RELATÓRIO TÉCNICO FINAL

Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia: Quantificação e Monitoramento da Disponibilidade dos Recursos do Aquífero Urucuia e Superficiais nas Bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha

RELATÓRIO TÉCNICO FINAL

Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia: Quantificação e Monitoramento da Disponibilidade dos Recursos do Aquífero Urucuia e Superficiais nas Bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha

Autores:

Everardo Chartuni Mantovani

Aziz Galvão da Silva Júnior

Marcos Heil Costa

Eduardo Antônio Gomes Marques

Gerson Cardoso da Silva Júnior

Fernando Falco Pruski

VIÇOSA

Setembro de 2019

Relatório geral do estudo do potencial hídrico da região Oeste da Bahia: quantificação e monitoramento da disponibilidade dos recursos do Aquífero Urucuia e superficiais nas bacias dos Rios Grande, Corrente e Carinhanha

Recursos:
Programa para Desenvolvimento da Agropecuária (Prodeagro)

Proposição:
Associação de agricultores e Irrigantes da Bahia – AIBA

Execução:
Universidade Federal de Viçosa (UFV)
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Apoio:
Daugherty Water for Food Global Institute (DWFI)
Instituto Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (IAIBA)
Associação Baiana dos Produtores de Algodão (ABAPA)
Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA)
Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura (SEAGRI)
Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento (SIHS)
Instituto de Meio Ambiente e de Recursos Hídricos (INEMA)
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)
Agência Nacional de Águas (ANA)
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)
Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)

Ficha catalográfica elaborada pela Seção de Catalogação e Classificação da Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa

R572p
2019

Relatório técnico final : estudo do potencial hídrico da região oeste da Bahia : quantificação e monitoramento da disponibilidade dos recursos do Aquífero Urucuia e superficiais nas bacias dos Rios Grande, Corrente e Carinhanha / Everardo Chartuni Mantovani... [et al.] -- Viçosa, MG : [S.n.], 2019.
359 p. ; il. (algumas color.). 23 cm.

Inclui bibliografia

1. Águas subterrâneas – Bahia. 2. Solo – Uso. 3. Agricultura familiar. 4. Agricultura – Aspectos ambientais. 5. Políticas Públicas. I. Mantovani, Everardo Chartuni, 1958-. II Silva Júnior, Aziz Galvão da, 1966-. III. Costa, Marcos Heil, 1965-. IV. Marques, Eduardo Antônio Gomes, 1965-. V. Silva Júnior, Gerson Cardoso da, 1960-. VI. Pruski, Fernando Falco, 1961-. VII. Programa para Desenvolvimento da Agropecuária. VII. Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia. IX. Universidade Federal de Viçosa. X. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CDD 22. ed. 627.7009814

Bibliotecária responsável
Renata de Fátima Alves
CRB6 2875

RELATÓRIO TÉCNICO FINAL

REALIZAÇÃO:

UFV

UFRJ

FUNDO FINANCIADOR:

PARCEIROS:

APOIO:

INSTITUCIONAL

Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia – AIBA

Presidente: Celestino Zanella
Diretoria Administrativa: Carlos Henrique Santos
Diretoria de Águas e Irrigação: José Cisino Menezes Lopes
Equipe Técnica: Glauciana Pereira de Araujo
Diretoria de Meio Ambiente: Alessandra Terezinha Chaves Cotrim Reis
Equipe Técnica: Eneas Denieste Porto, Jonathas Alves Cruz, Raquel Paiva e Adolfo Andrade
Analista de Projetos: Natalie Maria Ribeiro
Assessoria Jurídica: Olegário Macedo
Assessoria de Agronegócio: Luiz Stahlke
Assessoria de Comunicação: Catiane Magalhães Fontes

Instituto Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia – IAIBA

Presidente Celestino Zanella
Superintendente Helmuth Kieckhöfer

Associação Baiana dos Produtores de Algodão - ABAPA

Presidente: Júlio César Busato

Programa para Desenvolvimento da Agropecuária – Prodeagro

Presidente: Celestino Zanella

Universidade Federal de Viçosa

Reitor Demétrius David da Silva
Fundação Arthur Bernardes: Presidente: Rodrigo Gava

Coordenação Geral dos Estudos

Everardo Chartuni Mantovani e Aziz Galvão da Silva Junior

Estudo Hidrogeológico e Modelagem Numérica de Fluxo do Aquífero Cretáceo Urucuia

Coordenadores: Eduardo Antônio Gomes Marques E Gérson Cardoso da Silva Júnior
Equipe: Glauco Zely Silva Eger e Archange Michael Illambwetsi
Estagiário: Jales Coelho Nepomoceno Junior e Jeniffer Chiappini da Matta

