

ÁGUA

Desafios para a
Sustentabilidade
da Agricultura

Lineu Neiva Rodrigues
Azeneth Eufrausino Shuler
Editores Técnicos

ÁGUA

DESAFIOS PARA
A SUSTENTABILIDADE
DA AGRICULTURA

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Embrapa Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

ÁGUA

DESAFIOS PARA A SUSTENTABILIDADE DA AGRICULTURA

*Lineu Neiva Rodrigues
Azeneth Eufrausino Schuler*
Editores Técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2016

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

Rodovia BR-020, Km 18
Caixa Postal 08223
CEP 73310-970 Planaltina, DF
Fone: (61) 3388-9898
Fax: (61) 3388-9885 | 3388-9879
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Unidades responsáveis pelo conteúdo

Embrapa Cerrados e Embrapa Solos

Comitê Local de Publicações da Embrapa Solos

Presidente: *José Carlos Polidoro*
Secretária-executiva: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*
Membros: *Alba Leonor da Silva Martins, Cesar da Silva Chagas, Enyomara Lourenco Silva, Evaldo de Paiva Lima, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Luciana Sampaio de Araujo, Maria Regina Capdeville Laforet, Mauricio Rizzato Coelho, Moema de Almeida Batista, Wenceslau Gerales Teixeira, Ademar Barros da Silva, Adriana Vieira de Camargo de Moraes*

Nota: *A Embrapa é uma empresa que respeita os direitos autorais. No entanto, não conseguimos localizar os autores de algumas imagens utilizadas nesta obra. Se você é autor de alguma ou conhecer quem o seja, por favor, entre em contato com a Embrapa Informação Tecnológica, no endereço acima.*

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, nº 1.024
Bairro Jardim Botânico
CEP 22460-000 Rio de Janeiro, RJ
Fone: (21) 2179-4500
Fax: (21) 2179-5291
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Unidade responsável pela edição

Embrapa Informação Tecnológica

Coordenação editorial
Selma Lúcia Lira Beltrão
Lucilene Maria de Andrade
Nilda Maria da Cunha Sette

Supervisão editorial
Juliana Meireles Fortaleza

Revisão de texto
Corina Barra Soares

Normalização bibliográfica
Iara Del Fiaco Rocha

Projeto gráfico e editoração eletrônica
Júlio César da Silva Delfino

Capa
Paula Cristina Rodrigues Franco

Fotos da capa
Domínio público

1ª edição

1ª impressão (2016): 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Informação Tecnológica

Água : desafios para a sustentabilidade da agricultura / Lineu Neiva Rodrigues, Azeneth Eufrausino Schuler, editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2016.
255 p. : il. color. ; 16 cm x 22 cm.

ISBN 978-85-7035-610-9

1. Recurso hídrico. 2. Condição ambiental. 3. Bacia hidrográfica. 4. Hidrogeologia.
I. Rodrigues, Lineu Neiva. II. Schuler, Azeneth Eufrausino. III. Embrapa Cerrados.
IV. Embrapa Solos.

CDD 333.91

© Embrapa 2016

Autores

Arthur Vrechi

Engenheiro florestal, consultor do Programa do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Ipef), Piracicaba, SP

Azeneth Eufrausino Schuler

Engenheira florestal, doutora em Ciência, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Carlos de Oliveira Galvão

Engenheiro civil, doutor em Engenharia de Recursos Genéticos, professor da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, PB

Carolina Bozetti Rodrigues

Engenheira florestal, mestre em Recursos Florestais, doutoranda em Recursos Florestais na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq), Piracicaba, SP

Celso de Oliveira Loureiro

Engenheiro elétrico, Ph.D. em Hidrogeologia, professor aposentado da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG

Cleiton da Silva Silveira

Físico, doutor em Engenharia Civil, professor da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (Unilab), Acarape, CE

Eduardo de Castro

Geólogo, Ph.D. em Hidrogeologia, professor aposentado da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG

Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo

Geógrafa, doutora em Geografia Física, pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São José dos Campos, SP

Francisco de Assis de Souza Filho

Engenheiro civil, doutor em Engenharia Civil, professor da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE

Frederico Cláudio Peixinho

Engenheiro hidrólogo, mestre em Computação Aplicada, pesquisador da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Rio de Janeiro, RJ

Hugo Morais de Alcântara

Engenheiro civil, doutor em Recursos Naturais, professor da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, PB

Humberto Ribeiro da Rocha

Engenheiro de infraestrutura aeronáutica, doutor em Meteorologia, professor titular da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP

João Herbert Moreira Viana

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, AL

Lineu Neiva Rodrigues

Engenheiro agrícola, doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Cerrados, Brasília, DF

