

IV SEMINÁRIO DA  
REDE AGROHIDRO

# Água e Agricultura:

*incertezas e  
desafios para a  
sustentabilidade  
frente às  
mudanças do  
clima e do uso  
da terra*

**ANAIS**

*Lineu Neiva Rodrigues  
Maria Fernanda Moura  
Raimundo Cosme de Oliveira Junior*  
Editores Técnicos

**Embrapa**



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

**IV Seminário da  
Rede Agrohidro**

# **Água e Agricultura:**

***incertezas e  
desafios para a  
sustentabilidade  
frente às  
mudanças do  
clima e do uso  
da terra***

**ANAIS**

*Lineu Neiva Rodrigues  
Maria Fernanda Moura  
Raimundo Cosme de Oliveira Junior*  
Editores Técnicos

**Embrapa**  
Brasília, DF  
2016



Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Cerrados**

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

**Unidade responsável pelo conteúdo e pela edição**

Embrapa Cerrados

Comitê de Publicações

Presidente: *Marcelo Ayres Carvalho*

Secretária executiva: *Marina de Fátima Vilela*

Membros

*Alessandra S. Gelape Faleiro*

*Cícero Donizete Pereira*

*Gustavo José Braga*

*João de Deus Gomes dos S. Júnior*

*Jussara Flores de Oliveira Arbues*

*Maria Edilva Nogueira*

*Sebastião Pedro da Silva Neto*

*Shirley da Luz Soares Araújo*

*Sonia Maria Costa Celestino*

Supervisão editorial

*Jussara Flores de Oliveira Arbues*

Revisão de texto

*Jussara Flores de Oliveira Arbues*

Normalização bibliográfica

*Fábio Lima Cordeiro*

*Shirley da Luz Soares Araújo*

Projeto gráfico e diagramação

*Leila Sandra Gomes Alencar*

Capa

*Fabiano Bastos*

Ilustração da capa

*Fabiano Bastos*

**1ª edição**

1 CD-ROM (2016): 100 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 Cerrados

---

S471a Seminário da Rede Agrohidro (4.: 2016: Brasília, DF).

Água e agricultura: incertezas e desafios para a sustentabilidade frente às mudanças do clima e do uso da terra: anais do IV Seminário da Rede Agrohidro, Brasília, DF, 17- 20 de outubro de 2016 [recurso eletrônico] / Lineu Neiva Rodrigues, Maria Fernanda Moura, Raimundo Cosme de Oliveira Junior, editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2016.

1 CD-ROM (290 p.) : il. color.; 4 ¾ pol.

ISBN 978-85-7035-632-1

1. Recursos hídricos. 2. Irrigação. 3. Agricultura - Brasil. 4. Seminário.  
I. Rodrigues, Lineu Neiva. II. Moura, Maria Fernanda. III. Oliveira Junior, Raimundo Cosme de. IV. Rede Agrohidro. V. Título. VI. Embrapa Cerrados.

CDD 21 ed. - 631.70981

---

© Embrapa 2016

# AUTORES

## **Ademar Barros da Silva**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Solo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

## **Alex Fernando de Araújo**

Bacharel em Ciência da Computação, doutorando em Engenharia Informática, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul, Coxim, MS

## **Alexandre Bryan Heinemann**

Agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, GO

## **Alfredo José Barreto Luiz**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Sensoriamento Remoto, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

## **Aline de Holanda Nunes Maia**

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

## **Ana Paula Sousa Rodrigues Zaiatz**

Graduanda em Agronomia, estagiária e bolsista da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

## **Andreza Carla Lopes André**

Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BA

## **Amanda de Azevedo Gonçalves**

Engenheira Ambiental, mestranda em Recursos Hídricos, bolsista da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

**Annika Künne**

Geógrafa, doutoranda do Instituto de Tecnologia e Gerenciamento de Recursos em Trópicos e Subtrópicos, Universidade Friedrich Schiller de Jena, Alemanha

**Antônio Heriberto de Castro Teixeira**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências Ambientais, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

**Arthur Marques**

Graduando em Geografia, estagiário na Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

**Azeneth Eufrausino Schuler**

Engenheira Florestal, doutora em Ciências, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

**Balbina Maria Araújo Soriano**

Meteorologista, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Pantanal, Corumbá, MS

**Bas Agerbeek**

Graduado em hidrologia e manejo de água, mestrando em Ciências da Terra e Ambiental, Universidade de Wageningen, Wageningen, Netherlands.