Estudo das Águas Superficiais das Bacias do Rio Grande e Corrente

Coordenador: Fernando Falco Pruski
Equipe: José Rui de Castro Sousa, João Felipe de Souza Josiane Rosa Silva de Oliveira, Ligia de Oliveira Serrano Pruski, Maria Camila Alves Ramos, Rayssa Balieiro Ribeiro, Tarcila Neves Generoso
Estagiários: Andresa Braga Oliveira, Ayres Coutinho Arrighi, Camila Tereza Pereira, Cristiane Julio Gonçalves e Luís Antônio Santos Gonsalves Júnior

Estudo do Uso do Solo - Balanço de Carbono e Taxa de Recarga do Aquífero Urucuia no Oeste da Bahia

Coordenador: Marcos Heil Costa
Equipe: Sassan Saatchi, Lívia Cristina Pinto Dias, Ana Beatriz dos Santos, Fernando Martins Pimenta, Emily Ane Dionizio da Silva, Vitor Cunha Fontes, Raphael Pousa, Matheus Lucas da Silva e Pauline R. de Souza
Estagiários: Marina Castro da Silva, Lucas Silva e Vinícius Fonseca de Brito

Governança

Coordenadores: Aziz Galvão da Silva Junior e Everardo Chartuni Mantovani
Estagiários: Ruã Jeferson Ferreira Coutinho e Renato Oliveira de Paula

SUMÁRIO GERAL

1. RESUMO EXECUTIVO, 7

2. PARTE 2: ÁGUAS SUPERFICIAIS, 17

3. PARTE 3: ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 67

4. PARTE 4: USO DO SOLO, 175

5. PARTE 5: AÇÕES DE GOVERNANÇA 5, 235

6. PARTE 6: INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO, 329

RESUMO EXECUTIVO:

1.1 Introdução geral

A produção de alimentos para atender o mercado interno e as exportações têm sido um grande desafio das últimas décadas e as metas atingidas e superadas colocam o agronegócio brasileiro em destaque no mundo, se tornando o grande "motor" do desenvolvimento do país.

Este desenvolvimento enfrenta permanentes mudanças, onde a demanda por produtos agrícolas se torna mais exigente em quantidade, qualidade e condições de produção. Tudo isto dentro de um período de grandes avanços tecnológicos, logística nem sempre favorável e foco em produção sustentável com fatores ambientais, sociais e econômicos bem estruturados.

Na agricultura tropical os ciclos de produção são definidos pela disponibilidade hídrica, onde o processo de produção está acoplado a ocorrência das chuvas, que nem sempre ocorrem no momento e na quantidade certa. Neste contexto a agricultura irrigada se coloca como uma opção importante para intensificar a produção e ampliar a produtividade de uma determinada área, claro que dependente da capacidade de investimento, disponibilidade de energia e principalmente da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea.

A análise da disponibilidade hídrica de uma região e a sua utilização para a produção de alimentos, fibras e agroenergia exige um debate amplo, com participação da sociedade civil, órgãos de regulação, comunidade acadêmica, empreendedores e interessados de uma maneira geral, uma vez que este assunto é de interesse da coletividade. Ocorre que muitas vezes o debate tem sido conduzido de maneira emocional, ainda com viés "do achismo", o que não tem trazido nenhuma solução para a efetiva gestão, pelo contrário, tem acentuado conflitos, os quais precisam ser resolvidos.

Apesar de um arcabouço legal robusto e muitos estudos ao longo dos anos, o debate sobre os recursos hídricos, sua gestão, disponibilidade e adequação aos usos múltiplos, ainda é conduzido com grandes lacunas de informações, principalmente técnico-científicas que sejam sistematizadas de maneira ampla e de fácil acesso aos diferentes usuários.

Se por um lado existe a preocupação com a disponibilidade da água, por outro existe a questão básica relacionada à necessidade de produzir alimentos, cada vez em maior quantidade e qualidade. Estudos da agência FAO da Organização das Nações Unidas (ONU) que é responsável pelas questões de alimentação e a agricultura, procurando liderar esforços para a erradicação da fome e combate à pobreza, indicam a necessidade de aumentar a atual produção de alimentos entre 60 e 70% até 2050. Estes percentuais de crescimento são necessários como forma de atender à demanda crescente da população que irá superar os 9 bilhões de pessoas. Pelas limitadas condições para expansão da área plantada, a FAO estima que 90% deste crescimento deverá vir do aumento da produtividade (FAO, 2017).

