,7$	$0,7 - 3,0$	$> 3,0$
SDT	mg L^{-1}	< 450	$450 - 2000$	> 2000
Infiltração (Avaliada usando-se CE a e RAS conjuntamente):				
RAS* = $0 - 3$ e CE =		$> 0,7$	$0,7 - 0,2$	$< 0,2$
3 - 6		$> 1,2$	$1,2 - 0,3$	$< 0,3$
6 - 12		$> 1,9$	$1,9 - 0,5$	$< 0,5$
12 - 20		$> 2,9$	$2,9 - 1,3$	$< 1,3$
20 - 40		$> 5,0$	$5,0 - 2,9$	$< 2,9$
Toxicidade de íons específicos (Afeta culturas sensíveis):				
Sódio (Na^+)				
Irrigação superficial	RAS	< 3	$3 - 9$	> 9
Irrigação por aspersão	$\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$	< 3	> 3	
Cloroeto (Cl^-)				
Irrigação superficial	$\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$	< 4	$4 - 10$	> 10
Irrigação por aspersão	$\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$	< 3	> 3	
Boro (B)	mg L^{-1}	$< 0,7$	$0,7 - 3,0$	$> 3,0$
Outros (culturas sensíveis)				
Nitrogênio ($\text{NO}_3^- - \text{N}$)	mg L^{-1}	$< 5,0$	$5 - 30$	> 30
Bicarbonato (HCO_3^-) (aspersão convencional)	$\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$	$< 1,5$	$1,5 - 85$	$> 8,5$
pH	Faixa normal: $6,5 - 8,4$			

Fonte: Ayers & Westcot (1991).

* RAS = $\text{Na}^+ / (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}/2)^{1/2}$, concentração de Ca^{++} na água em equilíbrio com solução do solo em sua superfície

moderadamente salina – CE entre 2 e 10 dS m⁻¹, altamente salina – CE entre 10 e 25 dS m⁻¹ e excessivamente salina – CE entre 25 e 45 dS m⁻¹.

A tendência atual é desenvolver modelos capazes de prognosticar os riscos de salinização e/ou sodificação a partir de dados meteorológicos do local e as características do solo, água e cultura a serem utilizadas. No Brasil, essa linha de pesquisa ainda é pouca estudada. Os técnicos da CODEVASF elaboraram um mapa de riscos relativos de salinização para a bacia do rio São Francisco, através de dados climatológicos (evapotranspiração e precipitação) e da qualidade da água disponível para irrigação. Por outro lado, a Universidade Federal da Paraíba tem verificado, no solo, com base no balanço de sais, boas correlações entre os resultados simulados e os experimentais obtidos em cultivo de banana (Santos, 1997), fato também constatado em plantio de melão em Mossoró, RN (Costa, 1999). Sob condições de ambiente protegido, Medeiros (1998) constatou que em termos médios a salinidade simulada ficou próxima da medida (Tabela 10.5), divergindo apenas na evolução, ao longo do tempo. O valor médio simulado, 15 a 20% acima do valor medido, pode ser atribuído à posição das coletas das amostras de solo, feitas na região central do bulbo, onde a salinidade tendeu a ser menor.

Segundo Rhoades & Loveday (1990), a adequabilidade de uma água de irrigação vinha sendo avaliada levando-se em conta as condições específicas de uso, incluindo o desenvolvimento das culturas, propriedades do solo, manejo da irrigação, práticas culturais e fatores climáticos. No entanto, o método mais recomendado para se avaliar a adequabilidade de uma água de irrigação consiste de: (i) predizer a composição e o potencial matricial da água do solo, no tempo e no espaço, resultante da irrigação e do cultivo e (ii) interpretar tais informações em termos de como as condições do solo são afetadas e como a cultura responde a tais condições sob determinadas variáveis climáticas.

Segundo Rhoades et al. (2000), as condições de equilíbrio não ocorrem na maioria das situações encontradas na agricultura irrigada; neste caso, são necessários modelos dinâmicos complexos (Bresler & Hoffman, 1986; Letey & Dinar, 1986; Bresler, 1987; Letey et al., 1990, entre outros) para se levar em conta as variáveis climáticas, culturas, solos, água, atmosfera, manejo de irrigação e tempo, relacionando-se as variáveis que influenciam o potencial total da água e seus componentes. Apesar disto, geralmente, a maioria dos dados de entrada requeridos por esses modelos não está disponível para muitas aplicações práticas e existem várias incertezas a respeito de como relacionar a resposta das culturas à salinidade e ao potencial matricial variável no tempo e espaço, tal como pode ser previsto através desses modelos, motivo pelo qual, modelos conceitualmente simplificados, como os existentes para condições de equilíbrio, podem ser mais apropriados para avaliar a adequabilidade da água de irrigação visto que, provavelmente, eles fornecem a pior situação que resultaria da irrigação com determinada água.

Assim, Rhoades & Loveday (1990) e Rhoades et al. (2000) recomendam um modelo para condições de equilíbrio relativamente simples, desenvolvido por Rhoades & Merrill (1976). A sequência básica é a seguinte: (1) prever a salinidade, sodicidade e

a concentração de íons tóxicos da água do solo em uma zona radicular simulada, resultante do uso da água de irrigação de dada composição, aplicada com uma fração de lixiviação específica e (2) avaliar o efeito deste nível de salinidade (ou concentração iônica) no rendimento da cultura e do nível de sodicidade sobre a permeabilidade do solo. Também existe uma versão deste modelo, com mais sofisticação, em forma de programa para computador, denominado “Watsuit” (Rhoades & Merrill, 1976).

Medeiros & Gheyi (1997) apresentaram um procedimento para cálculo em planilha eletrônica para simular a salinidade no perfil do solo visando às condições de equilíbrio, assumindo a precipitação do CaCO_3 na solução do solo mas não corrigindo os pares iônicos e complexações iônicas, o que pode gerar erros, embora poucos significativos. Este procedimento apresenta boa precisão para as águas do Brasil, haja vista serem as mesmas, em sua grande maioria, pobres em SO_4^{2-} , não havendo formação de precipitados de sulfato de cálcio. A mesma planilha utiliza um procedimento sugerido por Suarez (1981), que é o cálculo da RAS ajustada ou corrigida (RASaj ou RAS_c) para prever potenciais problemas de infiltração em virtude da alta concentração de Na ou baixa concentração de Ca na água de irrigação, e também estimar a sodicidade do solo no seu perfil, a partir da RASaj.

10.3.3 Qualidade da água no nordeste brasileiro

As águas naturais no Brasil, sobretudo na região semiárida, que tem as águas com maiores teores de sais, apresentam composição que varia com a concentração total de sais, geologia local e tipo de fonte de água. De forma geral, as águas de salinidade alta são cloretadas-sódicas (Leprun, 1983; Medeiros, 1992). Exceção se faz para as águas subterrâneas, pois a geologia local é o principal fator determinante. Por exemplo, água de poços que exploram o aquífero calcário Jandaíra é rica em cálcio e bicarbonatos, embora em águas de $\text{CE} > 2,0$ tenda a predominar o cloreto entre os ânions, e o sódio tende a se equiparar ao cálcio (Medeiros et al., 2003).

Diferente de parte das águas dos Estados Unidos, as águas do semiárido brasileiro apresentam baixas concentrações de sulfato, exceto algumas águas subterrâneas onde ocorrem rochas gipsíferas. A Tabela 10.2 apresenta a composição de águas características do nordeste do Brasil e, na Tabela 10.3, é apresentada a CE média de águas utilizadas na irrigação na região de Mossoró, RN, por localidade e em diferentes épocas. Nas Tabelas 10.4 e 10.5 se encontram equações que relacionam concentração iônica com a concentração total expressa em condutividade elétrica para duas formações geológicas. A grande diferença verificada entre as formações geológicas com relação a sua composição, é que nas águas de origem calcária essas formações tendem a apresentar elevados teores de cálcio, com valores relativamente menores para os teores de sódio, diferente das águas provenientes do cristalino nas quais o cátion sódio tende a predominar em relação ao cálcio, sobretudo para água com CE superior a $0,7 \text{ dS m}^{-1}$.

Dos mananciais disponíveis para irrigação no nordeste do Brasil, somente parte das águas superficiais da região agreste e das águas subterrâneas tende a apresentar salinidade superior a $0,7 \text{ dS m}^{-1}$; Águas com CE superior a $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ ocorrem apenas

Tabela 10.2 Composição química de águas utilizadas para irrigação no semiárido do Brasil

Fonte – Local	pH	CE (dS m ⁻¹)	Cátions (mmol _c L ⁻¹)				Ânions (mmol _c L ⁻¹)			
			Ca	Mg	Na	K	Cl	HCO ₃	CO ₃	SO ₄
Barragem de Pau dos Ferros, RN	8,2	0,49	1,55	1,30	2,02	0,22	2,40	2,45	0,00	-
Barragem de Assu – São Rafael, RN	8,1	0,29	0,95	0,80	1,01	0,13	1,60	1,60	0,00	-
Açude São Gonçalo – Sousa, PB	7,1	0,24	1,05	0,80	0,61	0,20	0,65	1,85	0,00	-
Rio S. Francisco – Petrolina, PE	-	0,07	0,40	0,25	0,25	0,00	0,38	0,63	0,00	0,17
Rio Açu – Ipangaçu, RN	7,8	0,27	0,80	0,62	1,05	0,10	0,87	1,70	0,00	0,07
Açude pequeno – Pombal, PB	7,7	0,28	0,87	0,52	1,23	0,10	0,99	1,78	0,00	0,06
Poço amazonas – Angicos, RN	7,6	4,80	8,97	12,06	28,01	0,30	43,72	3,12	0,32	1,13
Poço amazonas – Condado, PB	8,1	0,53	1,88	1,04	3,07	0,07	3,17	2,25	0,15	0,11
Poço tubular – Mossoró, RN	7,2	3,11	13,5	4,10	8,10	0,10	17,80	6,20	0,00	-
Poço tubular – Baraúnas, RN	6,7	1,53	8,50	3,60	4,69	0,10	6,10	9,60	0,00	1,10
Poço tubular – Baraúnas, RN	6,7	1,10	7,20	2,60	2,26	0,10	4,10	6,30	0,00	-
Rio Mossoró – Mossoró, RN	8,1	0,82	3,10	2,75	3,15	0,10	5,63	2,81	0,36	0,46

Tabela 10.3 Condutividade elétrica média (dS m⁻¹) de águas oriundas do aquífero calcário Jandaíra, utilizadas em irrigação na região de Mossoró, RN, por localidade, em diferentes épocas de coleta

Localidade	Épocas				Média
	1ª coleta Jul/05	2ª coleta Dez/05	3ª coleta Jul/06	4ª coleta Dez/06	
	dS m ⁻¹				
Gangorra	3,37±0,90 [#]	3,13±0,56	3,11±0,59	3,27±0,55	3,22
Califórnia	2,32±1,06	3,07±0,45	2,30±0,80	3,51±0,57	3,07
Pau branco	2,11±0,29	2,00±0,21	2,15±0,29	2,16±0,29	2,10
Posto Fiscal	1,76±0,59	1,75±0,58	1,82±0,58	1,76±0,32	1,72
Mata Fresca	1,71±0,08	1,26±0,09	1,75±0,05	1,78±0,09	1,74
Baraúna	1,26±0,10	1,30±0,07	1,23±0,06	1,26±0,05	1,27

[#] Média ± desvio padrão

Fonte: Alencar (2007)

em mananciais de vazão ou volume disponível pequenos e em áreas costeiras que tentam influência do mar.

Na principal área de irrigação privada no semiárido brasileiro que compreende a região produtora de melão no Estado do Rio Grande do Norte, a água provinda de poços artesianos profundos (poços com cerca de 1000 m de profundidade) apresenta boa qualidade (CE entre 0,5 e 0,7 dS m⁻¹); entretanto, devido ao alto custo de obtenção, impossibilitava o uso pelos pequenos produtores, e há mais de dez anos a maioria dos grandes produtores que a utilizavam substituíram por água de outro tipo de fonte de água. Atualmente, apenas uma parcela dos grandes produtores utiliza uma parte de sua água de poços profundos com o objetivo de misturar as águas mais salinas de poços rasos abertos no calcário Jandaíra, o que apresenta custo consideravelmente menor, visto que a de Jandaíra passou a ser a principal

Tabela 10.4 Relação entre diferentes características da água de irrigação e CE para águas coletadas em jul/2005 e dez/2006, na região de Mossoró, RN

Relação	Primeira coleta (jul/05)		Quarta coleta (dez/06)	
	Equação	R ²	Equação	R ²
(Ca+Mg) x CE	$y = 6,44x + 2,53$	0,761	$y = 5,94x + 2,55$	0,971
Ca x CE	$y = 4,16x + 2,54$	0,848	$y = 3,55x + 3,12$	0,932
Na x CE	$y = 4,71x - 4,60$	0,722	$y = 3,04x - 0,80$	0,698
Cl x CE	$y = 11,13x - 9,66$	0,942	$y = 11,47x - 10,70$	0,993
RAS x CE	$y = 0,60x + 0,69$	0,523	$y = 0,60x + 0,69$	0,523
RASc x RAS	$Y = 1,35x + 0,05$	0,986	$y = 1,42x - 0,04$	0,980

Fonte: Alencar (2007)

Tabela 10.5 Equações empíricas entre condutividade elétrica (CE) e os principais constituintes químicos de águas usadas na irrigação, em área do cristalino nordestino

Relação ¹	Equação	R ²
RES (mg L ⁻¹) x CE	$RES = -13,6 + 643.CE$	0,980
Soma de cátions x CE	$SCAT = -0,10 + 10,5.CE$	0,987
Ca+Mg x CE	$Ca+Mg = 4,43.CE^{0,906}$	0,903
Na x CE	$Na = 0,69 + 6,41.CE$	0,930
Cl x CE	$Cl = -2,38 + 8,97.CE$	0,962

CE expressa em dS m⁻¹; RES – Resíduo seco, em mg L⁻¹; concentração iônica, em mmol L⁻¹¹ As relações são provenientes de 557 pares de dados oriundos do Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Nordeste (Medeiros, 1992), com CE média de 1,1 dS m⁻¹

fonte de água para irrigação na área da Chapada do Apodi, entre os estados do Rio Grande do Norte e Ceará; entretanto, esta fonte de água apresenta níveis elevados de sais (Tabela 10.3), podendo causar a salinização dos solos e prejudicar o rendimento das culturas, caso em que sua utilização fica condicionada à tolerância das culturas à salinidade e ao manejo da irrigação, com vistas ao controle da salinização das áreas.

Nos grandes perímetros de irrigação pública existentes no Nordeste do Brasil, a água de irrigação é proveniente de grandes barragens cuja salinidade é de baixa a média (CE < 0,7 dS m⁻¹), mas tem o inconveniente de apresentar concentrações de bicarbonatos superiores às do cálcio, que se equiparam a do sódio. Como consequência disto e com a falta de lixiviação dos sais devido a má drenagem, os solos tendem a acumular sódio em detrimento do cálcio que é precipitado, deixando os solos sódicos. Como exemplo, tem-se os solos dos perímetros irrigados do Itans no estado do RN e de São Gonçalo na PB verificando-se, em levantamentos realizados com o objetivo de se mapear as áreas afetadas por sais, maior percentual de área como sendo de solos sódicos.

Atualmente, não existe, definido, um padrão de classificação das águas da região Nordeste do Brasil mas, para a região de Mossoró, onde se tem desenvolvido uma série de trabalhos de pesquisa objetivando ao levantamento das características das

águas e seus efeitos no solo, no crescimento e no desenvolvimento das plantas, tem-se obtido algumas aproximações sobre a classificação das águas da região.

Simulando a salinidade do solo para as condições de equilíbrio e se considerando o manejo da irrigação para métodos convencionais e de alta frequência, conforme metodologia descrita por Medeiros et al. (2009), e a composição média das águas provenientes do aquífero calcário Jandaíra da região de Mossoró, RN, pode-se classificar ou estabelecer sua CE máxima possível de se utilizar em diferentes culturas, conhecendo-se sua salinidade limiar e a fração de lixiviação que será adotada (Figura 10.1). Esses valores simulados estão próximos dos observados em pesquisas realizadas com algumas culturas na região (Figueirêdo, 2008; Carmo, 2009; Costa, 2011).

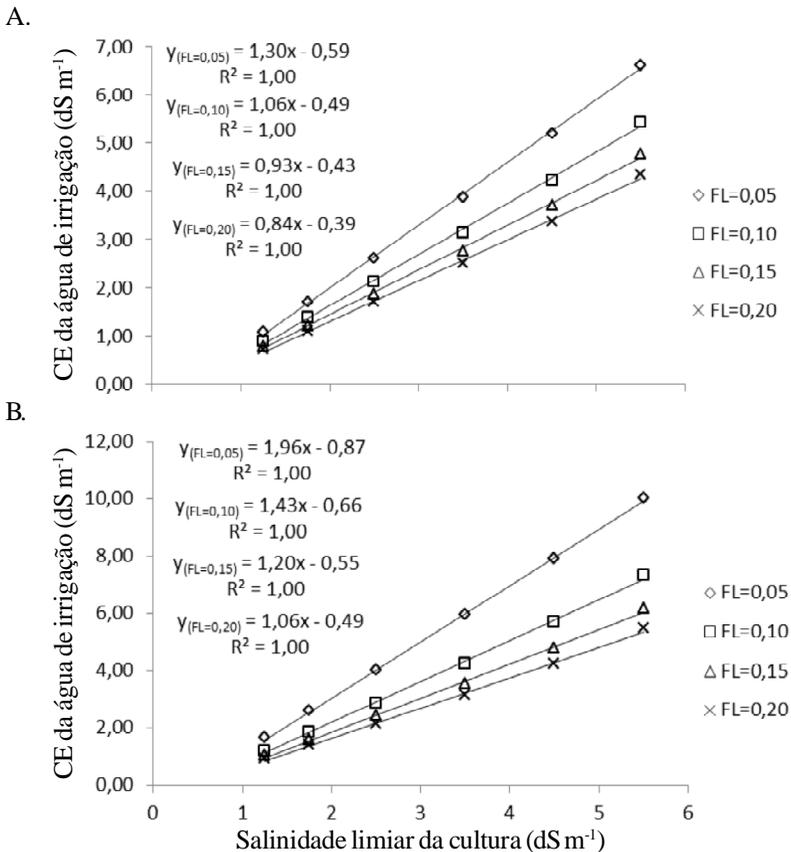


Figura 10.1 Classificação da água de irrigação proveniente de poços que exploram o aquífero calcário na região de Mossoró, RN, pela sua condutividade elétrica, em função da salinidade limiar da cultura (SL), fração de lixiviação (FL) aplicada e manejo da irrigação adotado – (A) Irrigação de alta frequência e (B) Irrigação convencional

10.4 EFEITOS PREJUDICIAIS DOS SAIS NAS ÁREAS IRRIGADAS

10.4.1 Efeitos da salinidade da água sobre o solo

Todas as águas utilizadas na irrigação, independente da fonte em que foi obtida, apresentam determinadas concentrações de sais; assim, o uso contínuo de áreas sob irrigação acarreta acúmulo desses sais no solo. Nem todos os sais introduzidos na área irrigada ficam acumulados no perfil do solo, de vez que parte desses sais é absorvida pelas plantas, parte é lixiviada, e o restante se acumula na camada de solo agricultável.

A quantidade de sais acumulados no solo vai depender diretamente da concentração de íons na água de irrigação, ocorrendo aumento da salinidade do extrato de saturação em decorrência do aumento da salinidade da água utilizada na irrigação (Silva et al., 2008; Pereira, 2010).

Outro fator que interfere diretamente no efeito da salinidade da água de irrigação sobre a salinização dos solos está relacionado às características físico-químicas do solo utilizado. Sabe-se que solos de textura mais arenosa, com maior concentração de macroporos, apresenta maior capacidade de drenagem favorecendo, assim, que os sais sejam arrastados para as camadas mais profundas do perfil do solo. Para solos de textura mais argilosa, com predominância de microporos, devido a menor capacidade de drenagem haverá maior risco de acúmulo de sais (Freire et al., 2003a, 2003b; Silva et al., 2008).

Além das características físico-químicas do solo, outro fator de fundamental importância está relacionado com as características climáticas da região. Solos de regiões áridas e semiáridas podem apresentar acúmulo de sais e sódio trocável em níveis prejudiciais ao desenvolvimento das plantas, devido a processos naturais e antrópicos de salinização e sodificação, em consequência do manejo inadequado da irrigação. Em virtude de elevadas taxas de evaporação e de transpiração há, nessas regiões, tendência de ocorrer balanço positivo no teor de sais nesses solos, visto que, devido às reduzidas precipitações, não ocorre lixiviação dos sais e, desta forma, essas regiões apresentam maior risco de salinização em comparação com outras áreas de características climáticas, que apresentam menor taxa de evapotranspiração.