**Carolina Tavares de Oliveira**

Graduanda em Engenharia Agrícola, bolsista da Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP

**Carlos Roberto Padovani**

Biólogo, doutor em Ecologia Aplicada, pesquisador da Embrapa Pantanal, Corumbá, MS

**Celina Maki Takemura**

Bacharel em Ciência da Computação, doutora em Ciências da Computação, pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

**Cleiton da Silva Silveira**

Arqueólogo, doutor em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), professor da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, CE

**Clóvis Manoel Carvalho Ramos**

Agrônomo, doutor em Agronomia, professor da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BA

**Cornélio Alberto Zolin**

Engenheiro Agrícola, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

**Daniel Markewitz**

Bacharel em Recursos Naturais, professor da Escola Warnell de Floresta e Recursos Naturais, Universidade da Georgia

**Éder Comunello**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia de Sistemas Agrícolas, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

**Edilton de Albuquerque Cavalcanti Junior**

Graduando em Agronomia, estagiário da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

**Edson Takashi Matsubara**

Bacharel em Informática, doutor em Ciências da Computação e Matemática Computacional, professor da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

**Eduardo Eneas de Figueiredo**

Engenheiro Civil, doutor em Engenharia Civil, professor da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB

**Fabiano Fernandes dos Santos**

Bacharel em Ciência da Computação, doutorando em Ciência da Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP

### **Fábio Augusto de Souza Seabra**

Bacharel em Análise de Sistemas, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Dourados, MS

### **Fábio Henrique Canesin Sivieri**

Bacharel em Ciência da Computação, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Dourados, MS

### **Felipe Cruz**

Graduando em Engenharia Química, estagiário da Embrapa Amazônia Oriental, Pará, PA

### **Francisco Vasconcelos Júnior**

Físico, doutor em Meteorologia, pós-doutorando em Clima e Recursos Hídricos, bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

### **Francisco de Assis de Souza Filho**

Engenheiro Civil, doutor em Engenharia Civil, professor da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

### **Gabriel Mari Tararam**

Aluno do Curso Técnico em Informática para Internet, estagiário da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

### **Géssica Silva Lima**

Engenheira-agrônoma, mestre em Agronomia, bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Campinas, SP

### **Glauber José Vaz**

Bacharel em Ciência da Computação, mestre em Ciência da Computação, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

### **Gustavo Bayma Siqueira da Silva**

Geógrafo, mestre em Sensoriamento Remoto, analista da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

**Hartmut Gaese**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Economia Agrícola, diretor do Instituto de Tecnologia e gerenciamento de Recursos nos Trópicos e Subtrópicos, Köln, Alemanha

**Igor Vieira**

Aluno do Curso Técnico em Informática, Instituto Federal do Mato Grosso do Sul, Corumbá, MS

**Iug Lopes**

Engenheiro Agrícola, doutorando em Engenharia Agrícola, professor da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BA

**Janaina Paulino**

Engenheira Agrícola, doutora em Irrigação e Drenagem, professora da Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT

**Janderson Pedro da Silva**

Graduando em Agronomia, bolsista da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

**Janice Leivas Freitas**

Meteorologista, doutora em agrometeorologia, pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

**Joseph Cornelis van Dam**

Engenheiro de recursos hídricos, doutor em Física do Solo e Processos de Transporte, professor associado da Universidade de Wageningen, Holanda

**Juliana Feitosa Filizzola**

Química Analítica, doutora em Química Ambiental e Analítica, pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

**Juliana M. Santos**

Engenheira Ambiental, doutoranda da Universidade de Jena Friedrich Schiller, Alemanha



**Júlio César Dalla Mora Esquerdo**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

**Julio Roberto Araujo de Amorim**

Engenheiro-agrônomo, mestre em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

**Lars Ribbe**

Químico, doutor em Hidroinformática, professor e diretor do Instituto de Tecnologia e Gerenciamento de Recursos em Trópicos e Subtrópico, Universidade de Ciências Aplicadas de Colônia, Alemanha

**Laurimar Gonçalves Vendrusculo**

Engenheira elétrica, doutora em Agricultura e Engenharia de Biosistemas, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

**Lineu Neiva Rodrigues**

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

**Lívia Furriel De Castro**

Graduanda em Engenharia Química, estagiária da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

**Luciano José de Oliveira Accioly**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Solo e do Meio Ambiente, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

**Luísa Miyashiro Tápias**

Graduanda em Engenharia Agrícola, bolsista da Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP

**Luís Fernando Stone**

Agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, GO

**Luis Eduardo Gonzales**

Bacharel em Engenharia da Computação, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

**Luis Henrique Bassoi**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Energia Nuclear na Agricultura, pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP

**Maren Wehling**

Graduada em Engenharia de Manejo do Solo e da Água, mestranda em Ciências Ambientais e da Terra, Universidade de Wageningen