Levantamentos do Fórum Econômico Mundial sobre riscos globais apresentados em 14 edições, sendo a última em 2019, buscam levantar entre empresários do mundo a percepção e categorizar os riscos globais com base na visão individual, que reflete a visão do ambiente de negócio. Os resultados, como é de se esperar, são variáveis entre países, mas a preocupação com a disponibilidade hídrica e de alimentos sempre tem grande destaque (World Economic Forum, 2019). A figura a seguir, relaciona as crises hídrica e alimentar com riscos ambientais (verde), sociais (vermelho), geopolíticos (amarelo) e econômicos (azul) selecionados da pesquisa.

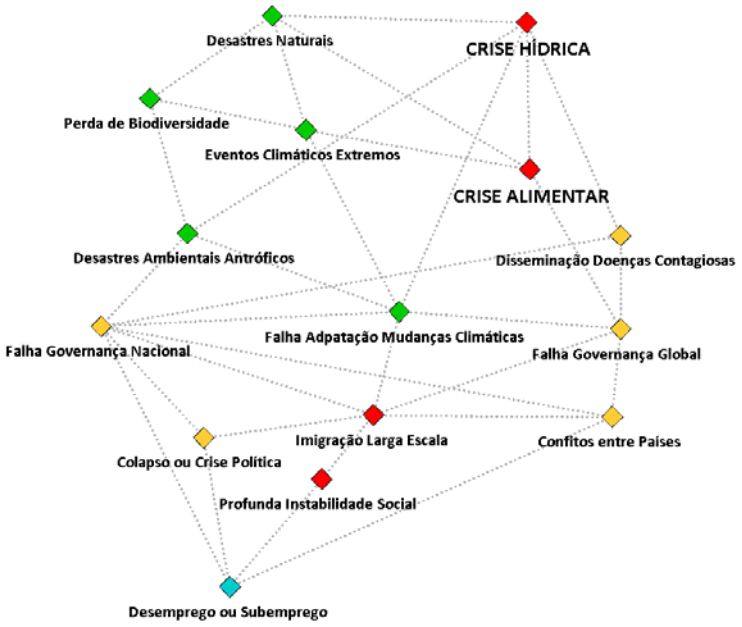


Figura 1. Rede de alguns riscos selecionados identificados. Fonte: World Economic Forum Global Risks Perception Survey 2018-2019.

1.2 Irrigação e Agricultura Irrigada

Em todo este debate a agricultura irrigada, embora negligenciada em muitas situações, vem se tornando uma importante estratégia para atingir os objetivos, seja pela intensificação do plantio (contínuo), seja por extrair o maior potencial produtivo das culturas e de seus cultivares, e criar condições para plantio na hora certa (climaticamente e economicamente). Desta forma a agricultura irrigada intensifica a produção, otimizando o uso da terra, os investimentos, a utilização de máquinas, infraestrutura de beneficiamento, a mão de obra e muitas outras, sendo que estas vantagens explicam a forte demanda por seu crescimento e desenvolvimento.

É importante lembrar que a história da irrigação se confunde com a do desenvolvimento e prosperidade econômica dos povos, em que as principais civilizações antigas tiveram sua origem em regiões áridas, onde a produção só é possível graças à irrigação. A história é rica em fatos, demonstrando que a irrigação sempre foi um fator de riqueza, prosperidade e segurança. Assim, as grandes aglomerações, que há mais de 4.000 anos se fixaram às margens dos rios Huang Ho e Iang-tse-Kiang, no vasto império da China, no Nilo do Egito, no Tigre e Eufrates da Mesopotâmia e no Ganges da Índia, surgiram e se conservaram graças à utilização de seus recursos hídricos (Bernardo et al, 2019).

Os sistemas de produção irrigada da antiguidade, que utilizava sistemas simples, mas efetivos para época, evoluíram de forma lenta até cerca da década dos anos 1980, mantendo-se a conotação da irrigação como estratégia de "luta contra seca". Este processo sofreu grandes transformações a partir da década dos anos 1990 em todo mundo, sendo que no Brasil um marco foi a promulgação da Lei n. 9433 em 8 de janeiro de 1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Mudanças importantes ocorreram, partindo de uma perspectiva limitada do conceito de irrigação para um conceito mais amplo de agricultura irrigada, que foi sendo incorporado e hoje é uma realidade na maior parte dos novos sistemas empresariais implantados (Mantovani 2016).

O diagrama descrito na Figura 2, ilustra muito bem esta evolução.

Figura 2. Diagrama de focos da irrigação no passado, presente e futuro. Fonte: Mantovani e Silva Jiunior, 2019.