Luciana de Resende Londe

Bióloga, doutora em Sensoriamento Remoto, pesquisadora do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), Cachoeira Paulista, SP

Orlando dos Santos Watrin

Engenheiro-agrônomo, doutor em Geografia, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Oswaldo Machado Rodrigues Cabral

Meteorologista, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Pedro Gerhard

Biólogo, doutor em Ecologia de Agroecossistemas, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Cachoeira Paulista, SP

Ricardo de Oliveira Figueiredo

Bacharel em Biociências e Biotecnologia, doutor em Biociências e Biotecnologia, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Samíria Maria Oliveira da Silva

Engenheira de pesca, doutora em Engenharia Civil, pós-doutoranda em Recursos Hídricos na Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE

Sandra Helena Silva de Aquino

Socióloga, mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente, pesquisadora da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE

Sílvio Frosini de Barros Ferraz

Engenheiro florestal, doutor em Recursos Florestais, professor associado da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esaq), Piracicaba, SP

Vajapeyam Srirangachar Srinivasan

Engenheiro civil, Ph.D. em Engenharia Civil, professor da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, PB

Walter de Paula Lima

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esaq), Piracicaba, SP

Agradecimentos

Às instituições brasileiras que, representadas por seus profissionais, foram importantes parceiras na elaboração deste livro. Entre elas, merecem destaque: Embrapa Cerrados, Embrapa Solos, Embrapa Milho e Sorgo, Embrapa Meio Ambiente, Embrapa Amazônia Oriental, Embrapa Monitoramento por Satélite, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Universidade Federal do Ceará (UFC), Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (Ipef), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq).

Aos patrocinadores do *I Seminário da Rede AgroHidro*, evento que motivou a produção deste livro. São eles: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação Agrisus, Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) e, em especial, Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo (SDC).

E a todos os participantes do *I Seminário da Rede AgroHidro*.

Apresentação

Este livro é um dos produtos científicos do *I Seminário da Rede AgroHidro*. Essa rede foi criada com o intuito de contribuir, na forma de produtos tecnológicos e/ou subsídios técnicos para tomada de decisão, para o alcance da tão almejada produção sustentável de alimentos, considerando as possíveis alterações nos processos hidrológicos, advindas das mudanças climáticas e das alterações no uso do solo, que podem, por sua vez, afetar a disponibilidade e a demanda de água para a agricultura e a qualidade de vida da população rural.

O tema central desse primeiro seminário – Água: desafios para a sustentabilidade da agricultura – foi escolhido em virtude da vulnerabilidade da agricultura às mudanças climáticas e de uso da terra, bem como seus efeitos sobre os recursos hídricos, considerando-se a diversidade dos biomas brasileiros.

Neste livro, pesquisadores de renome abordam assuntos atuais e futuros relacionados ao impacto da agricultura e das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos. Espera-se que o seu conteúdo possa auxiliar não somente a divulgar e fortalecer a Rede AgroHidro, mas também contribuir para a plena compreensão dos desafios que a sociedade tem à sua frente, com relação aos recursos hídricos, para garantir uma agricultura ao mesmo tempo eficiente e sustentável.

Cláudio Takao Karia
Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

Prefácio

Uma das grandes preocupações atuais da comunidade científica é entender como as mudanças no clima, no uso e na cobertura da terra afetam ou têm potencial para afetar os recursos hídricos nos biomas, e que efeitos terão sobre a sustentabilidade ambiental e econômica das comunidades rurais. As mudanças climáticas têm potencial para alterar os processos do ciclo hidrológico, podendo afetar a disponibilidade e a demanda de água (principalmente para a agricultura), elemento que, por sua vez, depende da evaporação e da precipitação. De fato, conforme projeções de diversos estudos, as mudanças climáticas deverão provocar forte impacto sobre a disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas do mundo inteiro.

No Brasil, os ambientes aquáticos estão naturalmente vulneráveis a esses fatores, que poderão prejudicar a disponibilidade hídrica de bacias hidrográficas e, em consequência, afetar o setor agrícola, comprometendo seriamente o seu desempenho. Assim, mais do que entender a questão, é preciso formar uma visão crítica e estratégica sobre ela. Por isso, é bem-vindo todo acesso a tecnologias e ferramentas de análise e gestão, que embasem novos conhecimentos para uma produção agrícola inovadora e eficiente quanto ao uso dos recursos hídricos.

Esta obra é fruto do *I Seminário da Rede AgroHidro*, que foi realizado entre os dias 15 e 19 de outubro de 2012, nas dependências do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), no Rio de Janeiro. O tema central do seminário é o mesmo deste livro – Água: desafios para a sustentabilidade da agricultura.