**Marcus Aurélio Soares Cruz**

Engenheiro Civil, doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

**Margareth Gonçalves Simões**

Engenheira-agrônoma, doutora em Geografia, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

**Maria Fernanda Moura**

Estatística, doutora em Ciências, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

**Níckolas C. Santana**

Geógrafo, doutorando em Geografia, bolsista da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

**Orlando dos Santos Watrin**

Agrônomo, doutor em Geografia, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Pará, PA

**Patrícia Porta Nova da Cruz**

Meteorologista, pós-doutoranda em Meteorologia Agrícola, bolsista da Embrapa Meio Ambiente, Jaquariúna, SP

### **Paulo Vinícius Melo da Mota**

Graduando em Geologia, bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

### **Rachel Bardy Prado**

Bióloga, doutora em Ciências da Engenharia Ambiental, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

### **Rafael Mingoti**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, analista da Embrapa Gestão Territorial, Campinas, SP

### **Renan Gomes Pereira**

Graduando em Engenharia da Computação, estagiário da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

### **Renato Porfirio Ishii**

Bacharel em Análise de Sistemas, doutor em Ciências da Computação e Matemática Computacional, professor da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

### **Ricardo de Aragão**

Engenheiro Civil, doutor em Engenharia, professor da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB

### **Ricardo de Oliveira Figueiredo**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Biociências e Biotecnologia, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Campinas, SP

### **Ricardo Marcacini**

Bacharel em Informática, doutor em Ciência da Computação e Matemática Computacional, professor da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, MS

### **Riene Filgueiras de Oliveira**

Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, estagiária da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

### **Rodrigo Bonacin**

Bacharel em Informática, doutor em Ciência da Computação, tecnologista do Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, Campinas, SP

### **Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências Ambientais, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

### **Roel Dijksma**

Hidrogeologista, professor da Universidade de Wageningen, Holanda

### **Rômulo Penna Scorza Júnior**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências Ambientais, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

### **Rubens Sonsol Gondim**

Agrônomo, doutor em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

### **Santiago Penedo**

Engenheiro Químico, doutorando da Universidade Friedrich Schiller de Jena, Alemanha

### **Silvando Carlos Da Silva**

Engenheiro Agrícola, mestre em Agronomia, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, GO

### **Silvio Roberto Medeiros Evangelista**

Estatístico, doutor em Engenharia Elétrica, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

### **Solange Oliveira Rezende**

Licenciada em Ciências, doutora em Engenharia Mecânica, professora da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP

### **Stanley Robson de Medeiros Oliveira**

Bacharel em Ciência da Computação, doutor em Ciência da Computação, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

**Sven Kralisch**

Graduado em Ciência da Computação, doutor em Geoinformática, pesquisador da Universidade de Jena Friedrich Schiller, Alemanha.

**Tarcio Rocha Lopes**

Engenheiro Agrícola, mestrando em Agronomia, bolsista da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

**Timothy R. Green**

Engenheiro Ambiental, doutor em Recursos Hídricos, pesquisador do Serviço Pesquisa Agrícola dos Estados Unidos, Colorado, EUA

**Vajapeyam Srirangachar Srinivasan**

Engenheiro Civil, doutor em Engenharia Civil, professor da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB

**Vanesa Rodríguez Osuna**

Engenheira Ambiental, doutora em Ciências Naturais, pesquisadora da Advanced Science Research Center, New York, NY

**Vitor Gomes**

Aluno do Curso Técnico em Informática, Instituto Federal do Mato Grosso do Sul, Corumbá, MS

**Wolfgang-Albert Flügel**

Geógrafo, doutor em Geografia, professor aposentado do departamento de Geoinformática da Universidade de Jena Friedrich Schiller, Alemanha

# AGRADECIMENTOS

Aos palestrantes, coordenadores e moderadores de bloco, bem como autores de artigos, enfim, todos os que gentilmente aceitaram o convite de participar deste *IV Seminário da Rede AgroHidro Incertezas e desafios para a sustentabilidade frente às mudanças do clima e do uso da terra*.

Aos membros da Rede AgroHidro pelas contribuições e dedicação ao trabalho de manutenção da Rede e de condução do projeto de pesquisa que avalia os impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos, o projeto *AgroHidro, Macro Programa 1 – Grandes Desafios Nacionais da Embrapa*.

À comissão técnico-científica do seminário pela dedicação na avaliação dos 34 artigos submetidos.

Às seguintes instituições que, pelo patrocínio, efetivamente possibilitaram a realização deste quarto seminário: Agência Nacional de Águas (ANA), Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ), HEXIS Científica, Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA).