Assim, hoje temos consolidado o conceito de agricultura irrigada, onde o sistema de produção convive com a preservação do meio ambiente, sendo a água, a energia e a mão de obra tratados como insumos que exigem responsabilidade ambiental, social, econômica e estratégica. Associa-se os fatores de sistemas de irrigação modernos e precisos na aplicação de água, automação total para garantir eficiência nos controles, uso generalizado de sistema de manejo da irrigação em base técnica, onde o uso de controles via medidas do clima, do solo e da planta está sendo ampliado com o uso maciço do sensoriamento remoto (satélite, vants), inteligência artificial e toda tecnologia moderna disponível.

É importante considerar esta nova agricultura irrigada, conectada com a sustentabilidade e, por apresentar grande capacidade de intensificação da produção de alimentos, fibras e agroenergia sem ampliação da área de produção, tem forte conotação estratégica de desenvolvimento. Este entendimento é fundamental no debate sobre a disponibilidade e uso dos recursos hídricos.

Assim, para o desenvolvimento da agricultura irrigada é necessário o acesso seguro das águas nos mananciais superficiais e subterrâneos, de forma a poder captar, conduzir e distribuir para as plantas. Mesmo que consideremos que menos de 1% da água aplicada seja parte final da produção que é retirada da gleba e que 99% da água volte para atmosfera através da evapotranspiração na sua forma mais pura e totalmente isenta de qualquer poluição, existe a necessidade de utilizar de forma adequada os recursos hídricos, pois como não temos controle sobre onde a água retornará em forma de chuva, podem e ocorrem desequilíbrios.

Desta forma a agricultura irrigada tem sido o centro dos debates em muitos fóruns pois, se por um lado é um dos instrumentos mais importantes para a produção intensiva de alimentos, fibras e agroenergia – com qualidade, quantidade e no lugar certo - por outro, exige grandes volumes de água.

Como fazer para resolver a questão que se apresenta de forma aparentemente contraditória? Como compatibilizar as diferentes demandas pela água? Como definir processos de uso da água que sejam entendidos por todos os envolvidos no sistema? Sem dúvida, a resposta não é simples mas passa por desenvolver ações que possam obter, organizar e sistematizar as informações científicas relacionadas aos recursos hídricos, desenvolver modelos modernos e eficientes de gestão que permitam distribuição adequada para os diferentes usuários e monitorar os usos e a disponibilidades para gerar ações em tempo real que possam fazer frente a situações de riscos, principalmente devido à variabilidade climática e em especial à quantidade e intensidade das chuvas.

1.3 Estudos

No contexto da necessidade de informações técnicas para dar suporte a gestão dos recursos hídricos existem três pilares de sustentação, os estudos da disponibilidade hídrica e das suas demandas, a implantação de sistemas de monitoramento que permitam acompanhar a evolução da disponibilidade e a governança que é o processo que estrutura, organiza e prioriza o uso compartilhado dos recursos disponíveis. É claro que todos eles, para funcionarem, exigem como elemento básico integrador a capacitação.

No diagrama a seguir, ilustra-se o relacionamento entre os componentes, onde a solução, dentro do marco da capacitação, vem da integração dos estudos-monitoramento-governança.

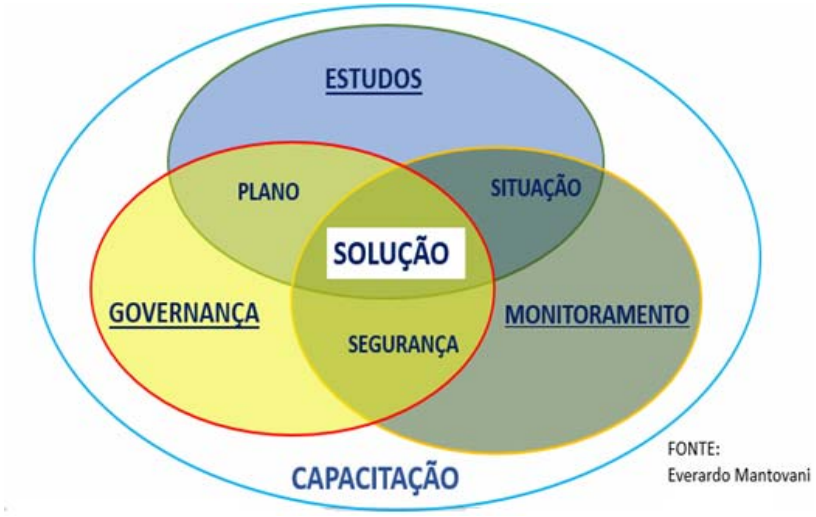


Figura 3. Visão integrada da gestão dos Recursos Hídricos. Fonte: Mantovani e Silva Junior, 2019.

Um exemplo nesta linha de solução foi proposto aos produtores da região Oeste da Bahia, organizados na Associação dos Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA), pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) e parceiros, sobre a disponibilidade hídrica na região, como explicitado adiante.