O livro está organizado em nove capítulos. Os três primeiros tratam do tema mudanças climáticas, dinâmica do uso da terra e suas implicações nos recursos hídricos e na sustentabilidade da agricultura.

O Capítulo 1 aborda, especificamente, os impactos que a mudança climática pode gerar nos setores agrícola e de geração de energia. Por uma abordagem de cenários, evidenciou-se a necessidade de desenvolver estratégias de adaptação que possam reduzir a vulnerabilidade a que essas áreas estão expostas, com o propósito de fazer que os sistemas complexos em estudo se tornem mais resilientes às variações do clima.

No Capítulo 2, os autores comprovam que a avaliação do nível trófico é um recurso que pode contribuir para ampliar o conhecimento sobre a dinâmica do uso e da cobertura da terra, e suas implicações. Na sequência, apresentam metodologias e estudos de caso para embasarem essa teoria.

O Capítulo 3 discute os componentes do balanço de água de superfície, na escala de ecossistema, contextualizada pela caracterização das mudanças climáticas globais, e, em especial, o impacto do aquecimento sobre a evapotranspiração. São analisados os efeitos das mudanças de uso da terra sobre a evapotranspiração e a vazão, ilustrados com exemplos sobre o controle da variação climática na produtividade e na evapotranspiração dos agroecossistemas de cana-de-açúcar e eucalipto, avaliados em medidas diretas no Brasil.

O Capítulo 4 aborda o tema rede de monitoramento, mostrando ser esse um insumo vital para a ampliação do conhecimento sobre o comportamento dos processos hidrológicos, bem como para a gestão e o aproveitamento integrado, racional e múltiplo dos recursos hídricos. Os resultados alcançados até o momento, em termos de monitoramento hidrológico, indicam a necessidade de dar continuidade a vários processos, como: o de modernização e automação dos sistemas de coleta e medição hidrológicas; o de investimento na integração das redes de monitoramento de águas superficiais e subterrâneas; e o de busca de articulação e integração das instituições, envolvendo a União e os estados da Federação.

Os capítulos 5, 6, 7, 8 e 9 tratam de estudos em bacias hidrográficas experimentais.

O Capítulo 5 destaca a hidrogeologia como elemento essencial para a gestão integrada dos recursos hídricos. Ressalta ainda que o conhecimento da relação entre a ocupação do solo e os seus impactos sobre os recursos hídricos é determinante para a execução de ações preventivas e corretivas para eventuais problemas.

O Capítulo 6 apresenta um resumo das premissas que fundamentam o Programa de Monitoramento de Bacias Hidrográficas. Destaca que, associada à expansão do setor florestal, está a preocupação com os efeitos ambientais decorrentes da produção florestal em larga escala, a exemplo dos possíveis efeitos das florestas sobre os recursos hídricos.

No Capítulo 7, os autores fazem uma revisão de pesquisa em bacias hidrográficas, demonstrando que os estudos hidrológicos e biogeoquímicos de sistemas agrícolas e agroflorestais são fundamentais para o balizamento de planos de desenvolvimento sustentável da Região Amazônica.

No Capítulo 8, é apresentado o trabalho de pesquisa desenvolvido em bacias experimentais do Cariri paraibano. Os autores concluem que, para vencer os desafios impostos no local, é imprescindível conhecer os processos hidrológicos, que fornecerão informações regionalizadas para o gerenciamento dos recursos hídricos.

Por fim, no último capítulo (Capítulo 9), é apresentado um trabalho de pesquisa desenvolvido em bacia experimental do bioma Cerrado, em que o autor enfatiza que a busca por alocações de água é um desafio para a sociedade brasileira e que os estudos de longa duração sobre bacias experimentais devem continuar, em virtude da falta de dados e informações hidroclimáticas, especialmente para as condições do bioma Cerrado.

Os editores têm plena confiança de que a ciência contida neste livro vai aprofundar o entendimento sobre essa questão candente, de dimensão internacional, que é a relação da água com a agricultura.

Os Editores

Sumário

Capítulo 1

Impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos, a agricultura e o setor elétrico brasileiro, 19

Capítulo 2

Avaliação do nível trófico de reservatórios como suporte a estudos da dinâmica de uso e cobertura da terra e suas implicações nos recursos hídricos, 67

Capítulo 3

Controles climáticos e das mudanças de uso da terra no balanço de água no Brasil: uma discussão em escala de agroecossistemas, 87

Capítulo 4

Monitoramento hidrológico: um fator de sustentabilidade hídrica, 107

Capítulo 5

Hidrogeologia da fazenda experimental da Embrapa Milho e Sorgo e entorno, em Sete Lagoas, MG, 129

Capítulo 6

Sustentabilidade hidrológica de florestas plantadas: o papel do monitoramento em microbacias experimentais, 167