# APRESENTAÇÃO

Este livro é um dos produtos científicos do IV Seminário da Rede AgroHidro. Ele apresenta resultados obtidos pela rede até a data de realização desse evento. Esse seminário é um marco para a Rede Agrohidro, uma vez que caracteriza a etapa final do projeto de pesquisa que avalia os impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos, o projeto *AgroHidro do Macro Programa 1 – Grandes Desafios Nacionais da Embrapa (MP1)*.

As pesquisas desenvolvidas no âmbito do projeto MP1 AgroHidro são consideradas essenciais e de grande importância para a sociedade, uma vez que as mudanças climáticas e do uso da terra podem impactar a disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas brasileiras e comprometer a produção agrícola e a qualidade de vida das comunidades rurais nos diferentes biomas brasileiros.

Esta obra trás 34 artigos científicos produzidos por 85 autores representando 11 institutos federais e universidades brasileiras, 14 centros de pesquisa da Embrapa e 6 universidades estrangeiras.

Espera-se que o conteúdo apresentado possa auxiliar na identificação de linhas de pesquisa estratégicas para o tema, bem como fornecer subsídios a políticas públicas que contribuam para uma gestão eficiente e sustentável da água na agricultura, do ponto de vista de sua disponibilidade e qualidade, visando a produção sustentável de alimentos.

*Claudio Takao Karia*  
Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

# PREFÁCIO

Produzir alimento de maneira sustentável é um dos grandes desafios da humanidade. Vários são os fatores de pressão, tais como: restrições ambientais; a população demandando alimentos diferenciados e de melhor qualidade; demanda atual e futura, por mais alimentos, crescente; e a multifuncionalidade da agricultura. Além disso, destaca-se o aumento da competição pelo uso da água entre os diversos setores da sociedade que implicará na necessidade de usar esse recurso de modo mais eficiente de forma a garantir a sustentabilidade da produção nos diferentes setores. Para isso, o planejamento e o manejo adequado dos recursos hídricos são fundamentais na busca pela sustentabilidade. Eles devem, entretanto, ser feitos considerando onexo água-energia-alimento.

Em regiões que enfrentam escassez de água, por exemplo, é essencial planejar de maneira racional o uso dos recursos hídricos e estabelecer políticas hídricas efetivas de modo a assegurar a produção de alimentos e minimizar a pobreza por meio do desenvolvimento econômico. Adicionalmente, a ocorrência de mudanças climáticas poderá afetar o ciclo hidrológico e a “geografia da produção nacional”, o que poderá reduzir a disponibilidade dos recursos hídricos e potencializar o surgimento de conflitos entre os usuários da água.

Diante desses desafios, a Rede AgroHidro foi inicialmente proposta por um grupo de pesquisadores da Embrapa, com o objetivo de estudar “água na agricultura”, em virtude dos desafios associados às crises de suprimento de alimentos e de água no mundo. A Rede tem parcerias estratégicas com diversas universidades e instituições governamentais, contando com a participação de 20 centros de pesquisa da Embrapa e de mais de 36 instituições parceiras externas.



O objetivo principal da rede é contribuir para a interação entre profissionais e instituições nacionais e estrangeiras na busca de soluções voltadas à sustentabilidade nas relações entre os recursos hídricos e as cadeias produtivas agropecuárias e florestais e à melhoria da qualidade de vida dos produtores rurais e da população em geral, promovendo o avanço do conhecimento e das tecnologias para o uso eficiente da água.

Dessa forma, com a finalidade de fortalecer a atuação da Rede junto a outras instituições e à sociedade foram realizados três Seminários. O primeiro seminário, com 84 inscritos, ocorreu na cidade do Rio de Janeiro, RJ, em 2012, com o tema *Água: Desafios para a Sustentabilidade da Agricultura*. O segundo, com a participação de 75 pessoas, aconteceu na cidade de Campinas, SP, em 2014, com o tema *Impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos*. O terceiro seminário, com a participação de 75 pessoas, ocorreu na cidade de Corumbá, MT, em 2015, com o tema *Água na agricultura: desafios frente às mudanças climáticas e de uso da terra*.

Em sua versão 2016, o quarto seminário da Rede AgroHidro teve como objetivo promover a integração da equipe, a troca de informações e discussões sobre o futuro da Rede e do projeto MP1 AgroHidro.

O projeto MP1 AgroHidro – que teve como objetivo principal gerar conhecimentos e estratégias técnicas para o uso eficiente do solo e da água com vistas à conservação dos recursos hídricos, à sustentabilidade e à competitividade da agricultura em diferentes biomas brasileiros – foi estruturado de forma a viabilizar trabalhos de pesquisa de longa duração em recursos hídricos em bacias hidrográficas de tamanhos diferentes nos diversos biomas brasileiros. Para isso, foram desenvolvidas mais de 200 atividades de pesquisa científica e de gestão do projeto.