A região Oeste da Bahia é uma das mais ativas fronteiras agrícolas do mundo e segue um padrão de extensificação e intensificação. A ocupação da região se iniciou nos anos 1980 com uma expansão da área agrícola (extensificação) da ordem de 440% na área plantada entre 1990 e 2018, totalizando hoje cerca de 2,3 milhões de ha com agricultura. A área irrigada passou de 17.100 ha em 1990 para 190.900 ha em 2018, correspondendo a 8,02% da área plantada, aumentando a produtividade e o número de safras por ano (intensificação) com valores estimados de geração de renda da ordem de 30% do VBP (valor bruto da produção).

A região tem potencial de aumento da produção agrícola irrigada, tanto na agricultura empresarial quanto na agricultura de pequena escala e, é necessário que o potencial de crescimento ocorra em base sustentável, garantindo aos produtores que investem no sistema e à sociedade em geral (pois a água é um bem de domínio público), que este crescimento seja em base segura do ponto de vista da disponibilidade e do uso compartilhado dos recursos hídricos.

Entretanto, a rápida expansão da área irrigada e as secas que assolaram a região nos últimos anos, levaram preocupações com relação à disponibilidade dos recursos hídricos regionais. Neste contexto um convênio de cooperação entre o Programa para o Desenvolvimento da Agropecuária do Estado da Bahia (PRODEAGRO) a Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV) foi firmado com o objetivo de realizar pesquisas científicas sobre o potencial hídrico da região Oeste da Bahia criando condições para um debate técnico que possa trazer o desenvolvimento sustentável, econômico social e ambiental.

No projeto "*Estudo do potencial hídrico da região Oeste da Bahia: quantificação e monitoramento da disponibilidade dos recursos do Aquífero Urucuia e Superficiais nas bacias dos Rios Grande, Corrente e Carinhanha*" desenvolveu um intenso estudo da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea bem como análise da mudança do uso do solo. A análise integrada relacionando os recursos hídricos superficiais e subterrâneo, juntamente com uma análise apurada sobre o uso do solo e suas interações pode trazer uma nova visão que traga de forma efetiva o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada na região.

Complementa todo processo as ações desenvolvidas de forma integrada na análise e desenvolvimento de processos de governanças dos recursos hídricos, envolvendo todos os principais setores envolvidos, ou seja: produtores, gestores públicos regionais, estaduais e federais, comitês das bacias, associações, universidades e centros de pesquisas, entre outros. Dentro do projeto o processo de governança foi efetivo em auxiliar na definição de estratégias dos estudos e foco dos estudos, entendimento e interação entre os diferentes responsáveis pela gestão e principalmente dar o foco necessário relacionado ao desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada, gerando por um lado segurança à sociedade que preocupa com a disponibilidade hídrica e por outro para segurança aos empresários que investem altos valores na implantação de sistemas modernos de irrigação.

A equipe técnica é constituída pelos coordenadores gerais Everardo Chartuni Mantovani (professor DEA-UFV) e Aziz Galvão da Silva Júnior (professor DER-UFV), também coordenadores dos temas de governança do uso da água, Eduardo Marques (professor DEC-UFV) e Gerson Cardoso (professor UFRJ) coordenadores dos temas de potencial hídrico subterrâneo, Marcos Heil Costa (professor DEA-UFV) coordenador dos temas de uso do solo, análise do impacto da irrigação nas diversas sub bacias, balanço de carbono no solo e taxa de recarga do aquífero Urucuia, Fernando Falco Pruski (professor DEA-UFV) coordenador dos temas de potencial hídrico superficial. A equipe totaliza mais de 30 pesquisadores e auxiliares e conta também com a participação efetiva dos técnicos da AIBA e da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB).

As principais informações sobre o estudo, relatórios, apresentações e softwares podem ser encontrados na aba Potencial Hidrico no site a AIBA em www.aiba.org.br.

1.4 Águas Superficiais

A região Oeste da Bahia possui uma extensa a rede hidrográfica superficial nas grandes bacias dos Rios Grande, Corrente e Carinhanha, sendo que o conhecimento das vazões destes cursos d'água é fundamental para a gestão dos recursos hídricos. Nas bacias hidrográficas a disponibilidade hídrica é expressa pelas vazões médias e mínimas. As vazões mínimas representam a disponibilidade hídrica em condições naturais e a vazão média de longa duração representa a máxima vazão que pode ser regularizada, desconsiderando as perdas por evaporação e infiltração.