O acúmulo de sais solúveis e, especificamente, de sódio no solo, além de reduzir o potencial osmótico da solução do solo produz alteração no pH, desbalanceamento nutricional e desestruturação de seus agregados. O efeito dos sais sobre a estrutura do solo ocorre basicamente pela interação eletroquímica existente entre os cátions e a argila. A característica principal deste efeito é a expansão da argila quando úmida e sua contração, quando seca, devido ao excesso de sódio trocável. Se a expansão for exagerada poderá ocorrer a fragmentação das partículas causando a dispersão da argila e modificando a estrutura do solo. Em geral, os solos sódicos, ou seja, com excesso de sódio trocável, apresentam problemas de permeabilidade e qualquer excesso de água causará encharcamento na superfície do solo afetando a germinação das sementes e o crescimento das plantas, por deficiência de oxigênio (Medeiros et al., 2008).

A acumulação de sais solúveis torna o solo floculado, fofo e bem permeável; por outro lado, o aumento do sódio trocável poderá torná-lo adensado, compacto em condições secas, disperso e pegajoso em condições molhadas.

No solo, a quantidade de sódio trocável (Na_T) em relação à sua capacidade de troca catiônica (CTC), expressa em termos de percentagem de sódio trocável (PST), associada à concentração total na solução do solo, é a grande responsável pela agregação e dispersão das partículas coloidais. A PST do solo pode ser estimada a partir da concentração de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , medida no extrato de saturação, partindo da equação de Gapon (Richards, 1954):

$$\frac{\text{Na}_T}{\text{Ca}_T + \text{Mg}_T} = K_G \frac{\text{Na}}{\sqrt{\text{Ca} + \text{Mg}}} \quad (10.3)$$

em que o primeiro membro da Eq. (10.3) representa a relação de sódio trocável (RST), com o subíndice “T”, denotando íons trocáveis em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, K_G representa o coeficiente de Gapon, variando de 0,008 a 0,016 e a razão do segundo membro, denominada relação de adsorção de sódio (RAS), é composta pelas concentrações dos íons no extrato de saturação do solo, em mmol L^{-1} .

Considerando que em solos afetados por sais os cátions trocáveis do solo correspondem ao Ca, Mg e Na, a PST, pode ser calculada por:

$$\text{PST} = \frac{\text{RST}}{1 + \text{RST}} \cdot 100 = \frac{100 \cdot K_G \cdot \text{RAS}}{1 + K_G \cdot \text{RAS}} \quad (10.4)$$

Gheyi (1986) estudou a troca entre sódio-cálcio em solos aluvionais (fração argila) dos perímetros irrigados do estado da Paraíba, utilizando metodologia proposta por Fletcher et al. (1984) e soluções mistas de Na-Ca em várias proporções (RAS variando de 0 a 150 (mmol L^{-1})^{0.5}), porém com concentração total constante de 50 $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ verificou-se correlação altamente significativa entre RST e RAS ($R^2 = 0,987$), permitindo a estimativa da PST do solo a partir da RAS.

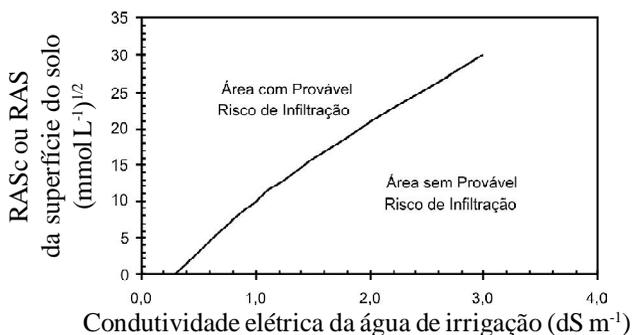
$$\text{PST} = \frac{100 \cdot (0,01407 \cdot \text{RAS} - 0,0122)}{1 + (0,01407 \cdot \text{RAS} - 0,0122)} \quad (10.5)$$

As curvas de isotermas de troca sódio-cálcio mostraram que o cálcio é adsorvido com preferência no solo e a presença de cálcio solúvel entre 20 e 30% na solução foi suficiente para evitar que o solo atingisse PST superior a 15.

A dispersão e a desestruturação (desarranjo dos agregados em subagregados) do solo podem ocorrer, mesmo em condições de baixos valores de PST (< 15), desde que a concentração eletrolítica seja suficientemente baixa. A reunião de agregados resulta em mais espaço poroso que o de partículas individuais ou de microagregados;

portanto, a permeabilidade e a friabilidade são melhores em condições de solo agregado (floculado). As micelas dispersas de argila ou microagregados podem alojarse nos poros reduzindo, também, a permeabilidade. Assim, soluções de solo tendo altas concentrações de soluto (salinidade) ou com predominância de sais de cálcio e magnésio, proporcionam aos solos boas propriedades físicas. Reciprocamente, baixas concentrações de sais e proporções relativamente altas de sais de sódio afetam drasticamente a permeabilidade e a friabilidade enquanto o alto valor de pH (>8) também afeta adversamente a permeabilidade e a friabilidade, de vez que aumenta a quantidade de cargas negativas da argila e da matéria orgânica e, ainda, as forças repulsivas entre elas (Rhoades et al., 2000).

Valores representativos críticos de RAS ajustada ou corrigida e condutividade elétrica da água de infiltração para manutenção da permeabilidade do solo, são mostrados nas Figuras 10.2 e 10.3. A relação de adsorção de sódio (RAS_c), conforme Suarez (1982), é recomendada por Ayers & Westcot (1999) e Rhoades et al. (2000).

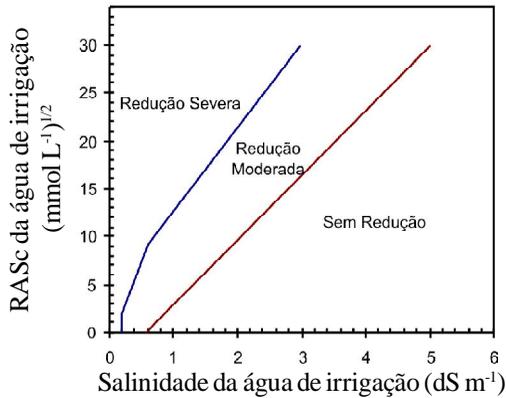


Fonte: Adaptado de Rhoades (1982)

Figura 10.2 Valores limites da RAS corrigida (ou da RAS na superfície do solo) e CE da água de irrigação, associados à probabilidade de redução substancial na infiltração da água no solo

Para Medeiros & Gheyi (1997), o nível de salinidade dos solos deve ser sempre inferior ao nível nocivo às plantas cultivadas. Assim, o monitoramento direto da salinidade na zona radicular é recomendado para avaliar a eficiência dos diversos programas de manejo nas áreas irrigadas. Essas águas nem sempre são adequadas para irrigação, contribuindo para o aparecimento de problemas de salinidade e, conseqüentemente, problemas nutricionais do cultivo, resultando em prejuízos para os agricultores. A água de irrigação, mesmo de baixa salinidade, pode tornar-se um fator de salinização do solo, caso não seja manejada corretamente (Ayers & Westcot, 1999).

Silva et al. (2007), estudando o risco de salinização em quatro solos do Rio Grande do Norte sob irrigação com águas salinas, verificaram que o uso de águas de condutividade elétrica crescente promoveu elevação do pH, da CEes e da RAS, no extrato de saturação dos solos; o aumento na relação de adsorção de sódio das

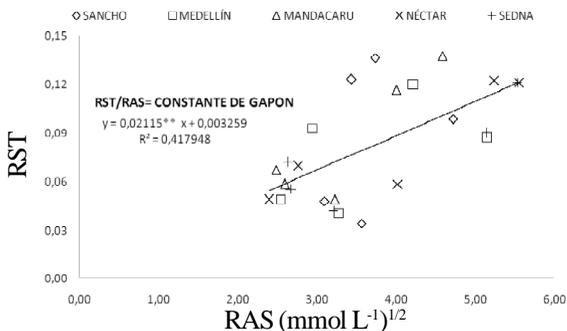


Fonte: Ayers & Westcot (1999)

Figura 10.3 Redução relativa da infiltração provocada pela salinidade e relação de adsorção de sódio ajustada da água de irrigação

águas promoveu o incremento dos efeitos das soluções salinas sobre os solos, indicando a necessidade do monitoramento da qualidade da água e das propriedades físico-químicas dos solos submetidos a irrigação com águas salinas.

Pereira (2010) trabalhando com cultivares de meloeiro submetido à água de irrigação com diferentes condutividades elétricas (CE) encontrou, como constante de Gapon, o valor de 0,02115, que é maior do que o obtido para os solos do Oeste dos Estados Unidos, isto é, de 0,01475. O valor de coeficiente de determinação (R^2) foi relativamente baixo, em função, sem dúvida, da pequena faixa da RAS, aproximadamente de 2 a 6, enquanto no trabalho desenvolvido nos Estados Unidos os valores variaram de 1,6 a 51,5. O valor de 0,02115 obtido por Pereira (2010) se aproxima do verificado para solos de perímetros irrigados do estado da Paraíba (Pereira et al., 1982).



Fonte: Pereira (2010)

Parâmetros da equação (**) significativo a 0,01

Figura 10.4 Relação entre RST (relação do sódio trocável) e RAS (relação de adsorção do sódio) na zona radicular (0-45 cm) de solo Argissolo em áreas cultivadas com diferentes híbridos de melão

10.4.2 Efeito dos sais sobre as plantas

Os efeitos negativos da salinidade podem ser observados no “stand” da cultura, no crescimento das plantas e em rendimentos, sendo que em casos extremos pode haver até perda total da cultura (Richards, 1954). Portanto, o estudo de riscos de salinização em áreas irrigadas é imprescindível para o sucesso da agricultura como empreendimento. Para isto, o manejo da água nas áreas irrigadas associada ao manejo do solo e das culturas, é fundamental para manter a atividade da agricultura irrigada por várias gerações.

As plantas em ambientes com alta concentração de sais podem sofrer estresse, de duas maneiras: em razão da baixa disponibilidade de água no solo em consequência da diminuição do potencial osmótico na zona radicular, devido a grandes quantidades de sais na solução do solo, e pelo efeito tóxico de altas concentrações de íons específicos (Moura, 2000; Dias et al., 2003) e proporcionando efeito indireto de ordem nutricional.

A tolerância de várias culturas à salinidade, é convencionalmente expressa em termos de rendimento relativo (Y) através do valor de salinidade limiar (SL) que é a salinidade máxima tolerada pela cultura sem reduzir o rendimento potencial da cultura, e decréscimos percentuais de produção por unidade de aumento da salinidade acima da salinidade limiar (b) em que a salinidade do solo é expressa, de CEes em dS m^{-1} (Maas & Hoffmam, 1977), como segue:

$$Y = \begin{cases} 100 & \text{para CEes} < \text{SL} \\ 100 - b(\text{CEes} - \text{SL}) & \text{para SL} < \text{CEes} < \text{CEmax} \\ 0 & \text{para CEes} > \text{CEmax} \end{cases} \quad (10.6)$$

em que, Y é o percentual de rendimento esperado sob condições salinas em relação ao obtido sob condições não salinas, mantidas comparáveis para as demais condições e CEmax é a salinidade do solo em que o rendimento tende a ser zero.

Segundo Maas (1984), as culturas podem ser classificadas por grupo, em função da tolerância relativa à salinidade do extrato saturado do solo (CEes), conforme segue: sensível ($\text{SL} < 1,3 \text{ dS m}^{-1}$), moderadamente sensível ($1,3 < \text{SL} < 3,0 \text{ dS m}^{-1}$), moderadamente tolerante ($3,0 < \text{SL} < 6,0 \text{ dS m}^{-1}$), tolerante ($6,0 < \text{SL} < 10,0 \text{ dS m}^{-1}$) e não adequada $\text{CEes} > 10,0 \text{ dS m}^{-1}$. Ayers & Westcot (1999) e Rhoades et al. (2000) apresentam tabelas com os parâmetros de tolerância de diversas culturas.

Maas et al. (1986) mostram que os efeitos da salinidade podem variar em função do estágio fenológico da cultura e acumulação diferenciada de sódio, cloreto, boro, potássio e outros íons, e até causar toxidez ou desbalanço nutricional.

Entre os fatores a disponibilidade de água e os efeitos tóxicos são os mais conhecidos e que têm sido tratados com maior ênfase. Os efeitos surgem quando a planta absorve, juntamente com a água, excesso de certos sais ou íons, passíveis de ser acumulados em níveis prejudiciais nas folhas durante a transpiração quando

então os danos poderão reduzir significativamente os rendimentos cuja magnitude depende do tempo, da concentração de íons e sensibilidade (tolerância) das plantas.

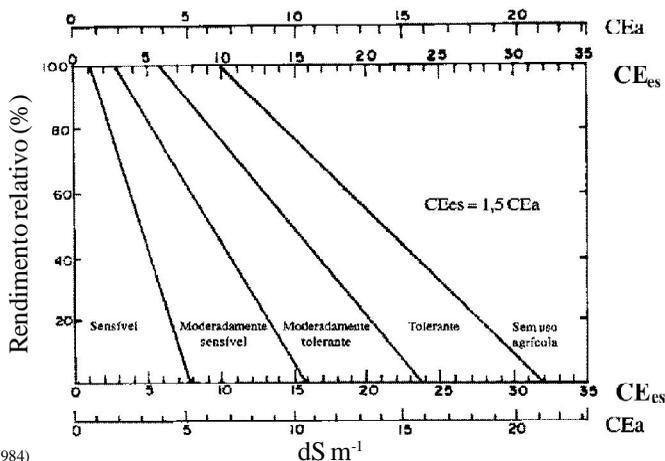
Os sintomas de toxicidade (necroses, queimaduras) poderão aparecer em qualquer cultura se a concentração de determinado íon na solução do solo for suficientemente alta. Os problemas de toxicidade, frequentemente acompanham ou complicam os de salinidade ou de permeabilidade, podendo aparecer mesmo quando a salinidade for baixa. A absorção foliar acelera a velocidade de acumulação do íon tóxico na planta sendo, muitas vezes, a fonte principal de toxicidade. Efeitos indiretos poderão ocorrer já que altas concentrações de Na ou outros cátions na solução do solo poderão afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas, indiretamente, isto é, através de seu efeito sobre as condições físicas do solo ou na disponibilidade de outros elementos (Lauchi & Epstein, 1984).

As plantas tolerantes à salinidade são designadas plantas halófitas e sua tolerância pode atingir até cerca de 15 g L^{-1} de NaCl, equivalente à metade da concentração da água do mar. Essas plantas absorvem, por exemplo, o cloreto de sódio em altas taxas e o acumulam em suas folhas para estabelecer um equilíbrio osmótico com o baixo potencial da água presente no solo. Este ajuste osmótico se dá com o acúmulo dos íons absorvidos nos vacúolos das células das folhas, mantendo a concentração salina no citoplasma em baixos níveis de modo que não haja interferência com os mecanismos enzimáticos e metabólicos nem com a hidratação de proteína das células. Este compartimento de sal é que permite às plantas halófitas viverem em ambiente salino. Para este ajuste osmótico na membrana que separa o citoplasma e o vacúolo, não há fluxo de um compartimento para outro, mesmo que haja elevado gradiente de concentração. O ajuste osmótico é obtido por substâncias compatíveis com as enzimas e os metabólitos ali presentes. Esses solutos são, na maioria, orgânicos, como compostos nitrogenados e, em algumas plantas, açúcares como o sorbitol (Lauchi & Epstein, 1984).

Em geral, as plantas sensíveis à salinidade tendem a excluir os sais na absorção da solução do solo mas não são capazes de realizar o ajuste osmótico descrito e sofrem com o decréscimo de turgor, levando as plantas ao estresse hídrico por osmose. Embora o crescimento da parte aérea das plantas se reduza com o acentuado potencial osmótico do substrato onde vivem, a redução da absorção de água não é necessariamente a causa principal do reduzido crescimento das plantas em ambientes salinos (Lauchi & Epstein, 1984).

As águas que contêm menos de 500 mg L^{-1} de sais totais podem, em geral, ser usadas para irrigação de quase todas as culturas. Águas com concentração salina entre 500 e 1.500 mg L^{-1} têm sido usadas na irrigação de plantas sensíveis a sais em solos de boa drenagem interna ou providos de sistema de drenagem. As águas que contêm de 1.500 a 2.000 mg L^{-1} poderão ser usadas na irrigação de culturas moderadamente tolerantes se uma frequência maior de irrigação combinada com uma lâmina de lixiviação, for adotada. Entretanto, águas que contêm de 2.000 a 3.500 mg L^{-1} só poderão ser utilizadas em plantas altamente tolerantes (Cordeiro, 2001).

O uso da CEes para expressar o efeito da salinidade na produção implica no fato de que as plantas respondem, primariamente, ao potencial osmótico da solução do solo. A tolerância relativa da maioria das culturas é suficientemente conhecida, o que enseja a preparação de diretrizes técnicas da salinidade. A Figura 10.5 mostra, esquematicamente, os grupos de tolerância relativa das culturas e a Tabela 10.6 inclui valores de tolerância de algumas culturas extensivas, hortaliças e frutíferas, a qual se refere à salinidade da água de irrigação e à salinidade medida no extrato da pasta saturada do solo (CEes). Os valores deverão ser considerados apenas como de tolerância relativa entre os grupos de culturas, pois os valores de tolerância absoluta variam com o clima, condições de solo e práticas culturais. Esses limites de salinidade foram calculados, considerando-se que a relação entre salinidade do solo e da água ($CEes = 1,5 CEa$) e a fração de lixiviação equivalente a 15-20 %, adotando-se um modelo de absorção de água na zona radicular igual a 40-30-20-10 (padrão de extração normal). O rendimento potencial zero implica na salinidade máxima teórica ($CEmax$) com a qual cessam o crescimento e o desenvolvimento da planta.



Fonte: Maas (1984)

Figura 10.5 Limites de tolerância à salinidade das culturas

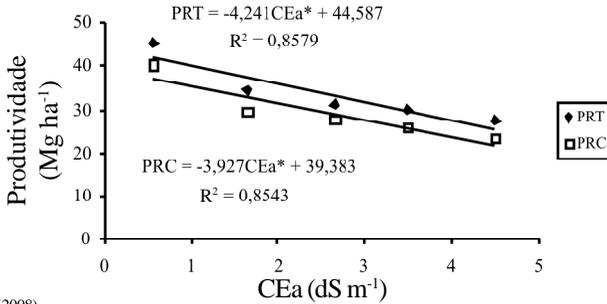
Tem-se conduzido diversos trabalhos de pesquisa na região produtora de melão do RN visando estudar o efeito da irrigação com águas salinas no rendimento das culturas e na sua evapotranspiração. Para o melão Orange Flesh verificou-se que a produção total e comercial diminuiu cerca de 10 e 9% por incremento unitário de salinidade acima dos rendimentos obtidos com a água de $CE=0,6 dS m^{-1}$ (Figura 10.6), enquanto a evapotranspiração na fase de frutificação reduziu em cerca de 20% (Figura 10.7); para a cultura da melancia verificaram-se perdas de rendimento de 12% por incremento unitário da salinidade da água de irrigação acima de $0,6 dS m^{-1}$ (Figura 10.8), enquanto a abóbora Burtternut americana apresentou perdas de 8 e 10%, respectivamente, para produção total e comercial (Figura 10.9).