As perguntas-chave que permearam os debates no Seminário foram: (a) Quais são as alternativas tecnológicas que temos disponíveis para sanar os problemas atuais de disponibilidade e qualidade hídrica?; (b) Como a organização da formação e do conhecimento técnico-científico poderá permitir e agilizar essa busca de alternativas?; (c) Diante das mudanças climáticas, como projetar ce-

nários futuros para a disponibilidade e qualidade da água e que novos desafios esses cenários poderão trazer?; (d) A análise de nossa evolução histórica sobre a oferta e demanda da água na agricultura poderá nos levar a um entendimento de nosso estado presente de disponibilidade, qualidade e eficiência do uso da água e nos permitirá projetar cenários para a disponibilidade futura?; (e) Como o monitoramento e a modelagem da qualidade e quantidade da água poderá nos auxiliar no entendimento dos processos hidrológicos e qual o impacto provocado pelo uso do solo em bacias hidrográficas agrícolas e naturais?

Dessa forma, espera-se que estes anais e os demais seminários e pesquisas da Rede Agrohidro contribuam para o avanço do conhecimento no tema de impactos da agricultura e das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e que possa apresentar soluções para problemas derivados desses impactos, contribuindo para o aprimoramento das políticas públicas.

*Lineu Neiva Rodrigues*  
Editor Técnico

# Sumário

|  |    |
|--|----|
| Uma Arquitetura Orientada a Serviços para um Sistema de Recuperação de Informação para a Rede Agrohidro.....   | 21 |
| Avaliação do Risco de Contaminação da Água Subterrânea por Agrotóxicos em Mato Grosso do Sul: efeito do clima e solo.....                            | 29 |
| Metodologia para Priorização de Áreas para Intervenção no Âmbito de PSA Hídrico na Bacia Guapi-Macacu, Rio De Janeiro .....                          | 37 |
| Etapas Metodológicas para a Modelagem do Nitrogênio na Água na Bacia Guapi-Macacu, Rio De Janeiro, RJ .....  | 44 |
| Compilação e Análise da Informação Utilizada ou Produzida pela Rede AgroHidro.....   | 52 |
| Extração de Portfólio de Tecnologias de Irrigação a partir de Publicações Científicas.....   | 59 |
| Desambiguação de Topônimos Usando Dicionários Geográficos.....   | 67 |
| Disponibilidade Hídrica Futura Projetada por Modelos Globais do CMIP5 Selecionados pela Avaliação Sazonal da Precipitação na Bacia do Jaguaribe..... | 75 |
| Uma Arquitetura Triplestore para Armazenamento e Recuperação de Documentos no Contexto da Rede AgroHidro .....                                       | 83 |
| Avaliação da Qualidade das Águas do Rio Siriri por Meio de Análise Multivariada .....  | 91 |
| Impacto das Mudanças Climáticas no Estresse Hídrico do Feijoeiro Cultivado no Período das Águas.....   | 99 |

|   |     |
|---|-----|
| Avaliação da Influência de Cenários de Uso de Solo sobre a Quantidade e Qualidade Dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Siriri-Sergipe Via Modelo SWAT .....                        | 107 |
| Hidrogeoquímica de um Córrego Amazônico: o caso de um igarapé na flona do Tapajós, Pará, Brasil.....  | 114 |
| Evapotranspiração no Perímetro Irrigado de Jaíba Utilizando Imagens de Satélite.....  | 122 |
| Funções de Pedotransferência para Conteúdo de Água no Solo no Perímetro Irrigado Pontal Sul.....  | 129 |
| Mudança do Uso da Terra em uma Bacia na Transição Cerrado/Amazônia no Norte de Mato Grosso.....   | 136 |
| Calibração e Validação do Modelo SWAT Aplicado a uma Sub-Bacia do Rio Teles Pires.....  | 144 |
| Consistência entre Dados Originais, Interpolações Globais e Projeções do Modelo Climático Regional EtaHadGEM2-ES para a Precipitação nas Bacias dos Rios Paracatu e São Marcos..... | 152 |
| Modelagem de Processos Hidrológicos em Bacias de Mesoescala Escassamente Monitoradas na Mata Atlântica, RJ, Brasil .....  | 160 |
| Modelagem Hidrológica Utilizando o Modelo de Grandes Bacias MGB-IPH: estudo de caso da Bacia Hidrográfica do alto Teles Pires ....  | 168 |
| Varição Anual de Carbono Dissolvido e Nitrogênio em Diferentes Usos de Terra, Nordeste do Pará-Amazônia .....   | 175 |
| Utilização dos Modelos AgES-W e SWAT para Quantificação dos Recursos Hídricos na Bacia do Ribeirão das Posses, Extrema, MG.....   | 183 |
| Tendências Hidrológicas a partir de Registros de Nível dos Rios da Bacia do Alto Paraguai, Pantanal.....  | 191 |