A estimativa da disponibilidade hídrica exige dados históricos de vazão que são normalmente restritos aos locais em que se têm estações fluviométricas. Assim, as informações nem sempre estão disponíveis para os locais de interesse e/ou não representam efetivamente as condições da área de drenagem. Para superar esta situação é comum nos estudos hidrológicos incorporar o processo denominado de regionalização das vazões. Essa técnica visa conhecer a disponibilidade hídrica para todos os cursos d'água em uma bacia hidrográfica por meio de relações estatísticas e físicas que associam as vazões às características físicas e climáticas da bacia.

Ainda assim, existem, algumas dificuldades específicas que necessitam ser consideradas para a realização da regionalização de vazões, como a limitada base de dados fluviométricos disponíveis e a necessidade de extrapolação das equações para além da faixa de valores observados.

Como um importante resultado do estudo realizado foi o desenvolvimento de um sistema informatizado para disponibilidade hídrica superficial em base regionalizada para toda a hidrografia da região Oeste da Bahia foi disponibilizado (SIHBA-Oeste). Foi desenvolvido sob a responsabilidade do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) da UFV através de um estudo de regionalização de vazões que permite de maneira rápida e eficiente a quantificação da disponibilidade hídrica superficial

em diferentes bacias da região Oeste da Bahia. Com os resultados obtidos é possível estimar as vazões mínimas (Q90 e Q95) e a vazão média de longa duração (Qmld) para todos os trechos da hidrografia. Para facilitar o acesso às informações foi desenvolvido o software SIHBA-Oeste, que é uma importante ferramenta para tomada de decisão e assim, contribuindo para gestão eficiente dos recursos hídricos na região.

Figura 4. Sistema SIHBA–Oeste de análise da disponibilidade hídrica regionalizada através das vazões Qmld (média de longa duração), Q90 e Q95 em qualquer seção da hidrografia das bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha.

O SIHBA-Oeste apresenta em sua tela inicial a hidrografia da região estudada, que traz operações tais quais zoom in, zoom out, seleção, cancelamento de seleção, movimentação no mapa e escala original. O usuário do sistema poderá ter acesso a diferentes informações relacionadas a cada trecho da hidrografia, mas de interesse coletivo. Entre as informações apresentadas tem-se: localização geográfica, ottocódigo, nome do rio, área de drenagem e as vazões estimadas. Todas as informações poderão ser obtidas de maneira sistêmica ou específica através da seleção da seção da hidrografia, ou por filtros que utilizam características do curso d'água.

O software SIHBA-Oeste pode ser acessado na página www.aiba.org.br (Potencial Hídrico) e na parte 2 deste relatório apresenta-se de forma detalhada as informações referentes às águas superficiais.

1.5 Águas subterrâneas

Historicamente os recursos hídricos subterrâneos têm sido negligenciados no Brasil e em todo o mundo. Sua utilização tem sido tem sido relegadas nas ações de planejamento do uso dos recursos hídricos em todos os níveis, sendo que uma possível explicação decorre de sua natureza oculta à visão dos gestores e da sociedade em geral.

Apesar evolução positiva da situação nos últimos anos, continuamos com escassez de informações em quantidade e qualidade, com limitações técnicas que impedem uma adequada gestão. No Oeste baiano a situação não é diferente, o sistema Aquífero Urucuia constitui um dos maiores e mais relevantes sistemas aquíferos do país em extensão areal, volumes armazenados disponíveis e também em termos econômicos, cuja maior parte da área de ocorrência está no oeste da Bahia e, existem importantes lacunas no conhecimento de seu potencial hídrico, mecanismos de funcionamento

hidrogeológico, recarga, fluxos etc. Esse extraordinário reservatório de água, com importância fundamental na manutenção do fluxo de base do sistema fluvial da bacia do rio São Francisco está, igualmente, sujeito a variações climáticas que impõem períodos de seca os quais, segundo os dados mais recentes indicam, serão mais frequentes e acentuados até o final do presente século. Desse modo, são crescentes as preocupações sobre os efeitos potenciais dessas secas sobre os níveis de água dos aquíferos, fontes e rios.

Para conseguir uma adequada compreensão da recarga, circulação de água, efeitos do bombeamento, modificações no uso do solo, períodos de seca e outros, realizou-se o presente estudo, que envolve o desenvolvimento e calibração de um modelo matemático de fluxo da água subterrânea do SAU baiano. Assim, dentro do tema de águas subterrâneas do aquífero Urucuia desenvolveu-se a partir do modelo conceitual o modelo matemático tanto em regime permanente quanto em regime transitório por meio do pacote computacional Visual ModFlow 4.6.