Tabela 10.6 Tolerância das culturas herbáceas à salinidade¹

Cultura	Nome botânico ²	SL ³ (dS m ⁻¹)	Perda rel. – b %/(dS m ⁻¹) ⁻¹	Classe ⁴ de tolerância
A. Fibra, grão e culturas especiais				
Algodão	<i>Gossypium hirsutum</i>	7,7	5,2	T
Amendoim	<i>Arachis hypogaea</i>	3,2	29,0	MS
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	3,0 ⁵	12,0	S
Cana-de-açúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	1,7	5,9	MS
Caupi	<i>Vigna unguiculata</i>	4,9	12,0	MT
Cevada	<i>Hordeum vulgare</i>	8,0	5,0	T
Fava	<i>Vicia Faba</i>	1,6	9,6	MS
Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i>	1,0	19,0	S
Gergelim	<i>Sesamun indicum</i>			S
Girassol	<i>Helianthus annuus</i>			MS*
Milheto, foxtail	<i>Setaria italica</i>			MS
Milho	<i>Zea mays</i>	1,7	12,0	MS
Soja	<i>Glycine max</i>	5,0	20,0	MT
Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i>	6,8	16,0	MT
Trigo	<i>Triticum aestivum</i>	6,0	7,1	MT
B. Forrageiras				
Alfafa	<i>Medica sativa</i>	2,0	7,3	MS
Aveia (forrageira)	<i>Avena sativa</i>			MS*
Capim Bermuda	<i>Cynodon</i>	6,9	6,4	T
Capim Buffel	<i>Cenchrus ciliaris</i>			MS*
Caupi (Forrageira)	<i>Vigna unguiculata</i>	2,5	11,0	MS
Cevada (Forrageira)	<i>Hordeum vulgare</i>	6,0	7,1	MT
Milho (Forrageira)	<i>Zea mays</i>	1,8	7,4	MS
Trigo (forrageira)	<i>Triticum aestivum</i>	4,5	2,6	MT
C. Hortaliças e fruteiras				
Aspargo	<i>Asparagus officinalis</i>	4,1	2,0	T
Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i>	1,0	19,0	S
Beterraba vermelha	<i>Beta vulgaris</i>	4,0	9,0	MT
Repolho	<i>B. oleracea capitata</i>	1,8	14,0	MS
Cenoura	<i>Daucus carota</i>	1,0		S
Pepino	<i>Cucumis sativus</i>	2,5	6,9	MS
Berinjela	<i>S. melongena esculentum</i>	1,1		MS
Alface	<i>Lactuca sativa</i>	1,3	12,0	MS
Melão	<i>Cucumis melo</i>	2,2	7,5	MS
Cebola	<i>Allium cepa</i>	1,2		S
Pimentão	<i>Capsicum annuum</i>	1,5	12,0	MS
Batata	<i>Solanum tuberosum</i>	1,7		MS
Espinafre	<i>Spinacia oleracea</i>	2,0	16,0	MS
Abobrinha, scallop	<i>Cucurbita pepo melopepo</i>	3,2	9,4	MS
Abobrinha, zucchini	<i>C. pepo melopepo</i>	4,7	33,0	MT
Morango	<i>Fragaria sp.</i>	1,0	11,0	S
Batata doce	<i>Ipomoea batatas</i>	1,5	9,9	MS
Tomate	<i>L. esculentum</i>	2,5	9,0	MS

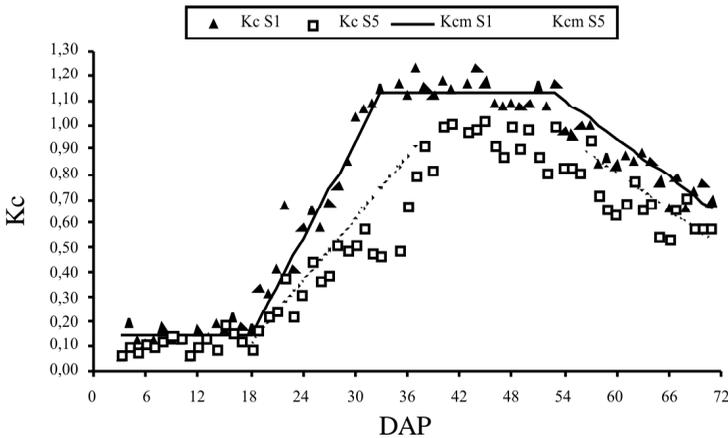
Adaptado de Maas (1986)

¹ Esses dados servem apenas como indicativo da tolerância relativa entre culturas. Tolerância absoluta depende do clima, das condições do solo e práticas culturais² Nomes botânicos e comuns em inglês, conforme a convenção de "Hortus Third", quando possível³ Em solos gipsíferos as plantas toleram CEes cerca de 2 dS/m acima do indicado⁴ T = Tolerante, MT = Moderadamente Tolerante, MS = Moderadamente Sensível e S = Sensível. Classes com * são estimativas⁵ Como arroz é cultivado sob condições de inundação, os valores se referem à condutividade elétrica da água do solo, enquanto plantas estão inundadas. Menos tolerantes durante a fase de plântula



Fonte: Figueiredo (2008)

Figura 10.6. Rendimento total (PRT) e comercial (PRC) de melão Orange Flesh sob diferentes níveis de salinidade da água, usando irrigação localizada, cobertura de solo com plástico branco e o cultivo em solo Latossolo Vermelho-Amarelo

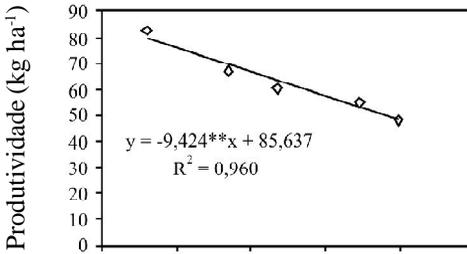


Fonte: Figueiredo (2008)

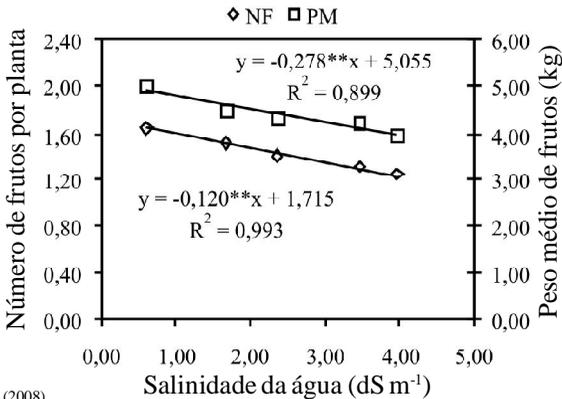
Figura 10.7 Curva do coeficiente de cultura do melão Orange Flesh sob irrigação com água de CE = 0,6 (S1) e CE = 4,0 dS m⁻¹ (S5), quando cultivado sob irrigação por gotejamento em solo Latossolo Vermelho-Amarelo e com o uso de cobertura do solo com plástico branco

Existem grandes diferenças entre espécies e entre cultivares de uma mesma espécie com relação a tolerância à salinidade. Deste modo, conduziu-se o experimento em Mossoró, RN, para avaliar o comportamento de cultivares de meloeiro quanto à produção e à qualidade de frutos quando irrigados com águas de diferentes condutividades elétricas (CE). Observou-se que a tolerância das cultivares à salinidade da água de irrigação no intervalo de 0,54 a 3,90 dS m⁻¹, quando observada a produção comercial, em ordem decrescente, foi Sancho > Mandacaru > Medellín > Sedna > Néctar, sendo que as perdas por incremento unitário de salinidade foram 0; 6,46; 7,55; 8,28; 10,69%, respectivamente (Pereira, 2010).

A.



B.



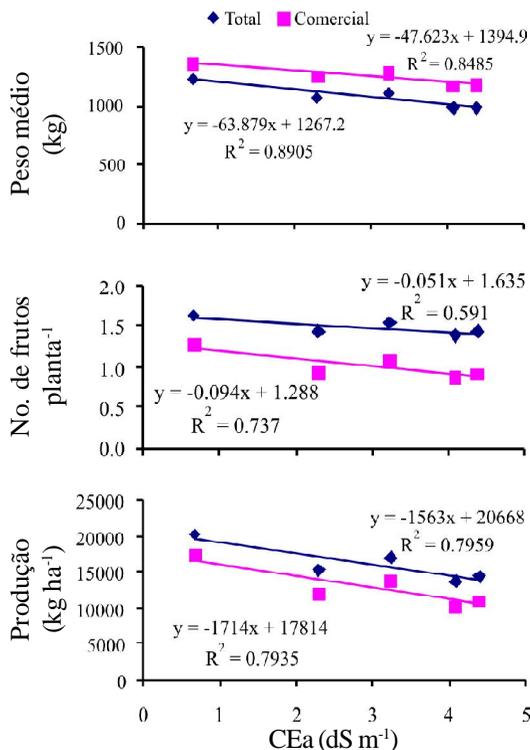
Fonte: Medeiros et al. (2008)

Figura 10.8. Rendimento de melancia e de seus componentes, cultivar Quetzale, quando irrigada com águas de diferentes níveis de salinidade, sob cobertura de solo com plástico branco e irrigada por gotejamento

10.5 TÉCNICAS DE MANEJO PARA CONTROLAR OS EFEITOS DA SALINIDADE

A recuperação de solos salinos é cara e demorada; com isto, devem ser adotadas práticas de manejo para o controle de salinidade, a fim de que as áreas irrigadas não sejam afetadas por sais. A qualidade e o manejo de água de irrigação e as condições de drenagem são aspectos importantes na prevenção dos problemas de salinidade. De vez que os sais se movimentam com a água, o controle da salinidade depende principalmente da irrigação, lixiviação e drenagem (Gheyi et al., 1996). Ayers & Westcot (1999) afirmam que a lixiviação é a solução para se controlar o problema da salinidade da água e que a quantidade de lixiviação requerida depende da qualidade da água de irrigação e da tolerância da cultura à salinidade.

O nível de salinidade dos solos deve ser sempre inferior ao nível nocivo às plantas cultivadas; assim, o monitoramento direto da salinidade na zona radicular é recomendado para avaliar a eficiência dos diversos programas de manejo nas áreas irrigadas. Caso a salinização seja consequência da utilização de águas de qualidade inferior, a principal prática de controle consiste em permitir que lâminas



Fonte: Medeiros et al. (2008)

Figura 10.9 Rendimento de abóbora *Butternut americana* e de seus componentes, cultivar Atlas, quando irrigada com águas de diferentes níveis de salinidade, sob cobertura de solo com plástico branco e irrigada suplementarmente por gotejamento (75 mm) no período de chuvas, cultivado logo após um cultivo de melancia irrigada com águas de mesma salinidade

excedentes de irrigação percolem no perfil do solo e garantam um equilíbrio favorável dos sais na zona radicular da cultura. Esta lâmina de lixiviação pode ser aplicada intencionalmente ou ocorrer como consequência de perdas espontâneas proporcionadas pela irrigação.

A lâmina total a ser aplicada pode ser calculada com base na evapotranspiração, na condutividade elétrica da água de irrigação e na tolerância da cultura à salinidade. A razão entre a lâmina percolada além da zona radicular e a lâmina total aplicada, é denominada, na literatura, fração de lixiviação. Entretanto, para que esta prática de controle seja eficiente é necessário que a drenagem do solo seja adequada garantindo, além da aeração, que o fluxo descendente prevaleça sobre o ascendente no perfil do solo e que os sais lixiviados sejam eliminados mediante drenagem (Shalhevet, 1994).

Medeiros & Gheyi (1997) recomendam a aplicação de uma fração de lixiviação que deve variar entre 2 e 30%, dependendo da qualidade da água aplicada e do método de irrigação.

Mediante a melhoria das práticas de irrigação, construção de sistemas de drenagem no campo, lixiviação de sais em excesso e outras medidas, é possível controlar o risco de degradação do solo e reduzir os efeitos sobre as plantas, obtendo-se aumentos significativos dos níveis de produtividade e preservando as condições ambientais.

As águas de irrigação, mesmo as de melhor qualidade, como as classificadas como C1-S1, possuem certa quantidade de sal. Se toda água aplicada na irrigação for evapotranspirada, haverá um acúmulo constante de sal no solo; com o passar do tempo o solo será, indubitavelmente, salinizado, tornando-se evidente a necessidade de drenagem natural ou artificial nessas áreas, quando irrigadas, para evitar sua salinização. Nas áreas úmidas e semiúmidas, é preciso apenas construir os sistemas de drenagem quando a drenagem da área for insuficiente, pois as águas das chuvas lixiviam o excesso de sal do solo evitando, assim, sua salinização (Bernardo et al. 2005).

Segundo Gheyi et al. (1996), algumas práticas complementares devem ser implementadas pelo produtor que utiliza águas de qualidade inferior na irrigação, para que as produções se mantenham a níveis aceitáveis:

- Promover a lixiviação dos sais, preferencialmente durante as épocas frias e chuvosas;
- Cultivar o solo periodicamente e evitar o escoamento superficial e destruir as fendas;
- No caso de aplicação de água pelo método de aspersão, adotar intensidades de aplicação menores que a velocidade de infiltração do solo;
- No caso de aplicação de água por inundação alternar os períodos de inundação com períodos secos (desde que não haja presença de lençol freático a pouca profundidade).
- Evitar períodos de repouso, particularmente durante os períodos de maior demanda evapotranspirativa;
- Irrigar antes do início das chuvas, quando se sabe que as lâminas aplicadas por chuva não serão suficientes;
- Aplicar periodicamente uma dose adequada de gesso, quer na água de irrigação quer diretamente no solo, para diminuir o risco de sodificação, sobretudo quando a água utilizada na irrigação apresenta moderado ou severo risco de redução da infiltração;
- Nivelar o solo para aumentar a uniformidade de aplicação de água e, alternativamente, preparar as parcelas em curvas de nível;
- Incorporar matéria orgânica que favoreça a infiltração;
- No caso do método de irrigação por gotejamento, irrigar logo após a ocorrência de chuvas de menor intensidade para lixiviar os sais deslocados das regiões periféricas para o sistema radicular.

O uso de irrigação localizada e de alta frequência mantém o solo sempre próximo a capacidade de campo, diminuindo a concentração da solução do solo e também, ainda, o fluxo contínuo de água ao longo do sistema radicular, promovendo lixiviação dos sais. Na região de Mossoró, RN sob condições de irrigação localizada, tem-se

verificados valores da salinidade do solo (CEes) na região de maior concentração do sistema radicular menores do que a salinidade da água de irrigação, mesmo após vários anos de irrigação. Isto tem ocorrido principalmente em solos de textura franco-arenosa a arenosa (Melo, 2009; Pereira, 2010).

Outra alternativa para conviver com o uso de água de alta salinidade na irrigação são as misturas com água de baixa salinidade para ser aplicada nas fases da cultura de maior sensibilidade ou alternar o uso de águas salinas com águas de menor salinidade, que devem ser aplicadas nas fases em que a cultura é mais sensível aos sais.

Na região de Mossoró, onde a maior quantidade de água disponível para irrigação é de alta salinidade mas tendo presente água de baixa salinidade, embora com restrições, devido ao alto custo, realizou-se um estudo com o objetivo de verificar os efeitos do uso de água com baixa e alta concentração salina na cultura do melão, aplicada de forma alternada, por fase de desenvolvimento da cultura ou misturadas, sobre as propriedades químicas do solo e no crescimento, rendimento e nutrição mineral das cultivares Sancho e Medellín. Verificou-se que o manejo adotado não influenciou as características de crescimento da cv. Sancho; a produção comercial e total das duas cultivares não foi influenciada pelo uso de água com baixa e alta concentração salina, aplicada sob diferentes formas de manejo; o manejo com água salina na irrigação do meloeiro foi economicamente viável, proporcionando uma economia de cerca de 33% de água de baixa salinidade; os valores de salinidade do extrato de saturação do solo foram inferior aos da salinidade da água de irrigação de alta concentração salina (Terceiro Neto, 2010).

10.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vários estudos já têm demonstrado a viabilidade do uso de águas de qualidade inferior para irrigação, proporcionando rendimento e qualidade satisfatórios dos produtos agrícolas, proporcionando menores danos ambientais. Para isto, é fundamental o conhecimento de vários fatores como as propriedades e os processos de formação e evolução dos solos afetados por sais associados à qualidade da água e tolerância das espécies à salinidade.

A partir do conhecimento da interação desses fatores é possível a elaboração de práticas adequadas de manejo de água, solo e planta que minimizem os riscos, garantindo a manutenção da produtividade. Além disso existem, atualmente, ferramentas que permitem avaliar e simular os riscos de salinização do solo e prever os rendimentos das culturas para diferentes situações.

Experiências de uso de água salina na irrigação na região Nordeste têm indicado que é possível se ter uma agricultura rentável, embora haja necessidade de que o solo tenha boa drenagem, que as culturas tolerem os níveis de salinidade resultante do uso de determinada água e que o manejo da irrigação da cultura seja ajustado às condições existentes. Resultados de pesquisas obtidos na região, têm caracterizado as águas existentes na região com potencial de uso para irrigação, determinado o

nível de tolerância de diversas culturas à salinidade e técnicas de manejo da água de irrigação visando ao controle da salinidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alencar, R. D. Monitoramento da qualidade da água de poços no calcário Jandaíra e restrições na agricultura irrigada. Mossoró: UFRS, 2007. 71p. Dissertação Mestrado
- Allen, R. G.; Smith, M.; Pereira, L. S.; Pruit, W. O. Proposed revision to the FAO procedure for estimating crop water requirements. In: International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, 2, 1996. Chania, Proceedings... Leuven: ISHS, 1996. v.1, p.17-33
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. Tradução de Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Damasceno, F. A. V. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 29.
- Barros, M. de F. C.; Fontes, M. P. F.; Alvarez, V. V. H.; Ruiz, H. A. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental, v.8, p.59-64, 2004.
- Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. 7.ed., Viçosa, 2005. 625p.
- Camargo, M. N.; Klant, E.; Kauffman, J. H. Classificação de solos usada em levantamento pedológicos no Brasil. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, v.12, p.11-33, 1987.
- Carmo, G. A. Crescimento, nutrição e produção de cucurbitáceas cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de adubação nitrogenada. Mossoró: UFRS, 2009. 182p. Tese Doutorado
- Cordeiro, G. G.; Barreto, A. N.; Carvajal, A. C. N. Levantamento das condições de salinidade e sodicidade do projeto de irrigação de São Gonçalo (2ª parte). Petrolina: EMBRAPA, 1988. 57p.
- Costa, A. R. F. C. Produção, crescimento e absorção de nutrientes pela melancia submetida a diferentes salinidades da água de irrigação e doses de nitrogênio. Mossoró: UFRS, 2011. 93p. Dissertação Mestrado
- Costa, A. R. F. C. da; Torres, S. B.; Oliveira, F. N. de; Ferreira, G. S. Emergência de plântulas de melão em diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. Revista Caatinga, v.21, p.89-93, 2008.
- Costa, M. da C. Efeitos de diferentes lâminas de água com dois níveis de salinidade na cultura do meloeiro. Botucatu: UNESP, 1999. 115p. Tese Doutorado
- Cruciani, D. E. A drenagem na agricultura. 4. ed. São Paulo: Nobel, 1989. 337p.
- Cruz, M. G. M.; Andrade, E. M.; Ness, R. L. L.; Meireles, A. C. M. Caracterização das águas superficiais e subterrâneas do projeto Jaguaribe - Apodi. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, v.23, p.187-194, 2003.
- Davis, S. N.; Dewiest, R. J. M. Hydrogeology. New York: John Wiley & Sons, 1966. 463p.