|   |     |
|---|-----|
| Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade<br>Canaveira Irrigada nos Municípios do Sudoeste de Goiás ..... | 199 |
| Destreza do Modelo Eta-hadGEM-ES para a Bacia do Rio Jaguaribe:<br>projeções de chuva.....                                      | 206 |
| Caracterização do Comportamento Hidrológico de Bacias<br>Hidrográficas em Ecorregiões do Cerrado.....                           | 213 |
| Hydrologic Model of the Paracatu River Basin: calibration and<br>validation .....   | 220 |
| Sistema de Suporte à Decisão Frente às Inundações do Pantanal .....   | 228 |
| Uso do Solo a Bacia Hidrográfica do Rio Pontal por Metodo<br>Semisupervisionado .....   | 235 |
| Destreza do Modelo<br>Eta-HadGEM2-ES para a Bacia Alto Rio Paraguai-Pantanal: projeções<br>de chuva .....                       | 243 |
| Hydrologic Model of the Upper Preto River Basin: calibration and<br>validation .....  | 251 |
| Evapotranspiração e Produção de Biomassa Quantificadas com<br>Imagens Landsat 8 no Perímetro Irrigado Nilo Coelho .....         | 259 |
| Parte A: variações espaciais .....  | 259 |
| Evapotranspiração e Produção de Biomassa Quantificadas com<br>Imagens Landsat 8 no Perímetro de Irrigação Nilo Coelho.....      | 266 |
| Parte B: valores incrementais .....   | 266 |
| Simulação Hidrológica na Bacia do Rio Japarutuba a partir de<br>Dados de Precipitação Obtidos Via Sensoriamento Remoto.....     | 274 |
| Uso e Cobertura das Terras da Bacia do Rio Pajeú, PE<br>(Escala 1:100.000) e suas Relações com o Relevo e a Desertificação..    | 281 |

# CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO SWAT APLICADO A UMA SUB-BACIA DO RIO TELES PIRES

**TARCIO ROCHA LOPES; CORNÉLIO ALBERTO ZOLIN;  
RAFAEL MINGOTI; RIENE FILGUEIRAS DE OLIVEIRA**

## **RESUMO**

A modelagem hidrológica é uma ferramenta muito importante, além de representar os processos do ciclo hidrológico é de grande valia para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Foi utilizado o modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) com objetivo de avaliar seu desempenho para simulação do escoamento superficial no exutório da bacia hidrográfica do Alto Teles Pires. Foi realizada a calibração e validação para nível mensal de escoamento superficial e verificado seu desempenho de acordo com parâmetro estatístico Nash-Sutcliffe (NS). Com base nos valores do coeficiente de Nash-Sutcliffe o modelo SWAT foi capaz de simular o comportamento hidrológico de forma adequada no exutório da bacia hidrográfica do Alto Teles Pires.

Termos para indexação: vazão, bacia hidrográfica, modelagem.



# CALIBRATION AND VALIDATION OF SWAT MODEL FOR THE ALTO TELES PIRES RIVER BASIN

## ABSTRACT

*Hydrological modeling is a very important tool, and represents the processes of the hydrological cycle that is of great value for managing water resources. We used Soil and Water Assessment Tool (SWAT) and assessed its performance for simulation water discharge in the Alto Teles Pires river basin. Calibration and validation was performed for monthly level and the SWAT performance was verified according to Nash-Sutcliffe (NS) statistical parameter. Based on the values of Nash-Sutcliffe coefficient SWAT model was able to simulate, appropriately, the hydrologic behavior of Alto Teles Pires basin.*

*Index terms: flow, watershed, modeling.*

## **INTRODUÇÃO**

A modelagem hidrológica consiste em representar os processos do ciclo hidrológico (tais como infiltração, escoamento superficial, vazão e evapotranspiração) por meio de equações matemáticas de tal forma que seja possível prever a resposta hidrológica de uma bacia sob condições adversas (TUCCI, 2009; COE et al., 2009).

Dentre os modelos utilizados na simulação hidrológica, o Soil and Water Assessment Tool (SWAT) é um dos mais empregados mundialmente, devido a sua estrutura e capacidade de representação adequada dos fenômenos físicos durante o ciclo hidrológico e da capacidade de permitir que variados processos sejam simulados em uma bacia hidrográfica (ARNOLD et al., 1998). Embora com ampla aplicação pelo globo, trabalhos com o modelo SWAT para as condições climáticas e de dados limitados da região de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado são praticamente inexistentes.