A utilização do software Visual Modflow 4.6 foi definida pois o mesmo apresenta códigos matemáticos para simulação de fluxo de água subterrânea aceitos em mundialmente. O Visual Modflow permite simulações que permitem determinar a disponibilidade hídrica, avaliação da situação atual, tendências futuras e assim a definição de estratégias de planejamento do uso e gestão das águas subterrâneas, se tornando um importante instrumento para definir de forma mais adequada a disponibilidade de água para outorga e a definição da distância apropriada para os poços tubulares. Além disso, funciona como uma fonte integrada de informações sobre o aquífero, sendo assim importante ferramenta para auxiliar na gestão a todos envolvidos no tema.

A seguir apresenta-se a figura 5 com uma vista de uma saída do software Visual Mod Flow.

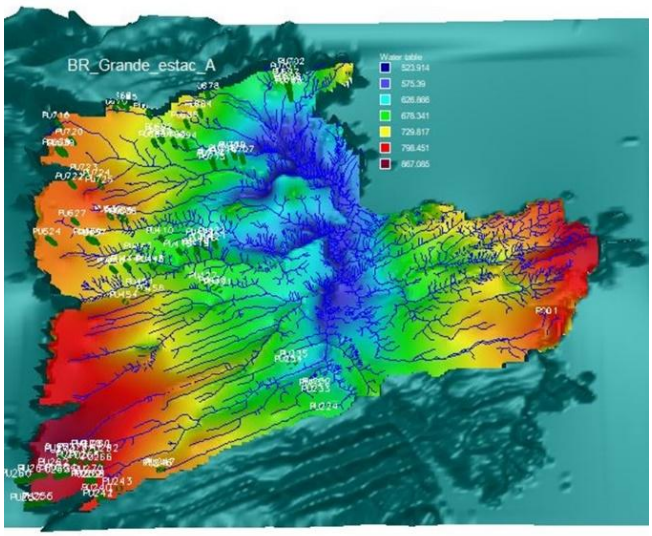


Figura 5. Sistema Modelo Numérico Visual MODFLOW: Bacia do Alto Grande

O Modelo Visual Modflow exige condições especiais para uso e a sua distribuição será dirigida aos órgãos gestores de recursos hídricos. Na parte 3 deste relatório apresenta-se de forma detalhada as informações referentes às águas subterrâneas.

1.6 Uso do solo:

Dentro do tema uso do solo foram confeccionados séries temporais de mapas de uso e cobertura de solo do Oeste da Bahia, volume de biomassa acima e abaixo do solo, bem como informações acerca do teor de carbono no solo decorrente das atividades agrícolas e entendimento de como a mudança de uso no solo afeta a recarga do aquífero Urucuia.

Os resultados do trabalho foram disponibilizados de quatro maneiras: relatório técnico (Parte 3 deste relatório), sistema OBahia, atlas impresso e artigos científicos

OBahia é uma plataforma multidisciplinar de acesso livre que engloba os resultados desenvolvidos no projeto, sendo desenvolvida utilizando código aberto, permitindo a autonomia no desenvolvimento de aplicações que acompanham o desenvolvimento tecnológico e que permitem a interoperabilidade entre as informações disponibilizadas utilizando os padrões OGC (Open Geospatial Consortium). O objetivo principal é o compartilhamento de dados geoespaciais para o Oeste da Bahia juntamente com seus respectivos metadados de forma padronizada, simples e dinâmica seguindo a filosofia de dados abertos, desta forma incentivando a colaboração interdisciplinar e o compartilhamento de conhecimentos científico-acadêmicos com a comunidade em geral. A plataforma também possibilita o compartilhamento de dados não espaciais através de tabelas, fotos, PDFs, arquivos zipados etc.

O software OBahia pode ser acessado na página www.aiba.org.br (Potencial Hídrico) e na parte 4 deste relatório apresenta-se de forma detalhada as informações referentes ao tema Uso do solo.