- Dias, N. da S.; Gheyi, H. R.; Duarte, S. N. Prevenção, manejo e recuperação dos solos afetados por sais. Piracicaba: ESALQ/USP, 2003. 134p. Série Didática
- Donahue, R. L.; Miller, R. W.; Shickluna, J. C. Soils: An introduction to soils and plant growth. New Jersey: Prentice-Hall, 1977. 620p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.306p.
- FAO - Food and Agriculture Organization, UNESCO. Irrigation, drainage and salinity. An international sourcebook. Paris: Hutchison, 1973. 510p.
- Fanning, D. S.; Fanning, M. C. B. Soil morphology, genesis and classification. New York: John Wiley & Sons, 1989. 395p.
- Ferreira, P. A. Qualidade de água e manejo água-planta em solos salinos. Brasília: ABEAS, Viçosa: UFV, 2002. 141p. Curso de Engenharia e Manejo de Irrigação
- Figueirêdo, V. B. Evapotranspiração, crescimento e produção da melancia e melão irrigados com águas de diferentes salinidades. Botucatu: UEP. 2008. 104p. Tese Doutorado
- Flores, P.; Botella, M. A.; Martinez, V.; Cedra, A. Ionic and osmotic effects on nitrate reductase activity in tomato seedlings. *Journal of Plant Physiology*, v.156, p.552–557, 2000.
- Freire, M. B. G. dos S.; Ruiz, H. A.; Ribeiro, M. R.; Ferreira, P. A.; Alvarez, V. V. H.; Freire, F. J. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.45-52, 2003a.
- Freire, M. B. G. dos S.; Ruiz, H. A.; Ribeiro, M. R.; Ferreira, P. A.; Alvarez, V. V. H.; Freire, F. J. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.227-232, 2003b.
- Gheyi, H. R. Relatório de atividades e trabalhos desenvolvido durante o período de dezembro de 1985 a maio de 1986. Campina Grande: UFPB, 1986. Proc. 200.764-85 AG-CNPq
- Gheyi, H. R.; Fageira, N. K. Efeitos dos sais sobre as plantas. In: Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. p.125-131.
- Gheyi, H. R.; Queiroz, J. E.; Medeiros, J. F. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1996. p.239-287.
- Gupta, R. K.; Abrol, I. P. Salt-affected soils: Their reclamation and management for crop production. *Advances in Soil Sciences*, v.11, p.224-88, 1990.
- Hoffman, G. J.; Evans, R. G. Introduction. In: Hoffman, G. J.; Evans, R. G.; Jensen, M. E.; Martin, D. L.; Elliott, R. L. Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph: ASABE, 2007. cap.1, p.1-32. ASABE Monograph
- Keiffer, C. H.; Ungar, I. A. Germination and establishment of halophytes on brine-affected soils. *Journal of Applied Ecology*, v.39, p.402-415, 2002.
- Larcher, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2002. 531p

- Lauchli, A.; Epstein, E. Mechanisms of salt tolerance in plants. *California Agriculture*, v.38, p.18-21, 1984.
- Leprun, J. C. Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste. Relatório de fim de convênio de manejo e conservação de solos do Nordeste brasileiro. Recife: SUDENE, 1983. p.91-141.
- Lima, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: Gheyi, H. R.; Queiroz, J. E.; Medeiros, J. M. (ed.). *Manejo e controle da salinidade na agricultura*. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. cap. 4, p.113-136.
- Maas, E. V. Salt tolerance in plants. *Applied Agricultural Research*, v.1, p.12-26, 1986.
- Maas, E. V.; Hoffman, G. J. Crop salt tolerance - current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. Riverside, California, v.103, p.115-134, 1977.
- Medeiros, J. F. de. Qualidade da água de irrigação e evolução de salinidade nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos Estados do RN, PB e CE. Campina Grande: UFPB, 1992. 173p. Dissertação Mestrado
- Medeiros, J. F. de. Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão. Piracicaba: ESALQ/USP, 1998. 152p. Tese Doutorado
- Medeiros, J. F. de. Salinização em áreas irrigadas: Manejo e controle. In: Folegatti, M. V.; Casarini, E.; Blanco, F. F. *Fertirrigação: Flores, frutas e hortaliças*. Guaíba: Agropecuária, 2001, v.2, cap.2, p.201-240.
- Medeiros, J. F. de; Dias, N. S.; Barros, A. D. Manejo da irrigação e tolerância do meloeiro a salinidade da água de irrigação. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.3, p.242-247, 2008.
- Medeiros, J. F. de; Gheyi, H. R. Manejo do sistema solo-água-plantas em solos afetados por sais. In: Gheyi, H. R.; Queiroz, J. E.; Medeiros, J. F. de. (ed.). *Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada*. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. cap. 8, p. 239-284.
- Medeiros, J. F. de; Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Carmo, G. A. do. Riscos e medidas mitigadoras para a salinidade em áreas irrigadas. Paz, V. P. S.; Oliveira, A. S.; Pereira, F. A. C.; Gheyi, H. R. (org.) *Manejo e sustentabilidade da irrigação em regiões áridas e semiáridas*. Cruz das Almas: UFRB. 2009. p.249-279.
- Medeiros, J. F. de; Lisboa, R. de A.; Oliveira, M. de. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.469-472. 2003.
- Medeiros, J. F. de; Silva, M. C. de C.; Sarmiento, D. H. A.; Barros, A. D. Crescimento do meloeiro cultivado sob diferentes níveis de salinidade, com e sem cobertura do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.11, p.248-255, 2007.
- Melo, T. K. de. Evapotranspiração, coeficiente de cultura e produção do melão Gália irrigado com água de diferentes salinidades. Mossoró: UFRSA, 2009. 87p. Dissertação Mestrado
- Montenegro, A. A. A.; Montenegro, S. M. G. Aproveitamento sustentável de aquíferos aluviais no semi-árido. In: Cabral, J. S. P.; Ferreira, J. P. C. L.; Montenegro, S. M. G. L.; Costa, W. D. (ed.) *Tópicos Especiais em Recursos Hídricos*, v.4. Recife: UFPE, 2004. 447p.

- Montenegro, A. A. A.; Montenegro, S. M. G.; Monteiro, A. L.; Mackay, R. Recarga de origem pluviométrica em aluviões – Estudo de caso no semi-árido nordestino. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 3, 2001, Campina Grande. Anais... Petrolina: ABCMAC, 2001. CD Rom
- Moura, R. F. Efeitos das lâminas de lixiviação de recuperação do solo e da salinidade da água de irrigação sobre os componentes de produção e coeficiente de cultivo da beterraba. Viçosa: UFV, 2000. 119p. Tese Doutorado
- Pereira, F. A. de L. Tolerância de cultivares de melão à salinidade. Mossoró: UFERSA, 2010. 84p. Dissertação Mestrado
- Pereira P. R. G.; Fontes P. C. R. Nutrição mineral de hortaliças. In: Fontes P. C. R. (ed). Olericultura: Teoria e prática. Viçosa: UFV. 2005. p.39-55.
- Qadir, M.; Quereshi, R. H.; Ahmad, N. Horizontal flushing: A promising ameliorative technology for hard saline-sodic and sodic soils. Soil Tillage Research, v.45, p.119-131, 1998.
- Rhoades, J. D.; Kansiah, A.; Mashali, A. M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p. Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 48
- Rhoades, J. D.; Loveday, J. Salinity in irrigated agriculture. In: Stewart, D. R.; Nielsen, D. R. (ed.) Irrigation of agricultural crops. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1990. p.1089-1142. Agronomy Monography, 30
- Ribeiro, M. R. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicações. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnológica em Salinidade, 2010. p.11-19.
- Ribeiro, M. R.; Freire, F. J.; Montenegro, A. A. A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: SBCS, v.3, 2003. p.165-208.
- Richards, L. A. (ed.). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: USDA, 1954. 160p. Agriculture Handbook, 60
- Santos, R. V. dos; Cavalcante, L. F. Vital, A. de F. M. Interações salinidade-fertilidade do solo. In: Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicações. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnológica em Salinidade, 2010. p.221-250.
- Shalhevet, J.; Kamburov, J. Irrigation and salinity: A world-wide survey. New Delhi: ICID, 1976. 106p.
- Silva, M. O.; Freire, M. B. G. dos S.; Mendes, A. M. S.; Freire, F. J.; Duda, G. P.; Sousa, C. E. S. Risco de salinização em quatro solos do Rio Grande do Norte sob irrigação com águas salinas. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.2, p.8-14, 2007.
- Silva, M. O.; Freire, M. B. G. dos S.; Mendes, A. M. S.; Freire, F. J.; Sousa, C. E. S.; Góes, G. B. Crescimento de meloeiro e acúmulo de nutrientes na planta sob irrigação com águas salinas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, p.593-605, 2008.

- Suarez, D. L.; Lebron, I. Water quality criteria for irrigation with highly saline water. In: Heth, H.; Al-Massom, A. (ed.) Towards the rational use of high salinity tolerant plants. Kluwer Academia Publishers. v.2, p.389-397, 1993.
- Steppuhn, H. Pre-irrigation of a severely-saline soil with in situ water to establish dry land oranges. Transactions of the ASAE, v.44, p.1543-1551, 2001.
- Terceiro Neto, C. P. C. Estratégia de manejo de água salina na irrigação do meloeiro "Pele de Sapo". Campina Grande: UFCG. 2010. 176p. Tese Doutorado
- Wilding, L. P.; Odell, R. T.; Fehrenbacher, J. B.; Beavers, A. H. Source and distribution of sodium in solonchic soils in Illinois. Soil Science Society America Proceeding, v.27, p.432-438, 1963.
- Yaron, B. Water suitability for irrigation. In: Yaron, E.; Danfors, E.; Vaadip, Y. (ed.) Arid zone irrigation. Berlin:Springer-Verlag, 1973. p.71-88 Ecological Studies

Capítulo 11

Demanda hídrica e eficiência de uso da água em cultivos consorciados

Aderson S. de Andrade Júnior¹

¹ Embrapa Meio-Norte

- 11.1 Introdução
 - 11.2 Metodologia
 - 11.2.1 Caracterização da área experimental
 - 11.2.2 Dados climáticos
 - 11.2.3 Cultivares, semeadura e tratos culturais
 - 11.2.4 Sistema e manejo de irrigação
 - 11.2.5 Balanço de água no solo
 - 11.2.6 Determinação do coeficiente de cultivo por lisimetria de pesagem
 - 11.2.7 Eficiência do uso de água
 - 11.3 Demanda hídrica (kc)
 - 11.3.1 Consórcio mamona - feijão-caupi
 - 11.3.2 Consórcio algodão - feijão-caupi
 - 11.3.3 Consórcio milho - feijão-caupi
 - 11.4 Eficiência do uso de água (EUA)
 - 11.4.1 Consórcio mamona - feijão-caupi
 - 11.4.2 Consórcio algodão - feijão-caupi
 - 11.4.3 Consórcio milho - feijão-caupi
 - 11.5 Conclusões
- Referências bibliográficas

Recursos hídricos em regiões semiáridas:
Estudos e aplicações
ISBN 978-85-64265-03-5



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB

UFRB

Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia
Cruz das Almas - BA

11 Demanda hídrica e eficiência de uso da água em cultivos consorciados

11.1 INTRODUÇÃO

O consórcio de culturas é o sistema de cultivo em que a semeadura de duas ou mais espécies é realizada em uma mesma área, de modo que uma delas conviva com a outra, em todo ou em pelo menos parte do seu ciclo (Portes & Silva, 1996).

É um sistema de cultivo muito adotado entre os pequenos produtores no Brasil. A princípio, com a adoção dessa prática os produtores buscam a redução dos riscos de perdas de safra, devido às irregularidades climáticas típicas das regiões semiáridas (Beltrão et al., 1984). As vantagens dos cultivos consorciados em relação ao monocultivo são: o aumento da produção por unidade de área; a melhor distribuição temporal de renda; o aproveitamento mais adequado dos recursos disponíveis (energia solar, água e nutrientes) (Pinho et al., 1983); a diversificação da produção e a maior proteção ao solo (Fageria, 1989; Vandermeer, 1990).

Apesar de ser prática comum ao cultivo de sequeiro, o sistema consorciado apresenta excelente perspectiva e possibilidade de adoção também junto aos pequenos irrigantes nas principais áreas e distritos de irrigação na região Nordeste, por constituir-se em prática com potencial de melhorar a eficiência de aplicação de água.

No cultivo consorciado, as espécies normalmente diferem em altura e em distribuição das folhas no espaço, entre outras características morfológicas, que podem levar as plantas a competir por energia luminosa, água e nutrientes. A divisão da radiação solar incidente sobre as plantas, em um sistema consorciado, será determinada pela altura das plantas e pela eficiência de interceptação e absorção. O sombreamento causado pela cultura mais alta reduz tanto a quantidade de radiação solar à cultura mais baixa como a sua área foliar (Flesch, 2002).

Dado as especificidades dos cultivos consorciados, é muito importante a realização de estudos com o objetivo de se determinar a resposta do consórcio à irrigação. Nesses tipos de pesquisa, além de se poder determinar a lâmina de irrigação que maximiza a produção, pode-se definir a demanda hídrica (Kc) e a eficiência do uso de água.

Dessa forma, apresenta-se este capítulo que consiste em uma coletânea dos resultados quanto à demanda hídrica (Kc) e a eficiência do uso de água dos consórcios mais utilizados na região Nordeste, tais como: milho – feijão-caupi, algodão – feijão-caupi e mamona – feijão-caupi, quando os mesmos foram submetidos a diferentes níveis de disponibilidade de água no solo. Os resultados aqui apresentados são frutos de projeto de pesquisa conduzido no período de 2006 a 2008, sob a coordenação da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, Piauí. Entretanto, dado a especificidade do tema, antes da apresentação dos resultados alcançados nos ensaios, será apresentada a metodologia empregada, inclusive com a caracterização edafoclimática dos locais experimentais e os tratamentos culturais efetuados nos consórcios avaliados.

11.2 METODOLOGIA

11.2.1 Caracterização da área experimental

Os experimentos foram conduzidos durante dois anos (2006 e 2008) em Alvorada do Gurguéia (8°26'S, 43°52'W e 280 m de altitude) e Teresina (05° 05' S e 42° 48' W, a 74,4 m de altitude), Piauí. Em Alvorada do Gurguéia foram executados os ensaios com o consórcio mamona - feijão-caupi (2008), enquanto, em Teresina, foram conduzidos os experimentos com os consórcios milho - feijão-caupi (2006) e algodão - feijão-caupi (2008).

O solo das áreas experimentais é um Latossolo Vermelho-Amarelo (Alvorada do Gurguéia) e Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, de textura franco-arenosa (Teresina), cujas características químicas e físico-hídricas são apresentadas nas Tabelas 11.1 e 11.2. O clima dos dois locais, segundo Thornthwaite & Mather (1955), é sub-úmido seco (C1) (Andrade Júnior et al., 2005).

11.2.2 Dados climáticos

Os dados climáticos diários foram coletados por meio de uma estação meteorológica automática constituída por sensores de temperatura do ar, umidade

Tabela 11.1 Características químicas e físico-hídricas do solo da área experimental

Prof. (m)	pH (água)	MO g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	CTC	V %
0,0–0,2	6,68	14,86	10,0	0,16	1,58	1,07	0,04	1,02	3,87	73,6
0,2–0,4	5,29	38,40	2,7	0,13	0,46	0,55	0,01	1,95	3,10	37,1

Prof. (cm)	Granulometria (g kg ⁻¹)				Ds (Mg m ⁻³)	CC* (% em volume)	PMP	Classificação textural
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila				
0,0–0,2	629,0	240,5	24,5	106,0	1,70	18,43	6,11	Areia franca
0,2–0,4	545,5	252,5	46,0	156,0	1,60	15,51	7,49	Franco arenoso

Fonte: Laboratório de Solos - Embrapa Meio-Norte

* CC: capacidade de campo definida a – 10 kPa; PMP: ponto de murcha permanente; Ds: densidade do solo

Tabela 11.2 Características químicas e físico-hídricas do solo da área experimental

Prof. (m)	pH (água)	MO g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	CTC	V %
0,0–0,2	5,81	2,90	18,40	0,22	1,56	0,74	0,04	2,31	4,87	52,57
0,2–0,4	4,86	3,97	2,60	0,08	0,89	0,49	0,03	4,11	5,60	26,61

Prof. (m)	Granulometria (g kg ⁻¹)				Ds (Mg m ⁻³)	CC* (% em volume)	PMP	Classificação Textural
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila				
0,0 – 0,2	296,2	437,0	105,7	161,1	1,70	22,03	9,86	Franco Arenoso
0,2 – 0,4	232,5	424,7	116,7	226,1	1,80	21,58	13,45	F. Arg.-arenoso

Fonte: Laboratório de Solos, Embrapa Meio-Norte, Parnaíba - PI. 2008

* CC: capacidade de campo definida a – 10 kPa; PMP: ponto de murcha permanente; Ds: densidade do solo

relativa do ar, radiação solar global e velocidade do vento (2m), com os quais se estimou a evapotranspiração de referência (ET_o) diária pelo método Penman – Monteith.

Nas Tabelas 11.3 a 11.5 são apresentados as médias mensais de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar global, velocidade do vento (2 m) e ET_o – Penman Monteith, registrados durante os ensaios de campo em 2008, em Alvorada do Gurgueia e, em 2006 e 2008, em Teresina, PI, respectivamente.

Em ambos locais, os valores de temperatura do ar máxima, média e mínima variaram muito pouco e oscilaram na faixa de 35°C, 28°C e 20°C, respectivamente. A temperatura ideal para o desenvolvimento das culturas é de 20°C a 30°C (Embrapa, 2007). Os valores de temperatura do ar e umidade relativa do ar oscilaram dentro da faixa ideal para as culturas avaliadas nos consórcios (Embrapa, 2003, 2007; Cardoso, 2000), não tendo contribuído como causa de variação na resposta produtiva obtida com as lâminas de irrigação aplicadas.

A radiação solar global apresentou valores médios de 24,9 MJ/m²/dia, em Alvorada do Gurgueia, e de 18,8 MJ/m²/dia e 21,9 MJ/m²/dia, em Teresina, com a manutenção de

Tabela 11.3 Médias mensais de temperatura do ar – máxima (T_{max}), mínima (T_{min}) e média (T_{med}), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (WS) e radiação solar global (R_s) e totais mensais de evapotranspiração de referência (ET_o) e precipitação pluvial (P)

Mês	T _{max}	T _{min} (°C)	T _{med}	UR (%)	WS (m s ⁻¹)	R _s (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	ET _o (mm dia ⁻¹)	P (mm)
Junho	32,6	16,7	24,2	60,9	2,1	21,5	4,5	0,0
Julho	33,0	17,4	25,1	51,3	2,2	23,6	5,0	0,0
Agosto	35,3	18,9	27,2	42,4	2,1	27,0	5,7	0,0
Setembro	37,6	21,7	29,5	36,8	2,4	27,2	6,9	3,4
Outubro	37,9	22,7	30,2	37,4	2,4	25,0	7,0	2,6
Ciclo	35,3	19,5	27,2	45,8	2,2	24,9	5,8	6,0

Fonte: Estação agrometeorológica automática da Embrapa Meio-Norte

Tabela 11.4 Médias mensais de temperatura do ar – máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) – umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento a 2 m de altura (WS), radiação solar global (Rs), evapotranspiração de referência (ETo), estimadas pelo método de Penman - Monteith e precipitação pluvial (P)

Mês	Tmax	Tmin	Tmed	UR	WS	Rs	ETo	P
	(°C)			(%)	(m s ⁻¹)	(MJ m ⁻² dia ⁻¹)	(mm dia ⁻¹)	(mm)
Agosto	35,3	20,6	27,4	67,2	0,9	20,9	4,6	2,8
Setembro	37,0	22,3	29,1	61,6	1,0	22,4	5,1	2,1
Outubro	37,5	23,6	30,2	59,4	1,0	22,6	5,3	33,1
Novembro	35,9	23,6	29,1	66,9	0,9	21,6	4,7	38,8
Ciclo	36,4	22,5	28,9	63,8	1,0	21,9	4,9	76,8

Fonte: Estação agrometeorológica automática da Embrapa Meio-Norte

Tabela 11.5 Médias mensais de temperatura do ar – máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) – umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento a 2 m de altura (WS), radiação solar global (Rs), evapotranspiração de referência (ETo), estimadas pelo método de Penman - Monteith e precipitação pluvial (P)

Mês	Tmax	Tmin	Tmed	UR	WS	Rs	ETo	P
	(°C)			(%)	(m s ⁻¹)	(MJ m ⁻² dia ⁻¹)	(mm dia ⁻¹)	(mm)
Agosto	35,2	20,4	27,4	64,2	0,9	19,2	4,4	0,0
Setembro	36,8	21,6	28,8	60,6	0,9	19,9	4,6	0,0
Outubro	37,9	23,0	30,2	53,3	1,1	18,4	4,6	0,0
Novembro	37,5	23,2	30,3	55,9	1,1	17,9	4,4	0,0
Ciclo	36,9	22,0	29,2	58,5	1,0	18,8	4,5	0,0

Fonte: Estação agrometeorológica automática da Embrapa Meio-Norte

valores elevados de radiação solar (picos de 20 a 27 MJ m⁻² dia⁻¹), indicando a ocorrência de dias com elevada insolação nos dois locais durante o período de condução do ensaio. A condição climática, em Alvorada do Gurguéia, favoreceu o desenvolvimento da mamoneira, já que a mesma é uma planta de dias longos. Seu melhor desenvolvimento ocorre em áreas com boa insolação, com pelo menos 12 horas de sol por dia. Dias longos favorecem a formação de flores femininas, enquanto os dias curtos favorecem as masculinas.

Houve um ligeiro acréscimo nos valores médios de velocidade do vento e radiação solar global no ensaio conduzido em Alvorada do Gurguéia em relação aos ensaios de Teresina, o que contribuiu para a elevação nos valores de evapotranspiração de referência (ETo). Esse comportamento é considerado normal e devido à própria variabilidade inter-anual, que comumente ocorre com esses elementos climáticos.

Entretanto, apesar do ligeiro acréscimo na velocidade do vento (2m), a média diária foi de 1,0 m/s (Teresina) e de 2,2 m/s (Alvorada do Gurguéia), valores esses de baixa intensidade para sistema de irrigação por aspersão (< 2,5 m/s) (Scaloppi, 1986), não interferindo na uniformidade de distribuição de água na área irrigada, o que é extremamente desejável em ensaios dessa natureza.

No período de maior demanda do ano (setembro – outubro – novembro), a ETo diária, em Alvorada do Gurguéia, apresentou média de 5,8 mm/dia, ao passo que em Teresina, a ETo média diária foi de 4,9 mm/dia e 4,5 mm/dia. Esse comportamento fez com que as lâminas de irrigação aplicadas no ensaio executado em Alvorada do Gurguéia fossem superiores nesse período do ano, já que foram baseadas na ETo diária acumulada entre irrigações sucessivas, mas sem repercussão significativa no potencial de produção das culturas.

Quanto à precipitação pluvial, no final dos meses de setembro e outubro, houve registros de chuva de baixíssima magnitude (de 2,0 a 2,5 mm) em Alvorada do Gurguéia, que não afetou a qualidade das bagas da mamoneira, cv BRS Energia. Em Teresina, não houve registros de chuva em 2088. Porém, em 2006 ocorreu um total de 76,8 mm durante o ciclo. É importante ressaltar que, em ambos os locais, durante o período de aplicação das lâminas de irrigação diferenciais responsáveis pela imposição dos níveis de estresse hídrico no solo, não houve registros de chuvas, que pudesse prejudicar os ensaios, pela possibilidade de uniformização do conteúdo de água no solo.