Capítulo 7

Estudos hidrobiogeoquímicos e ecossistêmicos em pequenas bacias hidrográficas com uso agrícola na Amazônia Oriental, 185

Capítulo 8

Bacias experimentais do Cariri paraibano, 213

Capítulo 9

Bacia experimental do Rio Buriti Vermelho, na ecorregião do Planalto Central, 233

Capítulo 1

Impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos, a agricultura e o setor elétrico brasileiro

Francisco de Assis de Souza Filho

Cleiton da Silva Silveira

Samíria Maria Oliveira da Silva

Sandra Helena Silva de Aquino

Introdução

As mudanças climáticas podem produzir grandes impactos sobre os recursos hídricos. O aquecimento observado nas últimas décadas pode causar mudanças no ciclo hidrológico, por meio da modificação dos padrões de precipitação e evapotranspiração, os quais, por sua vez, podem provocar impactos diretos sobre a umidade do solo, a reserva subterrânea e a geração do escoamento superficial. Esses aspectos, associados ao aumento da demanda por água – projetado para as próximas décadas, principalmente em virtude do crescimento populacional e do aumento da riqueza –, poderão exercer grande pressão sobre os hidrossistemas brasileiros.

Além disso, as mudanças climáticas impõem riscos que podem limitar o desenvolvimento de regiões, caso as ações desenvolvidas para mitigá-los sejam superficiais, insuficientes ou ineficientes, embora se saiba das dificuldades de gerenciamento desses riscos, em virtude da própria incerteza inerente a esse contexto. Nesse sentido, alguns sistemas sionaturais, como os agrícolas, tendem a ser mais vulneráveis às mudanças climáticas porque neles há uma associação intrínseca entre os seres vivos que o habitam e o uso desses recursos. Assim, qualquer evento climático extremo, como seca ou cheia, ocasiona impactos cujas consequências podem se estender por um longo período, desestruturando economias locais e modos de vida, e, conseqüentemente, ocasionando ou acirrando conflitos de usos.

O clima de uma região baseia-se, fundamentalmente, na atuação simultânea de diversos sistemas atmosféricos de várias escalas e na dinâmica de suas interações. Esses sistemas podem variar conforme as características fisiográficas da região e segundo os padrões anômalos de grande escala de circulação atmosférica global associada ao fenômeno El Niño-Oscilação Sul (Enso) e ao dipolo do Atlântico, fenômenos que modificam a frequência, a distribuição espacial e a intensidade desses sistemas.

Os riscos de extremos hidrológicos (cheias e secas) para um local ou região estão associados a modos de variação em múltiplas escalas temporais (sazonal, interanual, multidecadal e centenária). Identificar e entender os modos de variação do clima é condição para quantificar os riscos hidrológicos e, conseqüentemente, definir os mecanismos para gerenciá-los.

As mudanças climáticas seriam, portanto, alterações na variabilidade desses diversos fenômenos atmosféricos, tanto em frequência quanto em intensidade. Essas modificações no clima podem levar a eventos extremos mais severos e mais frequentes, como secas severas, tempestades intensas, furacões, cheias e ondas de calor.

Para o horizonte de décadas (de longo prazo), a variabilidade de baixa frequência e as mudanças climáticas instigam uma discussão no processo decisório a respeito do planejamento baseado na estacionariedade das séries temporais, considerando que o dimensionamento de obras hidráulicas e o aproveitamento dos recursos hídricos são projetados e operados com base na hipótese da estacionariedade estatística de séries históricas. Entretanto, essa suposição pode ser invalidada pelas mudanças climáticas, pela variabilidade climática de baixa frequência e pelas mudanças no uso do solo. A não estacionariedade das séries históricas requer, portanto, estratégias mais robustas de adaptação e gestão de risco.

Nesse contexto, o presente capítulo apresenta os impactos que a mudança climática pode gerar no setor agrícola e no de geração de energia. Esses setores são sistemas complexos nos quais natureza e sociedade estão imbricadas. Em ambos os casos, a cenarização favoreceu o conhecimento sobre a possibilidade de ocorrência de riscos que possam desestruturar processos produtivos e modos de vida. De modo geral, esses cenários estão a cobrar estratégias de adaptação capazes de reduzir as vulnerabilidades, com o propósito de tornar os sistemas complexos um estudo mais resiliente às variações do clima.

Mudanças climáticas e impactos sobre a precipitação pluvial no Nordeste do Brasil

Esta seção contém uma análise das projeções de precipitação pluvial de alguns modelos do Coupled Model Intercomparison Project Phase 3 (CMIP3) para algumas de suas rodadas, publicados pelo quarto relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC-AR4) [Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas], sobre o Nordeste do Brasil (NEB)