Com isso, objetiva-se com este trabalho aplicar e avaliar o desempenho do modelo hidrológico SWAT para quantificar a vazão na bacia hidrográfica do Alto Teles Pires e subsidiar a tomada de decisão quanto ao uso sustentável dos recursos hídricos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado na bacia hidrográfica do Alto Teles Pires, que possui uma área de aproximadamente 37.444 km<sup>2</sup> e se estende desde suas nascentes até a foz do Rio Verde, correndo sobre a Chapada dos Parecis (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2009).

Os dados meteorológicos de entrada utilizados no SWAT foram os dados diários de precipitação dos anos de 1991 a 2011 de cinco estações pluviométricas (Tabela 1) obtidos por meio do Sistema de Informação Hidrológica (Hidroweb).



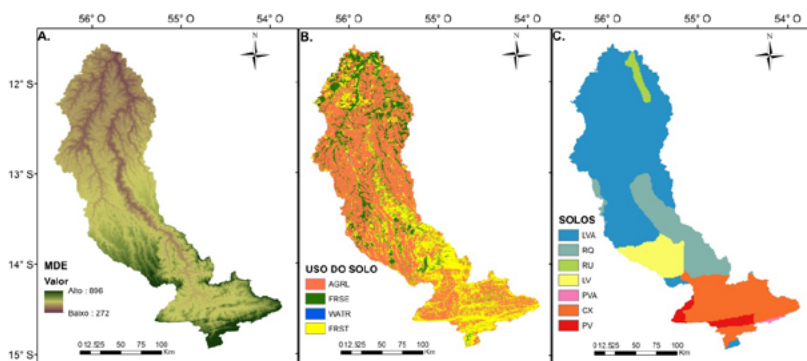
**Tabela 1.** Estações pluviométricas utilizadas para a obtenção de séries históricas da bacia hidrográfica do Alto Teles Pires.

| Código   | Estação        | Latitude   | Longitude  |
|----------|----------------|------------|------------|
| 01454000 | Paranatinga    | -14°25'04" | -54°02'58" |
| 01355001 | Porto Roncador | -13°33'23" | -55°19'54" |
| 01255001 | Teles Pires    | -12°40'30" | -55°47'35" |
| 01155000 | Cachoeirão     | -11°39'04" | -55°42'09" |
| 01356002 | Nova Mutum     | -13°48'56" | -56°07'20" |

Fonte: Agência Nacional de Águas (2016).

Entre as variáveis físicas exigidas pelo SWAT, estão relevo, pedologia e uso e cobertura da terra. Nesse trabalho foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 1A) do sensor orbital Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) com resolução espacial de 30 m, disponibilizados pelo United States Geological Survey (USGS) (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2016).

O mapa de uso e cobertura da terra (Figura 1B) foi elaborado para a área de estudo. Para isso, foram utilizadas imagens do ano de 2014 do satélite TM-Landsat-8 e feita a posterior classificação supervisionada por meio do software ENVI 5.0.



**Figura 1.** Mapas do modelo digital de elevação (A), uso e cobertura da terra (B) e solos (C) da bacia hidrográfica do Alto Teles Pires para inserção no SWAT.

O mapa pedológico (Figura 1C) utilizado foi o elaborado por Santos et al. (2011), no qual a distribuição espacial percentual das classes de solos encontrada para a área de estudo foi de: Cambissolo (CX) 18,25%, Latossolo Vermelho (LV) 7,32%, Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) 55,39%, Argissolo Vermelho (PV) 2,65%, Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) 0,28%, Neossolo Quartzarênico (RQ) 14,38% e Neossolo Flúvico (RU) 1,76%.

Para avaliar o desempenho do modelo SWAT foi utilizado o coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NS).

$$i=1n \frac{Q_m - Q_s}{Q_m}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_m - Q_s}{Q_m} \right)^2 \quad (1)$$

Em que  $Q_m$  é vazão observada no dia  $i$  ( $m^3 s^{-1}$ );  $Q_s$  é vazão simulada no dia  $i$  ( $m^3 s^{-1}$ );  $Q_m$  é vazão média observada ( $m^3 s^{-1}$ );  $Q_s$  é vazão média dos dados simulados ( $m^3 s^{-1}$ ) e  $n$  é número de eventos.

Moriasi et al. (2007) apresentam uma classificação da faixa de valores NS e a respectiva avaliação do desempenho do modelo SWAT para a escala mensal, que são:  $0,75 < NS$  o modelo é considerado muito bom;  $0,65 < NS \leq 0,75$  o modelo é considerado bom;  $0,50 < NS \leq 0,65$  o modelo é considerado satisfatório e  $NS \leq 0,5$  é considerado insatisfatório.