11.2.3 Cultivares, sementeira e tratos culturais

Consórcio mamona - feijão-caupi: Avaliou-se a mamoneira, cultivar BRS Energia, em monocultivo e consorciada com feijão-caupi, cultivar BRS Guariba. Optou-se por essa cultivar, uma vez tratar-se de genótipo de ciclo precoce (120 dias), mais indicado para áreas de agricultura familiar, com maior potencial de produção em áreas com elevado risco climático.

A sementeira da mamoneira foi efetuada em 10/06/2008, em um espaçamento de 1,2m x 1,0m, em ambos os sistemas de cultivo (solteiro e consorciado). A sementeira do feijão-caupi ocorreu no mesmo dia, em um espaçamento de 0,60 m x 0,25 m, nos dois sistemas de cultivo. No sistema consorciado, foi semeada uma fileira de feijão-caupi para cada fileira de mamona (1M:1F), deixando-se 0,6 m de distância entre elas.

Na adubação de fundação, para a mamoneira, foram aplicados 20 kg ha⁻¹ de N (uréia), 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples) e 50 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). Na adubação de cobertura da mamoneira foram aplicados 40 kg ha⁻¹ de N (uréia), aos 30 dias após a sementeira, já que se trata de uma cultivar precoce. Devido aos níveis de fertilidade natural do solo e ao efeito residual da adubação do ano anterior, não houve necessidade de adubação do feijão-caupi.

Consórcio milho - feijão-caupi: O ensaio foi implantado com as culturas de milho, cultivar CMS 47, e feijão-caupi, cultivar BRS – Guariba. O arranjo espacial utilizado correspondeu a uma relação de uma fileira de milho para uma fileira de feijão-caupi (1:1) no sistema consorciado. A sementeira do milho foi feita no dia 24/08/2006, no espaçamento 0,80 x 0,25 m (em cultivo solteiro) e de 1,0 x 0,25 m (em cultivo consorciado). O feijão-caupi foi semeado no dia 31/08/2006, no espaçamento de 0,7 x 0,2 m (em cultivo solteiro) e de 1,0 x 0,25 m (em sistema consorciado). O intervalo

entre as datas de semeadura foi necessário para que houvesse coincidência nas fases críticas das culturas ao déficit hídrico.

A adubação de fundação foi efetuada no milho com 30 kg ha⁻¹ de N (uréia), 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples), 40 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio) e 5 kg ha⁻¹ de ZnSO₄ (sulfato de zinco). Procedeu-se à adubação de cobertura para o milho com 60 kg ha⁻¹ de N (uréia), em duas aplicações (oitava e décima segunda folha). No feijão-caupi, a adubação de fundação foi efetuada com 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples), 30 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). Os tratos culturais e fitossanitários foram realizados conforme as recomendações dos sistemas de produção das culturas praticados na região (Cardoso, 1998; 2000).

Consórcio algodão - feijão-caupi: Avaliou-se a cultivar BRS Camaçari, em monocultivo e consorciada com feijão-caupi, cultivar BRS Guariba. A semeadura do algodão herbáceo foi realizado no dia 07/08/2008, em um espaçamento de 1,20 x 0,20 m, em ambos os sistemas de cultivo (solteiro e consorciado). A semeadura do feijão-caupi ocorreu em 21/08/2008, com o uso de matracas, em um espaçamento de 0,60 x 0,20 m, em cultivo solteiro, e de 1,20 x 0,20 m, em cultivo consorciado, 13 dias após a semeadura do algodão herbáceo para que houvesse coincidência das fases críticas das duas culturas por ocasião do estresse hídrico. O arranjo espacial utilizado no sistema consorciado correspondeu a uma relação fixa de 1:1 (uma fileira de algodão herbáceo para uma de feijão-caupi).

Na adubação de fundação do algodoeiro herbáceo, foram aplicados 30 kg ha⁻¹ de N, 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O e na adubação de cobertura, realizadas em duas etapas, aos 35 e 55 dias após o plantio do algodoeiro, foram aplicados 50 kg ha⁻¹ de N e 30 kg ha⁻¹ de K₂O ha⁻¹, em ambas. Não foi realizada adubação no feijão-caupi. O controle de plantas daninhas foi realizado através de capinas manual sempre que necessário.

11.2.4 Sistema e manejo de irrigação

Consórcio mamona - feijão-caupi: O manejo da irrigação foi dividido em três etapas: i) da semeadura até 40 dias após a semeadura (DAS), foram aplicadas lâminas uniformes de irrigação, repondo-se a ETo acumulada no período anterior em todas as faixas, de modo a não provocar deficiência hídrica às plantas; ii) dos 40 DAS até aos 68 DAS, fase crítica do feijão-caupi e da mamona ao estresse hídrico, foram aplicadas lâminas diferenciadas de irrigação, repondo-se a ETo acumulada, de forma diferenciada em cada faixa irrigada (50% da ETo; 75% da ETo; 100% da ETo e 125% da ETo); iii) da fase crítica até a colheita, o manejo de irrigação voltou a ser baseado na ETo acumulada de forma igual em todas as faixas irrigadas. Nesse caso, usaram-se os dados de ETc, da faixa onde ocorreu a aplicação de 100% da ETo, para a estimativa do coeficiente das culturas solteiras e do consórcio.

A aplicação da água foi efetuada por um sistema de irrigação por faixas (Figura 11.1). Nesse sistema, os aspersores foram dispostos em um espaçamento de 12 x 12

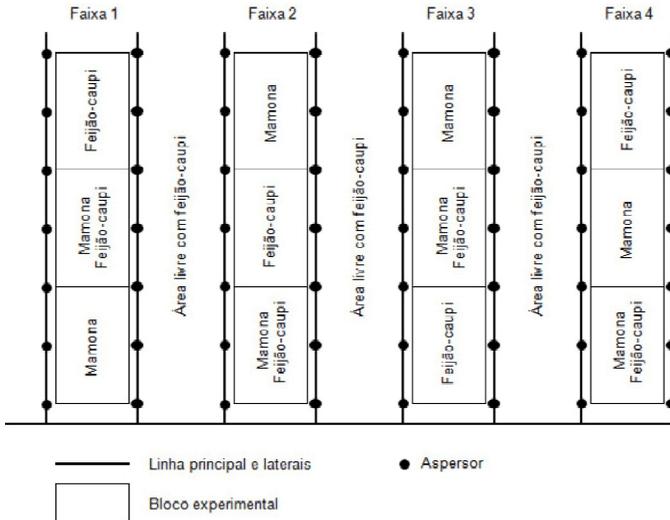


Figura 11.1 Sistema de irrigação por aspersão em faixas

m, com as lâminas de irrigação aplicadas ao longo de toda a faixa irrigada, por meio da imposição de tempos de irrigação distintos, obtidos com base na ET_0 acumulada no período anterior.

A quantificação das lâminas de irrigação aplicadas foi efetuada com o uso de coletores plásticos, da marca Fabrimar. Foram usados nove coletores, no centro de cada bloco experimental, com a lâmina média sendo calculada com base em 27 coletores na faixa, resultando em 108 coletores no ensaio.

Consórcio algodão - feijão-caupi: O manejo da irrigação foi dividido em três etapas: i) da semeadura aos 25 dias após a semeadura (DAS) do feijão-caupi e até os 39 DAS do algodão herbáceo, foram aplicadas lâminas uniformes de irrigação, repondo-se a ET_0 acumulada no período anterior, não provocando com isso estresse hídrico às plantas e garantindo a germinação e o desenvolvimento inicial das plantas e níveis de disponibilidade de água no solo semelhantes; ii) dos 25 DAS aos 56 DAS do feijão-caupi e dos 39 aos 70 DAS do algodão herbáceo, foram aplicadas lâminas diferenciadas de irrigação obtidas com base na reposição de evapotranspiração de referência local (ET_0) (125%, 100%, 75% e 50%), estimadas pelo método Penman-Monteith, impondo níveis diferentes de disponibilidade de água no solo (Figura 11.1); iii) a partir dos 70 DAS aos 95 DAS do algodão herbáceo, quando da abertura dos primeiros capulhos em todas as lâminas, e dos 56 DAS aos 64 DAS do feijão-caupi foram aplicadas novamente lâminas uniformes de irrigação, repondo-se a ET_0 acumulada não provocando estresse hídrico às plantas. Foram utilizados os dados de ET_c , da faixa onde ocorreu a aplicação de 100% da ET_0 , para a estimativa do coeficiente das culturas solteiras e do consórcio.

A aplicação da água foi efetuada por um sistema de irrigação por faixas (Figura 11.2). Nesse sistema, os aspersores foram dispostos em um espaçamento de 12 x 12 m, com as lâminas de irrigação aplicadas ao longo de toda a faixa irrigada, por meio da imposição de tempos de irrigação distintos, obtidos com base na ETo acumulada no período anterior. A quantificação das lâminas de irrigação aplicadas no ensaio foi efetuada utilizando-se o mesmo procedimento adotado para o consórcio mamona - feijão-caupi.

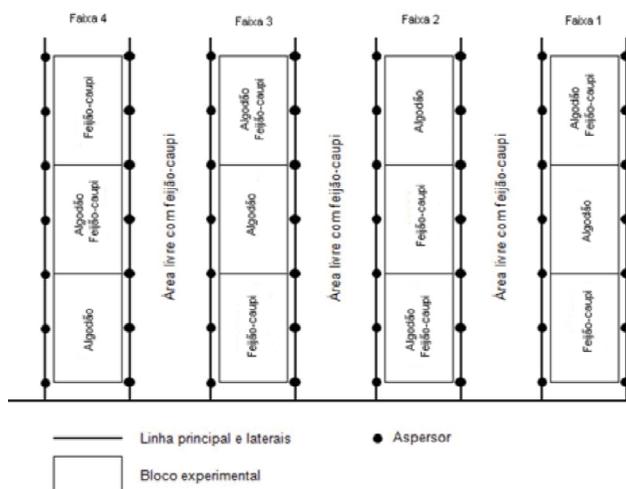


Figura 11.2 Sistema de irrigação por aspersão em faixas

Consórcio milho - feijão-caupi: No ensaio para obtenção das funções de respostas das culturas à água, usou-se um sistema de irrigação por aspersão convencional fixo, composto por linhas laterais e aspersores espaçados de 12 x 12 m (Figura 11.3). Posteriormente, durante a condução do experimento determinaram-se os valores médios das lâminas de irrigação em cada parcela, utilizando-se coletores, instalados dentro das parcelas, cujo conteúdo após cada irrigação, era medido por meio de uma proveta graduada em milímetros.

O sistema de irrigação operou até os 38 dias após a semeadura no espaçamento de 12 x 12m. Em seguida, no dia 02/10/06, adotou-se a aplicação das lâminas diferenciadas de irrigação utilizando-se o sistema de aspersão em linha (“Line Source”) (Hanks et al., 1976) (Figura 11.4). Essa fase foi concluída no dia 23/10/2006, perfazendo um total de sete irrigações diferenciadas, voltando, posteriormente, à irrigação convencional (12 x 12 m).

11.2.5 Balanço de água no solo

Para os consórcios mamona - feijão-caupi e algodão - feijão-caupi, usou-se o método do balanço de água no solo para as medidas da evapotranspiração da cultura

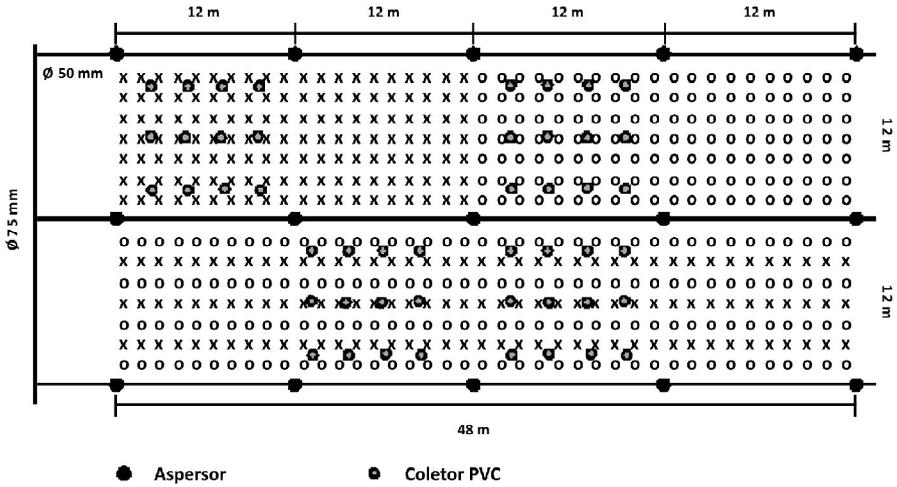


Figura 11.3 Sistema de irrigação por aspersão convencional usado no ensaio

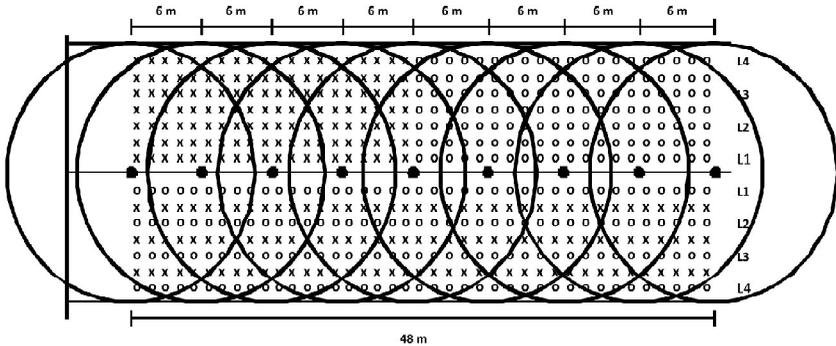


Figura 11.4 Sistema de irrigação por aspersão no esquema “line source”

(ETc), durante a fase crítica das culturas. Utilizou-se a sonda de capacitância Diviner 2000® (Sentek Pty Ltd) para as medidas diárias de conteúdo de água no solo, em camadas de 0,10 m, até a profundidade de 0,50 m (Andrade Júnior et al., 2006). Instalaram-se três tubos de acesso, na área central de cada bloco, em cada sistema de cultivo, totalizando 36 tubos de acesso de PVC.

Para a estimativa da ETc, usou-se a Eq. 11.1:

$$ETc_{ij} = \sum_{z=10}^{50} \theta_{ij} - \sum_{z=10}^{50} \theta_{(i+1)j} \tag{11.1}$$

em que:

ET_{cij} - evapotranspiração da cultura, no dia i, na lâmina j (j = 100% ETo) (mm);
 θ_{ij} - conteúdo de água no solo (% em volume), no dia i, na lâmina j;
 $\theta_{(i+1)j}$ - conteúdo de água no solo (% em volume) no dia seguinte, na lâmina j;
 Z - profundidade do solo na zona de raízes, para ambas as culturas (50 cm)

Uma vez definida a E_{Tc}, o cálculo do K_c, nos sistemas de cultivo solteiro e consorciado, foi efetuada com a Eq. 11.2:

$$Kc_{ij} = \frac{ETc_{ij}}{ETo_i} \quad (11.2)$$

em que:

K_{cij} - coeficiente de cultivo, no dia i, na lâmina j (j = 100% ETo) (mm);
 ET_{cij} - evapotranspiração da cultura, no dia i, na lâmina j (j = 100% ETo) (mm);
 E_{Toi} - evapotranspiração de referência, no dia i (mm).

11.2.6 Determinação do coeficiente de cultivo por lisimetria de pesagem

No caso do consórcio milho - feijão-caupi, a determinação do K_c foi efetuado pelo método da lisimetria de pesagem. Para tanto, utilizou-se uma estação lisimétrica composta por quatro lisímetros de pesagem. Cada lisímetro foi constituído por uma caixa medindo 1,5 m por 1,5 m de largura e 1,0 m de profundidade, construída em fibra de vidro de 9 mm de espessura apoiada sobre uma balança de precisão, contando com um sistema de drenagem. A balança eletrônica de cada lisímetro foi conectada por um cabo a um datalogger, que foi programado para fazer leituras dos sensores a cada 60 minutos. Dos quatro lisímetros, dois foram utilizados com o consórcio milho - feijão-caupi, um para o milho e o outro para o feijão-caupi. Os lisímetros foram instalados no centro de uma área de 1,4 ha. As irrigações foram feitas utilizando-se um sistema de aspersão convencional, em um espaçamento de 12 x 12 m. O monitoramento da tensão de água no solo foi realizado por meio de tensiômetros.

11.2.7 Eficiência do uso de água

A eficiência do uso da água (EUA) foi calculada dividindo-se a produtividade (kg ha⁻¹) pela lâmina de irrigação total aplicada (mm). No caso dos consórcios, a lâmina de irrigação total usada no cálculo foi a aplicada à cultura principal (milho, mamona e algodão). Estimou-se a produção equivalente das culturas em consórcios, convertendo-se os dados de produção de grãos de feijão-caupi em bagas de mamona (consórcio mamona – feijão-caupi), em grãos de milho (consórcio milho – feijão-caupi) e em algodão em caroço (consórcio algodão – feijão-caupi), com base na média dos preços mínimos do feijão-caupi, milho, mamona e do algodão herbáceo praticados no período de 2001 a 2009 (Conab, 2009), segundo as Eqs. 11.3 e 11.4:

$$Y_e = Y_p + rY_f \quad (11.3)$$

$$r = \frac{P_p}{P_f} \quad (11.4)$$

em que:

Y_e - Produção equivalente da cultura principal (mamona, algodão e milho) (kg ha^{-1});

Y_a - Produção da cultura principal em cultivo consorciado (kg ha^{-1});

Y_f - Produção de grãos de feijão-caupi no cultivo consorciado (kg ha^{-1});

r - Relação entre os preços mínimos do feijão-caupi e da cultura principal;

P_p - Média do preço mínimo da cultura principal ($\text{R\$ kg}^{-1}$);

P_f - Média do preço mínimo do feijão-caupi ($\text{R\$ kg}^{-1}$).

11.3 DEMANDA HÍDRICA (K_c)

11.3.1 Consórcio mamona – feijão-caupi

A variação do K_c da mamoneira em sistema monocultivo e consorciado com o feijão-caupi é mostrada na Figura 11.5. Em cultivo solteiro, o K_c medido apresentou valor mínimo de 0,25, nos primeiros 25 dias após a semeadura (DAS), correspondendo às fases de germinação até o estabelecimento da cultura. Na fase de pleno desenvolvimento vegetativo da cultura, o K_c variou de 0,55 (30 DAS) a 0,90 (50 DAS), apresentando valor médio de 0,70. A partir dessa fase, o K_c oscilou de 1,15 (65 DAS) a 1,25 (95 DAS), alcançando o valor máximo de 1,30, aos 85 DAS, coincidindo com o período de diferenciação da parte floral a formação dos frutos e sementes. A partir desse pico, verificou-se um decréscimo, próprio da fisiologia da cultivar,

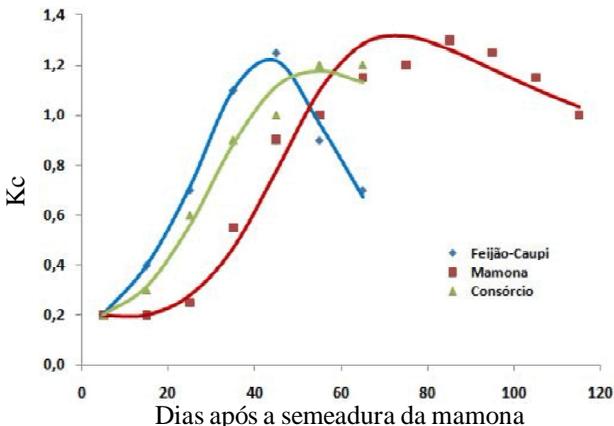


Figura 11.5 Curvas de K_c para a mamoneira em monocultivo e consorciada com o feijão-caupi

alcançando valores de 1,15 (105 DAS) a 1,0 (115 DAS), no período que se estende da maturação até a colheita dos primeiros cachos.

Valores semelhantes de Kc, em monocultivo, foram observados por Curi & Campelo Júnior (2004), com a cultivar Íris, de ciclo de 120 dias, em Santo Antonio de Leverger, MT, onde obteve valor máximo de 1,37, na fase reprodutiva. As semelhanças nos valores de Kc podem ser explicadas pelas características similares entre as cultivares, notadamente, o ciclo fisiológico de cultivo.