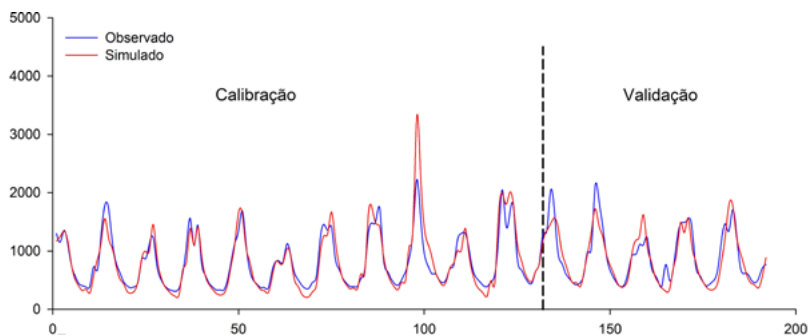
Com o objetivo de confrontar com os dados simulados pelo modelo, foi utilizada a estação fluviométrica denominada Cachoeirão com dados de vazão disponibilizados pela Hidroweb.

Neste trabalho foi utilizado um período de aquecimento de cinco anos (1991 a 1995), um período de calibração de dez anos (1996 a 2006) e cinco anos utilizados para validação (2007 a 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O hidrograma para o nível mensal dos valores observados e simulados pelo modelo SWAT, nas fases de calibração e validação (Figura 2), indicam algumas discrepâncias em diferentes períodos no hidrograma.

Analisando visualmente, o modelo fornece uma boa simulação da tendência da produção de água.



**Figura 2.** Hidrograma de dados observados e simulados das vazões mensais no período de calibração e validação para a estação Cachoeirão.

Os valores do coeficiente Nash-Sutcliffe, o qual retrata a performance do modelo, sobretudo na estimativa de vazões de pico, foram as seguintes para as vazões mensais, 0.82 e 0.80, respectivamente para o período de calibração e validação, que de acordo com a classificação de Morsiari et al. (2007) o desempenho do modelo aplicado a bacia hidrográfica do Alto Teles Pires é considerado muito bom. Salienta-se que é comum o índice estatístico de Nash-Sutcliffe no período de validação ser menor do que os índices para o período de calibração, conforme observam Fukunaga et al. (2015), Lelis et al. (2012), Monteiro et al. (2015), Neto et al. (2014) e Strauch et al. (2012).

## CONCLUSÕES

Com base nos parâmetros estatísticos, pode-se inferir que o modelo SWAT foi capaz de simular a vazão de forma adequada, uma vez que houve um ajuste muito bom entre as vazões observadas e simuladas para as vazões mensais.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Hidroweb**: sistemas de informações hidrológicas. [Brasília, DF], 2016. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment part I. model development. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, p. 73-89, 1998.

COE, M. T.; COSTA, M. H.; SOARES FILHO, B. S. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon river: land surface processes and atmospheric feedbacks. **Journal of Hydrology**, n. 369, p. 165-174, 2009.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Avaliação ambiental integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Teles Pires**. Brasília, DF: EPE/CONCREMAT, 2009.

FUKUNAGA, D. C.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S.; OLIVEIRA, L. T.; CAIADO, M. A. C. Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil. **Catena**, v. 125, p. 206-213, 2015.

LELIS, T. A.; CALIJURI, M. L.; FONSECA SANTIAGO, A. da; LIMA, D. C. de; OLIVEIRA ROCHA, E. de. Análise de sensibilidade e calibração do modelo SWAT aplicado em bacia hidrográfica da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 623-634, 2012.

MONTEIRO, J. A.; STRAUCH, M.; SRINIVASAN, R.; ABBASPOUR, K.; GÜCKER, B. Accuracy of grid precipitation data for Brazil: application in river discharge modelling of the Tocantins catchment. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 9, p. 1419-1430, 2015.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; LIEW, M. W. VAN; BINGER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.

NETO, J. de O. M.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. Simulação Hidrológica Escalar com o Modelo SWAT. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 177-188, 2014.

SANTOS, H.; JÚNIOR, W. C.; DART, R. O.; ÁGLIO, M. L. D.; SOUZA, J.; PARES, J. G.; OLIVEIRA, A. P. **O novo mapa de solos do Brasil**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2011. 67 p. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000. (Embrapa Solos. Documentos, 130).

STRAUCH, M.; BERNHOFER, C.; KOIDE, S.; VOLK, M.; LORZ, C.; MAKESCHIN, F. Using precipitation data ensemble for uncertainty analysis in SWAT streamflow simulation. **Journal of Hydrology**, v. 414, p. 413-424, 2012.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Global Data Explorer**. 2016. Disponível em: <<http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009, 943 p.