No consórcio, evidenciou-se que, até os 45 DAS, os valores de Kc foram superiores ao cultivo solteiro da mamoneira, em virtude da maior demanda evapotranspirativa do feijão-caupi nesse período. Da sementeira até os 25 DAS, os valores de Kc oscilaram de 0,30 (15 DAS) até 0,60 (25 DAS), com média de 0,40. Os valores de Kc aumentaram rapidamente desde os 35 DAS (0,90) até atingir o pico de 1,20, aos 55 DAS, coincidindo com o período de formação e enchimento de vagens do feijão-caupi. Com a colheita do feijão-caupi, aos 65 DAS, o consórcio deixou de existir e houve a manutenção desse mesmo nível de exigência hídrica (1,2), para atender agora a necessidade hídrica da mamoneira em cultivo solteiro. Valores semelhantes de Kc, em consórcio, foram observados por Andrade Júnior et al. (2008), com a cultivar BRS Nordestina, em ensaio conduzido em Alvorada do Gurguéia, PI, onde obteve valor máximo de 1,2, aos 55 DAS.

Os valores de Kc's obtidos resultaram em adequadas produtividades de bagas, em monocultivo (1.468,5 kg ha⁻¹), e em consórcio (1.276,7 kg ha⁻¹), demonstrando que a cultura ficou submetida a níveis adequados de umidade no solo durante a condução do experimento. As produtividades de grãos do feijão-caupi foram de 1.192,1 kg ha⁻¹ (monocultivo) e de 734,4 kg ha⁻¹ (consórcio). Os valores de produtividade equivalente, calculados com base na relação histórica de preços mínimos dos produtos, convertidos em bagas de mamona (1.952,5 kg ha⁻¹), demonstram que a adoção do consórcio mamona – feijão-caupi é mais vantajosa em relação ao monocultivo, conforme já identificado em outros estudos (Azevedo et al., 1997; Melo et al., 2003; Andrade Júnior et al., 2008).

11.3.2 Consórcio algodão – feijão-caupi

Na Figura 11.6 são apresentadas as curvas de Kc's do algodão herbáceo em sistema monocultivo e consorciado com feijão-caupi em função dos dias após a sementeira. O Kc do algodão herbáceo medido, em cultivo solteiro, apresentou o valor mínimo de 0,39, nos primeiros 20 DAS, correspondendo à fase de sementeira ao aparecimento das primeiras folhas verdadeiras. A partir dos 20 DAS, com o crescimento da cultura, o Kc se elevou, alcançando 0,65 aos 40 DAS, do aparecimento das primeiras folhas verdadeiras ao primeiro botão floral. Entre 40 e 70 DAS, o Kc se levou substancialmente alcançando o valor máximo de 1,16 aos 57 DAS coincidindo com o período de floração e formação inicial das maçãs. A partir desse pico, ocorreu um decréscimo característico da fisiologia do algodoeiro apresentando os valores de 0,79 a 0,38, dos 71 aos 110 DAS, período que compreende a maturação dos frutos se estendendo à colheita.

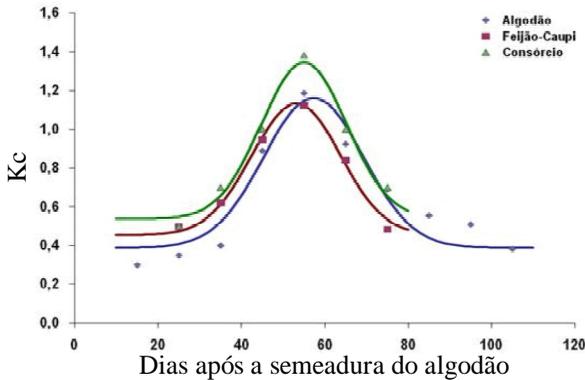


Figura 11.6 Curvas de Kc para o algodão herbáceo em monocultivo e consorciado com o feijão-caupi

Os resultados diferenciam-se dos encontrados por Barreto et al. (2003a), que ao considerarem um período da estação de cultivo de 100 dias de irrigação no algodão herbáceo, observaram valores de Kc superiores até os 40 dias e inferiores a partir deste período, em sistema monocultivo no município de Barreiras, BA (0,53, aos 20 dias, 0,69 aos 40 dias, 0,93 aos 80 dias e 0,67 aos 100 dias após a semeadura).

As diferenças de Kc observadas podem estar associadas à metodologia empregada para determinação da E_{Tc}, às características distintas das cultivares e às diferentes condições edafoclimáticas dos locais (solos, radiação solar, umidade relativa do ar e temperatura do ar).

No consórcio, o Kc medido apresentou valor mínimo de 0,53, nos primeiros 20 DAS, da semeadura ao aparecimento das primeira folhas do algodão herbáceo e feijão-caupi. A partir dos 20 DAS, com o crescimento das culturas, o Kc aumentou alcançando o valor de 0,81 aos 40 DAS e máximo de 1,34 aos 55 DAS, coincidindo com o período de florescimento e formação inicial das maçãs do algodão herbáceo e formação e enchimento de vagens do feijão-caupi. A partir deste máximo, os valores de Kc's decresceram da fase de maturidade fisiológica dos frutos à colheita do feijão-caupi, onde se finalizou o consórcio, atingindo os valor de 0,62, aos 77 DAS.

Os valores de Kc's do algodão herbáceo, em sistema consorciado, foram superiores ao monocultivo. Isso ocorreu devido ao aumento da demanda hídrica do consórcio para atender as exigências hídricas do feijão-caupi, bem como ao acréscimo no enfolhamento, ocasionando uma maior evapotranspiração das culturas em consórcio.

Os valores de Kc's obtidos resultaram em elevadas produtividades de algodão em caroço, em monocultivo (3.273,5 kg ha⁻¹), e em consórcio (2.438,2 kg ha⁻¹), demonstrando que a cultura ficou submetida a níveis adequados de umidade no solo durante a condução do experimento. O rendimento de grãos do feijão-caupi foi de 1.606,9 kg ha⁻¹ (monocultivo) e de 364,5 kg ha⁻¹ (consórcio). Os valores de produtividade equivalente, calculados com base na relação histórica de preços mínimos

($2.667,1 \text{ kg ha}^{-1}$), demonstram que a adoção do consórcio algodão herbáceo – feijão-caupi proporciona produtividades satisfatórias.

11.3.3 Consórcio milho – feijão-caupi

As curvas de K_c do milho solteiro, feijão-caupi solteiro e do consórcio milho - feijão-caupi são apresentadas na Figura 11.7. Para o milho solteiro, o K_c medido apresentou valor mínimo de 0,84, nos primeiros 25 dias após a semeadura (DAS), correspondendo as fases de semeadura e desenvolvimento vegetativo. Com o desenvolvimento da cultura, o K_c aumentou, alcançando o valor máximo de 1,5, aos 45 DAS, coincidindo com o período do pendoamento ao espigamento. A partir desse pico, verificou-se um decréscimo, próprio da fisiologia da cultivar.

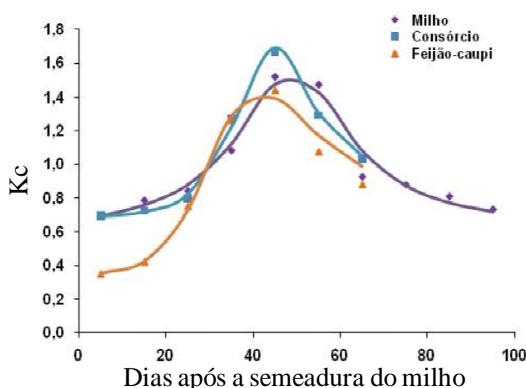


Figura 11.7 Curvas de K_c para o milho em monocultivo e consorciado com feijão-caupi

Valores menores de K_c em monocultivo foram observados por Carvalho et al., (2006), com uma cultivar de ciclo tardio de 150 dias, no Estado do Rio de Janeiro, onde obteve valor máximo de 1,12, na fase do pendoamento ao espigamento. Em Teresina, PI, os valores de K_c do milho em monocultivo obtidos por Lima et al. (1992) foram diferentes no período da semeadura ao pendoamento (0,76) e pendoamento ao espigamento (0,88). Estas diferenças podem ser explicadas pelas características de cultivar e pelas diferentes condições de solo e clima (radiação solar, umidade relativa do ar e temperatura do ar), durante a execução do experimento.

No consórcio, o K_c medido foi igual a 0,80, nos primeiros 25 DAS, correspondendo à fase de semeadura e desenvolvimento vegetativo. Com o desenvolvimento das culturas, o K_c aumentou, alcançando o valor máximo de 1,66, aos 45 DAS, coincidindo com o período do pendoamento ao espigamento. A partir desse pico, verificou-se um decréscimo até a fase de maturidade fisiológica. Os K_c 's da semeadura ao desenvolvimento vegetativo pleno, tanto no monocultivo como no consórcio, apresentaram valores próximos. Porém, na fase crítica (pendoamento ao espigamento),

o Kc no consórcio foi superior ao do cultivo solteiro. Isso ocorreu devido ao consórcio apresentar um maior IAF (índice de área foliar), ocasionando uma maior evapotranspiração das culturas em consórcio. Os elevados valores de Kc ocorridos no início do desenvolvimento das culturas deveram-se à maior evaporação do solo, já que as mesmas ainda não tinham atingido a plena cobertura do solo.

O Kc do feijão-caupi, em cultivo solteiro, apresentou valor mínimo de 0,42, nos primeiros 15 DAS, correspondente ao estágio vegetativo da cultura. No estágio de floração, aos 35 DAS, o Kc aumentou, chegando ao valor médio de 1,2, e alcançando o valor máximo no estágio de enchimento dos grãos de 1,4, aos 45 DAS. A partir desse pico, os valores de Kc sofreram decréscimos, oscilando entre 1,08 e 0,88, correspondendo ao estágio de maturação dos grãos. Valores distintos de Kc para feijão-caupi, em cultivo solteiro, foram observados por Andrade et al. (1993) (Kc máximo = 1,16), Souza et al. (2005) (Kc máximo = 1,27), Ferreira et al. (2006) (Kc máximo = 1,20) e Bastos et al. (2006) (Kc máximo = 1,29). Estas diferenças de Kc podem ser atribuídas às diferenças metodológicas, características de cultivar e pelas diferentes condições de solo e clima, durante o período de execução do experimento.

No cultivo em consórcio, o Kc, no estágio vegetativo, apresentou valor mínimo de 0,80, aos 25 DAS. No estágio de floração, os valores de Kc apresentaram elevação (média de 1,2) e chegando ao seu valor máximo (1,6), no estágio de enchimento dos grãos. A partir deste pico, verificou-se um decréscimo do Kc, correspondente ao estágio de maturação dos grãos do feijão-caupi, com valor médio de 1,08. Isso ocorreu devido ao consórcio apresentar um maior IAF (índice de área foliar), ocasionando uma maior evapotranspiração das culturas em consórcio.

11.4 EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA (EUA)

11.4.1 Consórcio mamona – feijão-caupi

Na Tabela 11.6 estão apresentados os rendimentos médios e a EUA das culturas de feijão-caupi e mamona em cultivo solteiro e consorciado em função das lâminas de

Tabela 11.6 Rendimento médio de grãos de feijão-caupi e de bagas de mamona e EUA, em cultivo solteiro e consorciado, em função das lâminas de irrigação aplicadas

LT (mm)	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)		PROD (kg ha ⁻¹)		EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)			PROD (kg ha ⁻¹)			
	FC	M	FCS	MS	FCS	MS	FCC	MC	C	FCC	MC
L1 – 505,8	755,4	1,556	1,671	787,0	1262,2	1,631	1,064	2,174	825,0	803,4	1642,1
L2 – 421,3	670,9	2,830	2,189	1192,1	1468,5	1,743	1,903	2,910	734,4	1276,7	1952,5
L3 – 375,7	625,3	2,538	1,929	953,7	1206,1	2,148	0,863	2,480	806,9	539,5	1550,6
L4 – 328,7	578,3	2,116	1,755	695,6	1014,7	0,532	0,849	1,089	175,0	491,2	629,6
Média		2,260	1,886	907,1	1237,9	1,514	1,170	2,163	635,3	777,7	1443,7

LT – lâmina total; EUA – eficiência do uso de água; PROD – produtividade de grãos e de bagas; FC – feijão-caupi; M – mamona; FCS – feijão-caupi solteiro; MS – mamona solteira; FCC – feijão-caupi consorciado; MC – mamona consorciada; C – consórcio mamona – feijão-caupi

irrigação aplicadas. Houve tendência de redução dos rendimentos de grãos de feijão-caupi e mamona, notadamente, em cultivo solteiro, à medida que as lâminas de irrigação aplicadas decresceram nas parcelas, refletindo a disponibilidade hídrica no solo às plantas pela imposição das diferentes lâminas de irrigação.

Em cultivo solteiro, os maiores rendimentos de bagas de mamona ($1.468,5 \text{ kg ha}^{-1}$) e de grãos secos de feijão-caupi ($1.192,1 \text{ kg ha}^{-1}$) foram alcançados com a aplicação da lâmina de irrigação L2 (670,9 mm e 421,3 mm), respectivamente, equivalente a reposição de 100% da ETo. Para ambas as culturas, a melhor resposta produtiva não ocorreu com a aplicação da maior lâmina de irrigação, indicando uma maior eficiência na utilização de água em termos produtivos, pois a aplicação de água em excesso ao solo deve ter contribuído para a redução da aeração das raízes e contribuído para a lixiviação de nutrientes da zona radicular.

As menores produtividades de bagas de mamona ($1.014,7 \text{ kg ha}^{-1}$) e de grãos de feijão-caupi ($695,6 \text{ kg ha}^{-1}$) foram alcançadas com a aplicação da lâmina de irrigação (L4), devido aos baixos níveis de umidade no solo e, conseqüentemente, às reduzidas taxas de ETr em relação à ETc.

Em termos médios, houve maior eficiência do uso de água pelo feijão-caupi ($2,26 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) em comparação com a mamoneira ($1,886 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), o que pode ser justificado pelo fato do feijão-caupi ter permitido uma produção de grãos razoável com a aplicação de uma menor lâmina de irrigação, indicando que a cultura é mais eficiente na utilização da água.

Em cultivo consorciado, a variabilidade dos rendimentos de bagas da mamoneira e de grãos de feijão-caupi, em função das lâminas de irrigação aplicadas, seguiu a ordem de grandeza das lâminas de irrigação aplicadas. Porém, as produtividades médias de bagas de mamona e de grãos secos de feijão-caupi, em cultivo consorciado, foram inferiores aos obtidos em cultivo solteiro. As características de maior competição por água, luz e nutrientes, inerentes ao cultivo consorciado, justificam plenamente esse comportamento produtivo (Melo et al., 2003; Melo et al., 2006).

Os dados de produção equivalente do consórcio (em kg ha^{-1} de bagas de mamona), para a aplicação de lâmina de irrigação de até 625,3 mm foram, novamente, superiores aos valores de produção de bagas em cultivo solteiro, indicando que o consórcio foi mais vantajoso em relação ao cultivo solteiro, em condições de adequado suprimento hídrico.

Em conseqüência desse comportamento, a EUA média do cultivo consorciado ($2,163 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) foi superior ao cultivo da mamoneira em cultivo solteiro ($1,886 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), embora tenha sido um pouco inferior ao cultivo solteiro do feijão-caupi ($2,26 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Esse quadro de superioridade se mantém para aplicação das maiores lâminas de irrigação (L1 a L3). Porém, sob condição de restrição hídrica, deve-se optar pelo feijão-caupi e mamoneira em cultivo solteiro, já que a EUA é superior nessa condição. Esse resultado é contraditório ao que a literatura afirma quanto à indicação, preferencial, de consórcios para regiões com regime pluviométrico

irregular ou sob condição de oferta reduzida de água para irrigação (Ferreira et al., 2008).

Esses resultados reforçam a tendência de maior adaptabilidade e resposta produtiva do consórcio mamona – feijão-caupi, em relação aos cultivos solteiros, sob condição de elevada disponibilidade hídrica no solo, comprovado pelos dados de produção equivalente, conforme já comentado acima (Azevedo et al., 1997; Melo et al., 2003; Andrade Júnior et al., 2008). A demanda evapotranspirativa da mamoneira e do feijão-caupi, nas duas formas de cultivo, foi regulada pelo perfil de extração de água das raízes, como reflexo da aplicação diferenciada das lâminas de irrigação.

11.4.2 Consórcio algodão – feijão-caupi

Na Tabela 11.7 estão apresentados as produtividades médias e EUA das culturas de feijão-caupi e algodão herbáceo em cultivo solteiro e consorciado, respectivamente, em função da aplicação das lâminas de irrigação aplicadas. Houve redução dos rendimentos de grãos de feijão-caupi e algodão em caroço, em cultivo solteiro e consorciado, à medida que a disponibilidade de água no solo decresceu, refletindo o balanço hídrico no solo, resultante da imposição de diferentes níveis de estresse hídrico às culturas.

Tabela 11.7 Produtividade média de algodão em caroço e de grãos de feijão-caupi e EUA, em cultivo solteiro e consorciado, em função das lâminas de irrigação aplicadas

LT (mm)	EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)		PROD (kg ha ⁻¹)		EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)			PROD (kg ha ⁻¹)				
	FC	A	FCS	AS	FCS	AS	FCC	AC	C	FC	AC	C
L4 - 376,8	474,7	3,512	7,030	1323,4	3337,0	1,646	5,287	6,107	620,2	2509,6	2899,1	
L3 - 307,3	405,2	5,229	8,079	1606,9	3273,5	1,186	6,017	6,582	364,5	2438,2	2667,1	
L2 - 262,3	360,2	4,278	9,010	1122,0	3245,5	1,510	6,154	6,845	396,0	2216,7	2465,4	
L1 - 217,3	315,2	4,816	6,063	1046,5	1910,9	1,347	6,349	6,932	292,8	2001,3	2185,1	
Média		4,459	7,545	1274,7	2941,0	1,422	5,952	6,617	418,4	2291,4	2554,2	

LT – lâmina total; EUA – eficiência do uso de água; PROD – produtividade de grãos; FC – feijão-caupi; A – algodão; FCS – feijão-caupi solteiro; AS – algodão solteiro; FCC – feijão-caupi consorciado; AC – algodão consorciado; C – consórcio algodão – feijão-caupi

As maiores produtividades de algodão em caroço (3.337,0 kg ha⁻¹) e de grãos secos de feijão-caupi (1.606,9 kg ha⁻¹), em cultivo solteiro, foram alcançados com a aplicação da lâmina total de irrigação L4 (474,7 mm) e L3 (307,3 mm), respectivamente. O monitoramento de água no solo mostrou que estas lâminas de irrigação proporcionaram níveis adequados de umidade no solo, 22,70% e 20,30%, respectivamente, sempre próximas à capacidade de campo, condição essencial para assumirem-se os valores de ETr medidos nessa faixa como ETc, o que permitiu o alcance de níveis de produção adequados para ambas as culturas.

No caso do feijão-caupi, a melhor resposta produtiva não foi obtida com a aplicação da maior lâmina de irrigação, demonstrando que, em termos produtivos, a cultura foi

mais eficiente na utilização da água. De fato, com a aplicação da lâmina L3 (307,3 mm) a EUA foi de $5,229 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, enquanto que o algodoeiro apresentou maior EUA ($9,01 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) com a aplicação da lâmina L2 (360,2 mm)

A menor produtividade de algodão em caroço, em cultivo solteiro, de $1.910,9 \text{ kg ha}^{-1}$, foi obtida com a aplicação da menor lâmina de irrigação (315,2 mm), a qual proporcionou a menor EUA ($6,063 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Por outro lado, a menor EUA ($3,512 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), no feijão-caupi solteiro, foi proporcionada pela maior lâmina de irrigação aplicada (376,8 mm), indicando que a cultura não é muito exigente em água.

Em cultivo consorciado, as produtividades médias de algodão em caroço e de grãos secos de feijão-caupi, foram inferiores aos obtidos em cultivo solteiro, conforme constatado também por Nóbrega et al. (1983) e Ferreira et al. (2008), no consórcio milho e feijão-caupi.

Entretanto, embora a EUA média das culturas individualmente tenha sido inferior ao cultivo solteiro ($FC = 1,422$ e $A = 5,952 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), a EUA média do consórcio algodão – feijão-caupi foi satisfatória ($6,617 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) e foi superior a EUA do feijão-caupi solteiro ($4,459 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). A maior EUA do consórcio ($6,932 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) foi obtida com a aplicação da menor lâmina de irrigação (315,2 mm).

É importante destacar que essa EUA foi praticamente a mesma do algodão solteiro ($7,03 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), com a aplicação da maior lâmina de irrigação (474,7 mm). Nesse caso, o irrigante aplicaria ao solo uma lâmina total de irrigação de 159,5 mm a menos de água, com a vantagem de ter diversificado sua produção com culturas distintas. Isso ocorreu porque em termos de produção equivalente de algodão em caroço, para baixa disponibilidade hídrica no solo, proporcionada pela aplicação da lâmina L1, o consórcio mostrou-se mais vantajoso que as culturas solteiras.

Esse comportamento é muito importante, pois sinaliza a possibilidade de emprego do cultivo consorciado em áreas irrigadas, caso os produtores desejem diversificar sua produção agrícola, com economia de água. Porém, há necessidade de estudos de viabilidade econômica do consórcio, para melhor definição da estratégia a ser adotada, já que ocorre uma redução na produtividade individual de ambas as culturas nessa condição.

11.4.3 Consórcio milho – feijão-caupi

Na Tabela 11.8 estão apresentados os rendimentos médios de grãos e a EUA das culturas de feijão-caupi e milho, em cultivo solteiro e consorciado, respectivamente, em função das lâminas de irrigação aplicadas. Houve uma tendência de redução dos rendimentos de grãos de milho e de feijão-caupi, em cultivo solteiro e consorciado, à medida que as lâminas de irrigação aplicadas decresceram, indicando o efeito deletério da deficiência hídrica no solo.

Em cultivo solteiro, os maiores rendimentos de grãos do milho ($4.214,6 \text{ kg ha}^{-1}$) e de feijão-caupi (1.599 kg ha^{-1}) foram alcançados com a aplicação das maiores lâminas de irrigação (L1 e L2), uma vez que estas proporcionaram níveis adequados de

Tabela 11.8 Rendimento médio de grãos de feijão-caupi e milho e EUA em cultivo solteiro e consorciado, em função das lâminas de irrigação aplicadas

LT (mm)		EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)		PROD (kg ha ⁻¹)		EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)			PROD (kg ha ⁻¹)		
FC	M	FCS	MS	FCS	MS	FCC	MC	C	FC	MC	C
L1 - 390,1	501,5	4,099	8,404	1599,0	4214,6	2,336	3,722	4,477	901,1	1850,6	2226,2
L2 - 380,2	491,6	3,811	7,853	1448,9	3860,4	1,325	3,690	4,110	454,4	1324,4	1513,8
L3 - 328,6	440,0	3,211	7,438	1055,2	3272,9	1,346	2,949	3,371	468,3	1715,6	1910,8
L4 - 259,1	370,5	1,817	1,651	470,8	611,8	0,724	1,788	2,001	194,4	678,9	759,9
Médias		3,235	6,337	1143,5	2989,9	1,433	3,037	3,490	504,6	1392,4	1602,7

LT – lâmina total; EUA – eficiência do uso de água; PROD – produtividade de grãos; FC – feijão-caupi; M – milho; FCS – feijão-caupi solteiro; MS – milho solteiro; FCC – feijão-caupi consorciado; MC – milho consorciado; C – consórcio milho – feijão-caupi

umidade no solo e taxas de evapotranspiração real (ET_r) satisfatórias em relação à evapotranspiração de referência (ET_o).

As menores produtividades de grãos de milho (611,8 kg ha⁻¹) e de feijão-caupi (470,8 kg ha⁻¹) foram alcançados com a aplicação da menor lâmina de irrigação (L4), devido aos baixos níveis de umidade no solo e às reduzidas taxas de evapotranspiração real (ET_r) em relação à evapotranspiração de referência (ET_o).

Em cultivo consorciado, a variabilidade do rendimento de grãos das culturas de milho e de feijão-caupi em função das lâminas de irrigação aplicadas foi semelhante à observada para essas mesmas culturas em cultivo solteiro. Porém, as produtividades médias de grãos de milho e de feijão-caupi, em cultivo consorciado, foram bastante inferiores aos obtidos em cultivo solteiro. As características de competição por água, luz e nutrientes, inerentes ao cultivo consorciado, justificam plenamente esse comportamento produtivo, conforme já demonstrado em diversos trabalhos com o feijão comum (Ramalho et al., 1990, Vieira, 1999, Flesch, 2002).

Entretanto, embora a EUA média das culturas individualmente tenha sido inferior ao cultivo solteiro (FC = 1,433 e M = 3,037 kg ha⁻¹ mm⁻¹), a EUA média do consórcio milho – feijão-caupi (3,497 kg ha⁻¹ mm⁻¹) foi superior a EUA do feijão-caupi solteiro (3,235 kg ha⁻¹ mm⁻¹). A maior EUA do consórcio (4,477 kg ha⁻¹ mm⁻¹) foi obtida com a aplicação da maior lâmina de irrigação (497,2 mm), sendo superior a EUA do feijão-caupi solteiro (4,099 kg ha⁻¹ mm⁻¹), com a aplicação da lâmina L1 (390,1 mm).

A adoção da irrigação do consórcio milho - feijão-caupi somente mostrou-se eficiente e viável quando a água for fator limitante à produção agrícola. De fato, com a aplicação da menor lâmina de irrigação (378,9 mm), a EUA do consórcio (2,0 kg ha⁻¹ mm⁻¹) foi superior à das culturas solteiras e permitiu uma produção equivalente em milho de 759,9 kg ha⁻¹. Porém, a adoção dessa estratégia deve ser avaliada do ponto de vista econômico, buscando-se definir a lâmina de irrigação que otimiza a receita líquida do irrigante, tendo como base o preço de venda dos produtos (milho e feijão-caupi) e o custo da água de irrigação, já que ocorre uma redução na produtividade individual de ambas as culturas nessa condição.

11.5 CONCLUSÕES

- A demanda hídrica das culturas em cultivo consorciado é superior ao cultivo solteiro;
- A eficiência do uso de água das culturas em cultivo consorciado é superior ao cultivo solteiro apenas sob condição de restrição hídrica no solo, devido à aplicação das menores lâminas de irrigação;
- Torna-se necessário a realização de estudos econômicos das funções de produção dos consórcios à irrigação, tendo como base os preços de venda dos produtos e o custo da água, para a adequada definição da viabilidade da adoção do consórcio em áreas irrigadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, C. de L. T.; Silva, A. A. G.; Souza, I. R. P.; Conceição, M. A. F. Coeficientes de cultivo e de irrigação para o caupi. Parnaíba: Embrapa - CNPAI, 1993. 6p. Comunicado Técnico, 9
- Andrade Júnior, A. S.; Bastos, E.A.; Barros, A. H. C.; Silva, C. O.; Gomes, A. A. N. Classificação climática e regionalização do semi-árido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. Revista Ciência Agronômica, v.36, p.143-151, 2005.
- Andrade Júnior, A. S.; Melo, F. B.; Maschio, R.; Ribeiro, V. Q.; Morais, E. L. C. Coeficientes de cultivo da mamoneira em sistema monocultivo e consorciado com feijão-caupi. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 3, 2008, Salvador. Anais... Salvador: Embrapa Algodão, 2008. CD Rom
- Andrade Júnior, A. S.; Silva, C. R.; Daniel, R.; Cavalcante, R. F.; Figueredo Júnior, L. G. M.; Souza, C. F. Calibração de sensor de capacitância para determinação do conteúdo de água em um Latossolo Amarelo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 35, 2006, João Pessoa. Anais... João Pessoa: SBEA, 2006. CD Rom
- Andrade, M. J. B.; Morais, A. R.; Teixeira, I. R.; Silva, M. V. Avaliação de sistemas de consórcio de feijão com milho-pipoca. Ciência e Agrotecnologia, v.25, p.242-250, 2001.
- Azevedo, D. M. P.; Lima, E. F.; Batista, F. A. S.; Lima, E. F. V. Recomendações técnicas para o cultivo (*Ricinus communis* L.) no Brasil. Campina Grande: Embrapa CNPA, 1997. 52p. Circular Técnica, 25
- Beltrão, N. E. de M.; Nóbrega, L. B. da; Azevedo, D. M. P. de; Vieira, D. J. Comparação entre indicadores agroecômicos de avaliação de agroecossistemas consorciados e solteiros envolvendo algodão “upland” e feijão “caupi”. Campina Grande: Embrapa CNPA, 1984. 36p.
- Cardoso, M. J. (org.). A cultura do milho no Piauí. 2.ed. Teresina: Embrapa Meio – Norte, 1998. 177p. Circular Técnica, 12

- Cardoso, M. J. A cultura do feijão-caupi no Meio-Norte do Brasil. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. p.127-154. Circular Técnica, 28
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento - Política de Garantia de Preços Mínimos. <http://consultaweb.conab.gov.br/consultas>. 25 Fev. 2011.
- Curi, S.; Campelo Júnior, J. H. Evapotranspiração e coeficientes de cultura da mamoneira (*Ricinus communis* L.) em Santo Antônio do Leverger - MT. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1, 2004, Campina Grande. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD Rom
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cultura do algodão herbáceo na agricultura familiar. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003. Sistemas de produção, 1, Versão Eletrônica
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema de produção da mamona. Pelotas: Embrapa Clima Temperado/ Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2007. Sistemas de produção, 11, Versão Eletrônica
- Fageria, N. K. Sistemas de cultivo consorciado. In: Fageria, N. K. (ed.) Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas. Brasília: Embrapa - DPU, 1989. p.185-196.
- Ferreira, V. M.; Andrade Júnior, A. S.; Silva, C. R.; Maschio, R. Consumo relativo de água pelo milho e pelo feijão-caupi, em sistemas de cultivo solteiro e consorciado. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.16, p.96-106, 2008.
- Ferreira, V. M.; Bastos, E. A.; Andrade Junior, A. S.; Campeche, L. F. S.; Silva, C. R. Coeficiente de cultivo do feijão-caupi no vale do Gurguéia – Piauí. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 35, 2006, João Pessoa. Anais. João Pessoa: SBEA, 2006. CD Rom
- Flesch, R. D. Efeitos temporais e espaciais no consórcio intercalar de milho e feijão. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, p.51-56, 2002.
- Hanks, R. J., Keller, J., Rasmussen, V. P., Wilson, G. D. Line source sprinkler for continuous variable irrigation crop production studies. Soil Science American Proceedings, v.40, p.426-429, 1976.
- Melo, F. B.; Beltrão, N. E. M.; Silva, P. H. S. Cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.) consorciada com feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) no semi-árido. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2003, 89p. Documentos, 74
- Melo, F. B.; Cardoso, M. J.; Andrade Júnior, A. S. Avaliação agroeconômica do sistema de produção de mamona em consorcio com o feijão-caupi. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 2, 2006, Aracaju. Anais... Aracaju: Embrapa Algodão/Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006. CD Rom
- Nóbrega, L. B.; Beltrão, N. E. M.; Azevedo, D. M. P. Avaliação agro-econômica de sistemas de consórcio com as culturas algodão herbáceo e feijões *Phaseolus* e *Vigna*. In: Reunião sobre Culturas Consorciadas no Nordeste, 1, Teresina. v.2, 1983, Teresina. Anais... Embrapa/UEPAE: Teresina, 1983.
- Pinho, J. L. N.; Vidal, J. C.; Pinto, C. A. de S.; Queiroz, G. M.; Frota, P. C. E. In: Reunião sobre Culturas Consorciadas no Nordeste, 1, Teresina, Anais... Teresina: Embrapa/UEPAE de Teresina, v.2, 1983.

- Portes, T. A.; Silva, C. C. Cultivo consorciado. In: Araujo, R. S. et al. (Coord). Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba: Potafos, 1996. 619p.
- Scaloppi, J. E. Critérios básicos para seleção de sistemas de irrigação. Informe Agropecuário. v.12, p.54-63. 1986.
- Silva, C. R.; Andrade Júnior, A. S.; Melo, F. B.; Sousa, A. B.; Souza, C. F. Calibração da sonda de capacitância Diviner 2000® em um Argissolo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 35, 2006, João Pessoa. Anais... João Pessoa: SBEA, 2006. CD Rom
- Thornthwaite, C. W.; Mather, J. R. The water balance. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.
- Vandermeer, J. H. Intercropping. In: Gliessman, S. R. (ed.) Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture. 1990. p.481-516.

Capítulo 12

Cambio climático y balance hidrológico: Estudio de caso en suelos Pampeanos, Argentina

Olga S. Heredia¹ & Alicia F. Cirelli²

¹ Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires

² Facultad de Ciencias Veterinarias - Universidad de Buenos Aires

- 12.1 Introducción
 - 12.2 Metodología
 - 12.3 Resultados obtenidos
 - 12.4 Consideraciones finales
 - 12.5 Agradecimientos
- Referencias bibliográficas

Recursos hídricos em regiões semiáridas:
Estudos e aplicações
ISBN 978-85-64265-03-5



INSA
Instituto Nacional do Semiárido
Campina Grande - PB

UFRB

Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia
Cruz das Almas - BA

12 Cambio climático y balance hidrológico: Estudio de caso en suelos Pampeanos, Argentina

12.1 INTRODUCCIÓN

El 2010 igualó al 2005 como el año más cálido desde 1880, cuando empezaron las mediciones sistemáticas de la temperatura terrestre con medios científicos, según muestran los registros hechos públicos por el Instituto Goddard de la NASA (GISS) y la Administración de la Atmósfera y los Océanos de Estados Unidos (NCDC-NOAA).

Concretamente, el 2010 concluyó con una desviación de 0,63 y 0,62 grados, respectivamente, con respecto a la media del periodo usado como referencia (1951-1980). La desviación en el 2005 fue de 0,61 grados, lo que supone una centésima menos que ahora, aunque el GISS asume que la diferencia es menor que el margen de error estadístico total.

“Si continúa la tendencia al calentamiento, como se espera si no se limitan los gases de efecto invernadero, el récord no se mantendrá por mucho tiempo”, aventura James Hansen, director del GISS. De hecho, la temperatura aumenta a pesar de que el mínimo reciente de irradiación solar está logrando el efecto máximo de enfriamiento.

Ahora, lo preocupante es que la temperatura mundial del 2010 excedió a la alcanzada en los registros del año 2005. Jansen et al (2010) encontró que contrariamente a lo que se piensa, el aumento de la temperatura no ha declinado, sino que ha aumentado en las últimas dos décadas.

La temperatura media anual de la República Argentina ha aumentado 1°C durante la última centuria, con similares características en todas las estaciones, siendo un poco superior entre junio y agosto (Hulme & Sheard, 1999; Nuñez et al., 2005).

Los cuatro escenarios climáticos que probablemente se relacionan con cuatro trayectorias de emisiones de GEI, definidas en el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (IEEE) del IPCC, se denominan B1, B2, A1 y A2.

La familia de escenarios y línea evolutiva A2 describe un mundo muy heterogéneo. La cuestión subyacente es la autosuficiencia y preservación de las identidades locales. Los perfiles de fertilidad en las distintas regiones tienden a converger muy lentamente, lo cual acarrea un aumento continuo constante de la población. El desarrollo económico tiene una orientación principalmente regional y el crecimiento económico

percápita y el cambio tecnológico están fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas (IPCC, 2007).

El cambio de emisiones de CO₂ proveniente de fuentes energéticas y/o industriales para el año 2080, varía de una disminución del 4% (escenario B1) a un aumento aproximado de 320% (escenario A2), si se compara con lo estimado para el año 2000 para estos cuatro escenarios. Estas estimaciones de futuras emisiones se calculan asumiendo que no existe ninguna puesta en práctica de políticas climáticas.

La concentración de CO₂ atmosférico aumenta de la concentración de 1999 (370 ppmv) a una concentración cercana a 550 ppmv en el escenario B1 para el año 2080, y por encima de 830 ppmv en el escenario A2. Las concentraciones de otros gases invernadero también aumentarían.

Es probable que Argentina se calentará más lentamente en el futuro, que el promedio global de temperatura (Figura 12.3). Sin embargo, dentro de Argentina, el norte del país se calentará considerablemente más rápido que el sur. Por ejemplo, en el escenario A2 alto el sur del continente se calentará a una velocidad de 0,25°C/década, mientras que el norte de Argentina se calentará a una velocidad de 0,4°C/década. Para el escenario B1-bajo, estas velocidades de calentamiento están reducidas por un factor de alrededor de tres.

Con relación a los suelos y teniendo en consideración lo propuesto por Jenny (1941), los mismos son el resultado de la interacción de cinco factores formadores, en los cuales el clima y por consiguiente el ambiente biológico fueron muy importantes en el desarrollo de los suelos de la región pampeana.

El hombre, con sus prácticas de uso, pone en movimiento procesos que modifican las interacciones entre el cambio climático y los suelos. En consecuencia, una posible variación en los mismos, podría conllevar a una modificación del actual equilibrio que los caracteriza.

El suelo es parte del problema como de la solución del cambio climático, por lo que es indispensable apoyar prácticas de uso del suelo que ayuden a mantener y o a mejorar su calidad, aunque existen vacíos de investigación sobre la posible evolución de los suelos del país (Heredía et al., 2009).

En paralelo, la frecuencia de heladas ha disminuido (Hulme & Sheard, 1999). Sierra y Pérez (2006), para el noroeste de Buenos Aires, encuentran que no es posible dilucidar si el aumento de las precipitaciones ocurridas en esa zona, sean temporales o permanentes, constituyen un cambio irreversible o forma parte de un ciclo de larga duración con fases secas y húmedas separadas por períodos de transición.

El suelo es parte del problema como de la solución del cambio climático, por lo que es indispensable apoyar prácticas de uso del suelos que ayuden a mantener y o a mejorar su calidad, aunque existen vacíos de investigación sobre la posible evolución de los suelos del país.

En el caso de aumento de la temperatura y las lluvias, modificarán el actual equilibrio de los suelos, estos cambios pueden acelerar el tiempo de los procesos químicos y biológicos más rápidamente que los de los tiempos geológicos llevándolos a un nuevo equilibrio en cortos plazos de tiempo.

El efecto del cambio climático ha sido estudiado desde el punto de vista productivo, agroecológico, hidrológico y económico (Seoane, 2009; Leva & Aguiar, 2009), sin embargo, pocos han evaluado el efecto que el cambio climático tendrá sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos (Heredia et al., 2006).

Specha et al. (2009) han encontrado evidencias sobre el cambio climático en la región oriental de secano de la República Argentina sobre las variables agrohidrológicas.

Barros (2004) señala que el clima tiende a una tropicalización, con una gran frecuencia de tormentas severas y un alto riesgo de provocar inundaciones. Los modelos climáticos que proyectan el futuro prevén, sin embargo, un estancamiento en el nivel de caída de agua (Camillioni & Barros, 2009).

Un aspecto importante del cambio climático regional es la disponibilidad de agua en el suelo. El clima genera, por un lado cambios en las precipitaciones y temperatura y por otro, reflejándose en consecuencia en el contenido de humedad del suelo y el agua disponible para las plantas (Huszar et al., 1999). Es así que se considera señalar como un aspecto importante del cambio climático regional, la disponibilidad de agua en el suelo.

Por lo señalado precedentemente, este trabajo se plantea como objetivo analizar el impacto posible sobre los suelos y sus balances hídricos en la región pampeana Argentina frente a distintos escenarios de cambios en las precipitaciones, temperaturas y la combinación de ambos parámetros. También se analizara el efecto del uso de la tierra sobre los balances hidricos.

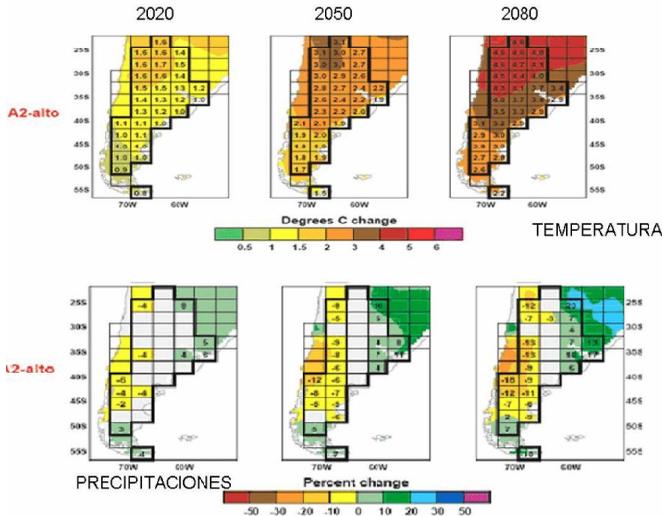
12.2 METODOLOGIA

Para evaluar los efectos que el cambio climático puede tener en los suelos de la región pampeana, se eligió el peor escenario de emisión de CO₂ planteado por el IPCC (2007 y 2008) que es el A2 (emisión de 850 ppm de CO₂). Estas estimaciones de futuras emisiones se calculan asumiendo que no existe ninguna puesta en práctica de políticas de prevención de emisiones. En el cual, en la región pampeana, para el año 2080 (Figura 12.1), se estiman aumentos de la temperatura promedio de 3°C (2.9 a 3.7°C) y un 10% de incremento en las precipitaciones. Este incremento de 3 °C coincide por lo encontrado por Nuñez et al. (2005).

Se hipotetiza la tendencia general de evolución de los suelos en función a los actuales procesos pedogenéticos que han permitido la evolución de los suelos pampeanos y como estos pueden evolucionar si la temperatura y las precipitaciones aumentan (Heredia, 2011).

Se realizaron balances hidrológicos seriados para suelos del oeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, teniendo en cuenta datos climáticos locales, como temperatura y precipitaciones y características edafológicas como el valor de humedad a capacidad de campo obtenidos *in situ* (valores reales).

Los suelos sobre los que se trabajó fueron Hapludoles énticos y típicos de los partidos de 25 de Mayo, Carlos Casares, 9 de Julio y Trenque Lauquen, se evaluaron



Fonte: Adaptado de Hulme y Sheard (1999)

Figura 12.1 Cambios en la temperatura media y precipitación media anual (1961 a 1990) para el escenario A2 y los años 2020, 2050 y 2080 en la Republica Argentina

suelo bajo labranza convencional vs. siembra directa y un suelo sin uso y uso bajo feedlot, respectivamente (Figura 12.2).

Los balances se hicieron considerando el escenario climático actual y combinaciones de aumento de temperatura y precipitaciones según el escenario de emisión del IPCC: A2.



Figura 12.2 Area bajo estudio

Se tuvieron en consideración las temperaturas y precipitaciones medias mensuales para el período 1986-2006 y en base a estos valores se calculó lo que pasará en el balance con un aumento de la temperatura en 3°C solamente, un aumento en las precipitaciones de 10% solamente y una situación de combinación de 3°C sumado a 10% en las precipitaciones.

En los suelos de estudio, se determinó la humedad a capacidad de campo y marchites permanente. La primera fue utilizada como variable que expresa el contenido hídrico en el balance de agua del perfil. Los balances se calcularon con el programa BALUBA (Hurtado, 1991) a partir del dato de humedad equivalente de cada suelo y los datos climáticos. Se compararon los excesos y deficiencias de agua útil entre los escenarios considerados. El modelo de circulación atmosférica que utilizado es el MAGICC climate model.

12.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Hacia el oeste y norte del país en función al balance hídrico que se produzca es posible el aumento del proceso de desertificación. Además, si se produjera un aumento del nivel del mar y en consecuencia del nivel de base de ríos y arroyos (Kokot, 2009), esto podría reflejarse en un aumento de la superficie de suelos hidrohalomórficos.

Los expertos también plantean la pérdida de territorio, como en nuestras costas donde el nivel del mar está creciendo a razón de cuatro centímetros por década, donde la costa sur de la Bahía de Samborombón, así como ciertas regiones al sur de Bahía Blanca, serían las más afectadas.

Es decir, que si contemplamos el impacto del cambio climático sobre el suelo, debemos tener en cuenta su influencia sobre las modificaciones que se producirían sobre la diversidad biológica (IPCC, 2008), sobre los agroecosistemas, los sistemas productivos y sobre los valores de mercado de las tierras.

Para el escenario A2 el aumento de la temperatura de sur a norte variará entre 2.9 a 4.1°C, con un aumento de las precipitaciones del 6 al 10% (Hulme & Sherad, 1999). Esto, además de provocar un descenso en los niveles de materia orgánica por el cambio del balance hidrológico que se producirá en la zona, con épocas marcadas de déficits hídricos, podría acelerar el proceso de lixiviación de bases en los períodos húmedos como consecuencia de las mayores precipitaciones, acompañado también por el aumento de la temperatura que acelera las reacciones químicas. Estos cambios podrían generar como consecuencia una acidificación del suelo. Con periodos marcados de sequía y humedecimiento puede ocurrir una translocación acentuada de arcillas con un cambio textural abrupto. Si se consideran estos cambios y se plantean en relación a su impacto sobre el territorio, podría suponerse que bajo el escenario en estudio, ocurriría una disminución en la superficie de suelos Molisoles y un aumento de los Alfisoles.

Muchos establecimientos agropecuarios llevan registro de precipitaciones, pero sin embargo no de temperaturas. De estos registros se puede analizar que en términos

generales se han producido un incremento en las precipitaciones para un período analizado de 100 años (Figura 12.3).

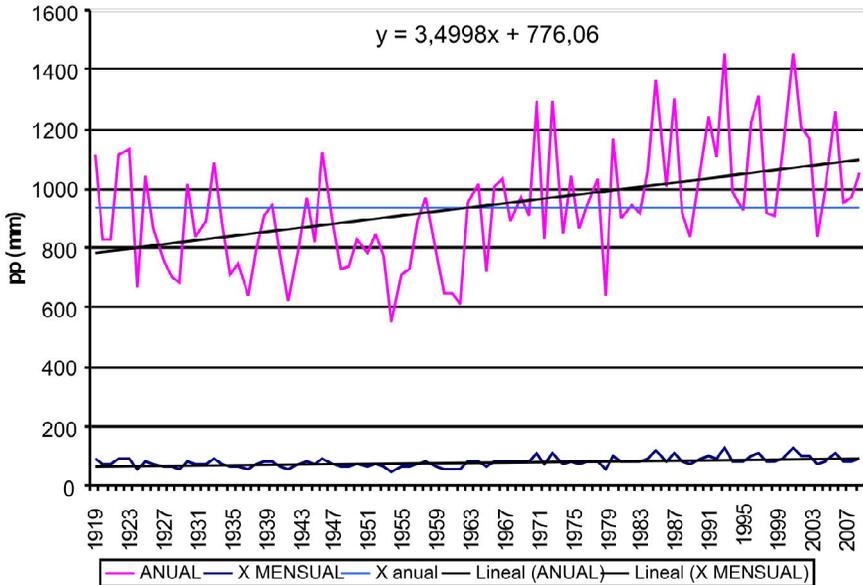


Figura 12.3 Aumento de las precipitaciones anuales (1909-2009) en un establecimiento agrícola de 25 de Mayo, Buenos Aires, Argentina

Puede observarse que a partir del año 1966 se produce un incremento en las precipitaciones registradas en el establecimiento analizado, esto distorsiona la visión del productor que piensa en la tendencia directa al incremento en la disponibilidad de agua, sin embargo al no haber registros de temperatura no se aprecian adecuadamente los cambios en el clima. La temperatura modifica claramente los resultados de los balances hídricos y el almacenaje de agua en el suelo y por consiguiente la producción agropecuaria. Otra cosa que no es usual es conocer la disponibilidad de agua real en un perfil teniendo en cuenta las curvas de retención hídrica y la densidad aparente del suelo.

Teniendo en cuenta las variaciones de temperatura y precipitaciones teniendo en cuenta todas las variantes atmosféricas para el escenario A2 del IPCC en suelos de Trenque Lauquen (Buenos Aires) se han encontrado los siguientes resultados (Figura 12.4).

Para el balance hidrológico actual se encontró un déficit de agua en enero y diciembre y un exceso anual de 257mm, los excesos ocurren de mayo a octubre. La recarga de los suelos ocurre en otoño.

La situación estimada hacia el año 2080, con un aumento del 10% en las precipitaciones, arrojó un déficit no significativo en diciembre y un exceso de 366 mm

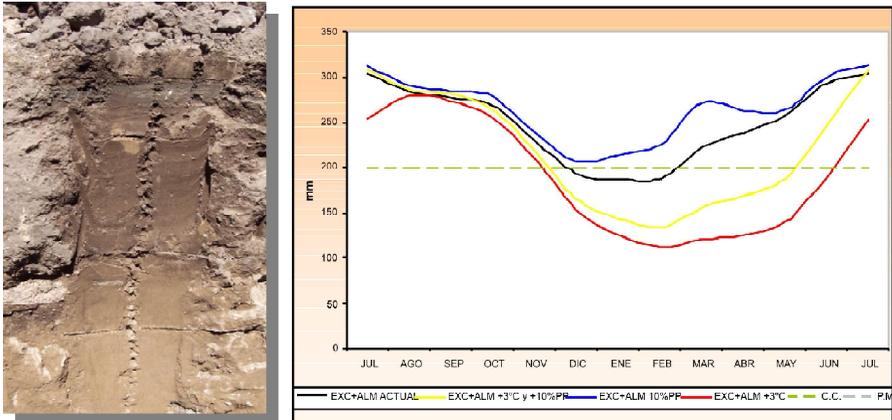


Figura 12.4 Excesos y almacenaje de agua en Hapludoles de Trenque Lauquen, Buenos Aires

anual durante los meses de marzo a noviembre. Esto es un aumento de 30% en el agua que abandona el perfil y lixivia hacia el acuífero freático. Este aumento produce intensificación de la pérdida de materiales del suelo, y podría aumentar la productividad de los cultivos en la zona por la mayor disponibilidad del recurso hídrico.

Cuando se evalúan los excesos hídricos se ve que si sólo aumentaran las precipitaciones en un 10% sólo habría 3 meses en el año sin excesos, a diferencia de los 5 meses actuales, bajo condiciones de aumento de la temperatura los meses sin exceso aumentarían (Figura 12.5).

Si el aumento fuera de 3°C en la temperatura y las precipitaciones fueran iguales a las actuales el exceso de agua será de 109 mm, lo que implica graves problemas de abastecimiento de agua para los principales cultivos y una disminución importante de la recarga de agua para los acuíferos.

En la situación combinada de aumento de 3°C en la temperatura y de 10% en las precipitaciones, el exceso de agua sería de 201 mm año⁻¹. En enero, habría déficits de agua (12 mm) mayores a las actuales, hay excesos de 27 mm de agua en octubre y hay equilibrio en los meses de noviembre y diciembre, coincidiendo con lo encontrado para la región pampeana por Nuñez et al. (2005) acotando severamente el período productivo.

Actualmente hay déficits de humedad de noviembre a mayo, en el escenario A2 los habría entre noviembre y junio.

Cuando el aumento es sólo de precipitaciones (+10% en las medias mensuales), el balance anual sería muy positivo ya que no se registran deficiencias significativas a lo largo del año. Si se consideran los excesos, habría un aumento de 30% del agua que abandona el perfil con posibles consecuencias negativas en cuanto a lixiviación de sustancias desde el suelo hacia el acuífero.

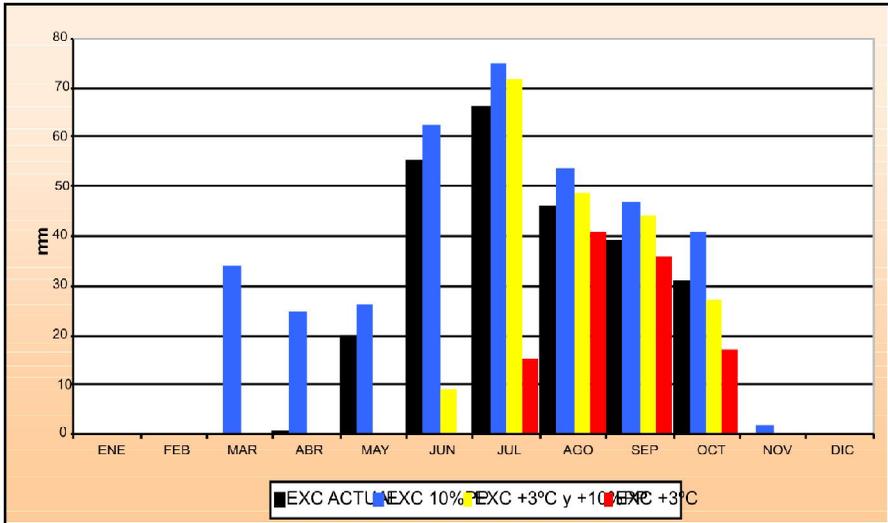


Figura 12.5 Meses con excesos hídricos bajo las distintas condiciones de cambio climático

Por lo expuesto, se deberá tener en cuenta la transición a los cambios que se avecinan para ajustar las prácticas de producción hacia la nueva situación hidrológica.

Cuando se comparan distintos usos de la tierra surge primeramente que para los tratamientos de siembra directa (SD) y feedlot (F) la capacidad de campo aumenta en un 13% y 32% en promedio respecto de labranza convencional (LC) y testigo (T), respectivamente. Lo cual favorece una mayor retención hídrica.

Cuando se evaluó las diferencias entre distintos escenarios de cambio climático se encontró que para los suelos de 9 de julio en las situaciones de +3°C solamente y +3°C +10%pp, respecto a la situación actual el almacenaje de agua útil anual por debajo de la capacidad de campo disminuye en 12% y 6%, respectivamente. Estas situaciones hídricas más desfavorables se dan desde noviembre hasta febrero en la actualidad, hasta marzo en +3°C y 10% pp, y hasta abril en +3°C. El almacenaje aumenta en 1% en la situación de 10% más de precipitaciones.

En los suelos de T. Lauquen, la disminución del contenido hídrico por debajo de capacidad de campo es superior en comparación con 9 de julio, siendo para +3°C de 25% menos que la actual, para +3°C + 10% pp es de un 13% menos que la actual.

Estas situaciones de deficiencia comienzan en noviembre y se extienden hasta julio del siguiente año en la peor situación que es la de +3°C.

Respecto a los excesos hídricos, los tratamientos de +3°C y +3°C+10%pp revelan una disminución del agua que abandona el perfil y podría aumentar la recarga de los acuíferos en un 58% y 20% en 9 de julio sin diferencias entre usos del suelo y de 55 y 20% para el Testigo y de 59 y 23% para feedlot en Trenque Lauquen.

En la situación de +10% pp, los excesos anuales aumentan un 38 y 42% para 9 de Julio y T. Lauquen respectivamente sin diferencias entre usos de la tierra para estos suelos.

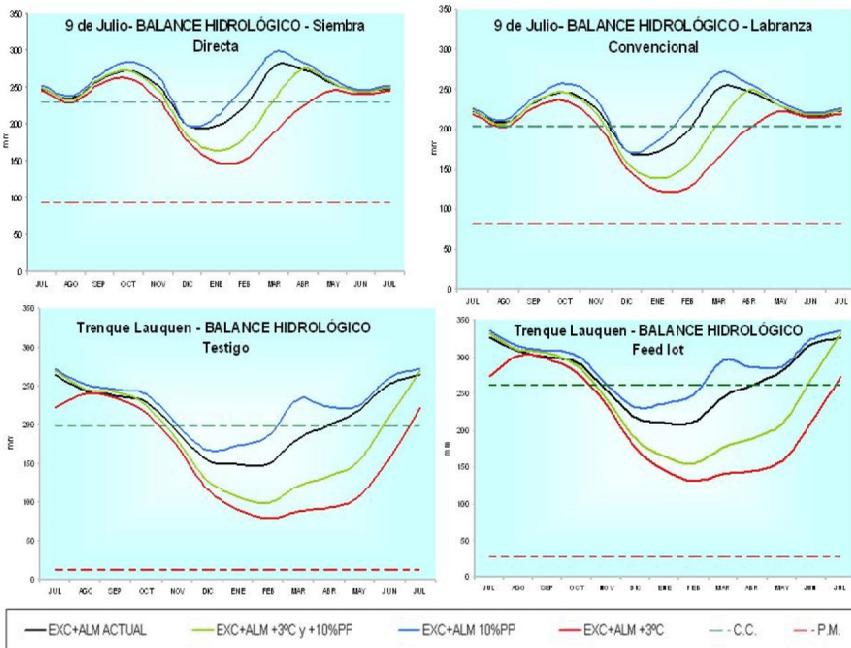


Figura 12.6 Balances hidrológicos de Hapludoles bajo distinto uso de la tierra

El uso de la tierra afecta propiedades de los suelos como ser el contenido de materia orgánica y los valores de almacenaje de agua útil, lo que modificaría los valores absolutos de humedad de los mismos. Esto obligaría a plantear distintas estrategias de mitigación a la producción como son el uso de agua para riego, de las cuales no se tiene una conciencia clara de la cantidad y calidad de la misma, como otras como el uso de variedades genéticamente adaptadas a la sequía.

Se ha visto que para un mismo tratamiento de simulación no existen grandes diferencias relativas entre las variables hidrológicas analizadas.

A partir de este trabajo se podría decir que los efectos del cambio climático podrían llegar a ser muy perjudiciales para el desarrollo de la actual producción agrícola Argentina ya que según estas estimaciones se modificarían sustancialmente las variables que definen estos agro- ecosistemas.

De todas maneras, las estimaciones sobre escenarios futuros con respecto al cambio climático son una herramienta valiosa, la cual, debe ser analizada y evaluada junto a las demás variables del sistema a la hora de tomar decisiones ambientales y productivas que puedan afectar, ya sea, al recurso edáfico como al hídrico.

12.4 CONSIDERACIONES FINALES

Para los escenarios climáticos evaluados, los cambios en la temperatura y precipitaciones producirán cambios en las propiedades de los suelos y la velocidad con las que estas ocurren. Posiblemente se pierdan suelos Molisoles que evolucionarían a Alfisoles según las condiciones de equilibrio ecológico final al que se llegue.

En condiciones de un aumento del agua que infiltra incrementaría el lavado de sales, materia orgánica del suelo, bases, metales, arcillas y demás componentes del suelo hacia horizontes más profundos y hacia la capa freática.

Para los Hapludoles, la situación combinada de aumento en 3°C en la temperatura y 10% en las precipitaciones producirán un exceso de agua de 201 mm/año, menor a la actual, generando menor recarga de acuíferos.

El uso de la tierra afecta propiedades de los suelos como ser la capacidad de campo, lo que modificaría los valores absolutos de humedad de los mismos. Se ha visto que para un mismo tratamiento de simulación no existen grandes diferencias relativas entre las variables hidrológicas analizadas.

A partir de este trabajo se podría decir que los efectos del cambio climático podrían llegar a ser perjudiciales para el desarrollo de la actual producción agrícola en suelos del oeste pampeano, ya que según estas estimaciones se modificarían sustancialmente las variables que definen estos agroecosistemas, haciéndolos más vulnerables a procesos de degradación física y química.

Por otro lado se introducirían modificaciones en los sistemas productivos, dadas en parte por modificaciones en los rendimientos, modificaciones en la forma de realizar las producciones, en el esquema de producción planteado, pudiendo incluir modificaciones en la producción agrícola (diversificación de cultivos, rotaciones, manejo del suelo) y en la producción pecuaria. Habría que considerar entonces cual sería el impacto sobre los productores y la capacidad que tendrían los mismos de adaptarse a estos cambios. No hay que olvidar que se trata de modificaciones dentro de un agroecosistema, el cual es el producto de la interacción entre los recursos destinados a una producción y el hombre que se inserta en él haciendo un uso del mismo.

De todas maneras, las estimaciones sobre escenarios futuros con respecto al cambio climático constituyen una herramienta valiosa, que junto con el seguimiento que el productor y técnicos tengan de las variables climáticas y de los datos edáficos permitirán tomar decisiones ambientales y productivas que puedan afectar, ya sea, al recurso edáfico como al hídrico.

No debe dejarse de tener en cuenta que los modelos de cambio climático presentan incertidumbre, por lo que aquí expresado constituyen especulaciones o ejercicios intelectuales de lo que podrá llegar a suceder en este siglo.

12.5 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con los proyectos de la UBA: UBACyT 20020090200140 y V009.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Heredia, O. S. Procesos formadores de los suelos. In: Conti, M.; Giuffré, L. (ed.). Edafología. Bases y aplicaciones ambientales argentinas. Buenos Aires: EFA, 2011. p.153-179.
- Heredia, O. S.; Pascale, C.; Mengoni. Evolución de los suelos frente a diferentes escenarios de cambio climático. Estrategias integradas de mitigación y adaptación a cambios globales. Buenos Aires: CYTED. PIUBACC, 2009.
- Hansen, J. <http://www.giss.nasa.gov/staff/jhansen.html>. 30 Jan. 2011.
- Hansen, J.; Ruedy, R.; Sato, M.; Lo, K. Global surface temperature change. *Reviews Geophysics*, v.48, RG4004, 29p. 2010. doi:10.1029/2010RG000345.
- Hulme, M.; Sheard, N. Climate change scenarios for Argentina. Norwich: Climate Research Institute, 1999. 10p.
- Hurtado, R. Balance hidrológico climático con coeficientes de cultivo. BALUBA, versión 1.0. Cátedra de climatología y fenología agrícola, Buenos Aires: FAUBA. 1991.
- Huszár, T.; Mika, J.; Lóczy, D.; Molnar, K.; Kertész, A. Climate change and soil moisture: A case study. *Physics Chemistry of the Earth*, v.24, p.905-912. 1999.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change. Synthesis report. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf: 114p. PNUMA. 2007. 30 Jan. 2011.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambio climático y agua. Ciudad de Panamá: PNUMA, 2008. 224p.
- Jenny, H. Factors of soil formation. A system of quantitative pedology. New York: McGraw-Hill, 1941. 281p.
- Nuñez, M. N.; Solman, S.; Cabre, M. F.; Rolla, A. Estimación de escenarios regionales de cambio climático mediante el uso de modelos climáticos regionales. Informe final CIMA/CONICET B-9 Modelos climáticos regionales. GEF BIRF PF 51286 AR. 2005.



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PATROCÍNIO



APOIO

Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação



SECRETARIA DA
AGRICULTURA, IRRIGAÇÃO
E REFORMA AGRÁRIA