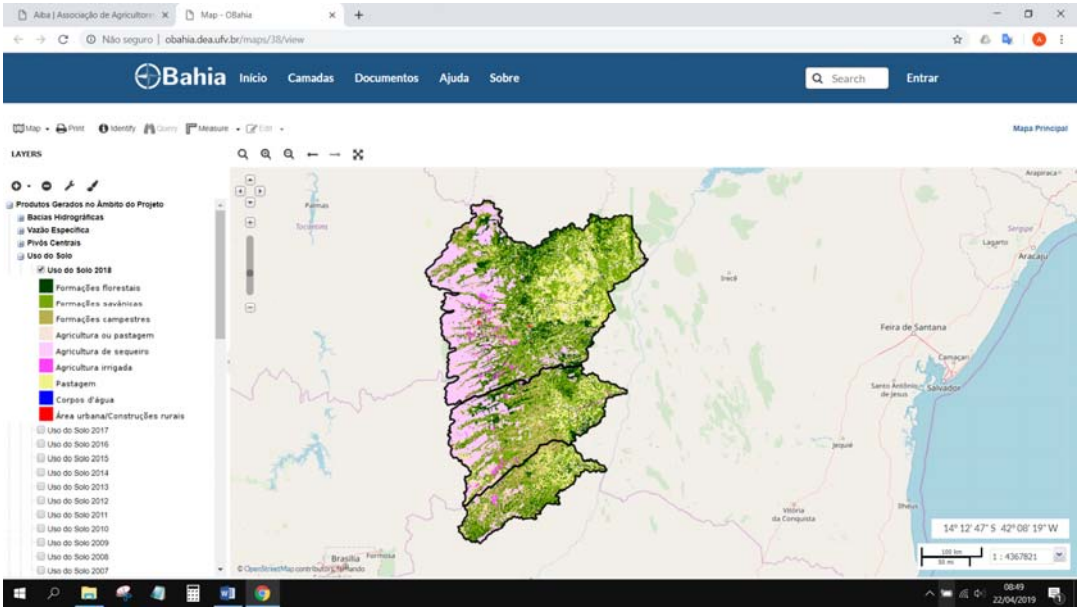


Figura 6. Sistema OBahia de gestão territorial. Fonte: www.aiba.org.br

Também foi produzido um atlas impresso apresentando os principais resultados do projeto disponíveis na forma de mapas. O atlas procurou registrar de forma impressa os principais resultados relacionados à demanda e disponibilidade de recursos hídricos subterrâneos e superficiais nas Bacias dos Rios Grande, Corrente e Carinhanha.

Para fechar a divulgação de resultados de um processo de investigação científica é importante a publicação dos resultados em literatura científica, tal processo está em andamento, normalmente exige tempo maior para ser produzido pois depende-se de estruturas externas. Dois artigos foram publicados e as referências estão a seguir:

- Dionizio, E. A., M. H. Costa, 2019: Influence of Land Use and Land Cover on Hydraulic and Physical Soil Properties at the Cerrado Agricultural Frontier. Agriculture, 9, 24, doi:10.3390/agriculture9010024.
- Pousa, R., Costa, M. H., Pimenta, F. M., Fontes, V. C., Brito, V. F. A., Castro, M. (2019). Climate Change and Intense Irrigation Growth in Western Bahia, Brazil: The Urgent Need for Hydroclimatic Monitoring. Water, 10, 933; doi:10.3390/w11050933.

1.7 Governança:

Além dos estudos necessários, uma preocupação na estruturação do projeto foi envolver setores relacionados à gestão de recursos hídricos do governo da Bahia para que houvesse participação e validação em todas as etapas, garantindo que os resultados obtidos fossem um consenso e assim pudessem gerar seus efeitos positivos ao setor produtivo, garantindo ao mesmo tempo produção sustentável e respeito ao meio ambiente.

Dentro deste princípio participativo desenvolveu-se um grande esforço de estabelecer parcerias e envolvimento com os órgãos do governo do Estado da Bahia (Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA), Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura (SEAGRI), Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento (SIHS) Instituto de Meio Ambiente e de Recursos Hídricos (INEMA), com o Daugherty Water for Food Global Institute da Universidade de Nebraska (IWFF/UNL), com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), com a Agência Nacional de Águas (ANA), com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), com a Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), com a Universidade do Estado da Bahia (UNEB), com os Comitês de Bacia Hidrográficas, tendo já sido realizadas inúmeras reuniões de apresentação e discussão do projeto.

Durante o desenvolvimento da primeira etapa referente aos estudos (abril de 2017-abril de 2019) os resultados foram amplamente apresentados e discutidos em workshop e reuniões técnicas, por meio de palestras e publicações, totalizando mais de 40 importantes eventos nestes dois anos. A edição de um documento final, com análise estruturada e completa está sendo preparado e irá subsidiar as discussões com os parceiros do projeto e especialistas da área visando atingir o objetivo primordial do projeto de contribuir para o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada na região Oeste da Bahia.

Diversas ações relacionadas ao desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada já foram postas em andamento durante os estudos e a consolidação das mesmas, passa pela integração, como citado anteriormente, pelas vertentes dos estudos, do monitoramento e da governança. Em relação aos estudos, os resultados têm contribuído de forma efetiva para entendimento e disponibilização de informações contrastadas sobre a disponibilidade hídrica (superficial e subterrânea) nas diversas sub bacias.

Pela vertente do monitoramento, estão em andamento discussões e organização de projeto sobre o sistema de informações hídricas da região Oeste da Bahia, cuja estrutura existente necessita ser integrada, ampliada e modernizada. Por último temos a importante questão da governança, onde diversas ações foram realizadas no sentido que o estudo, as informações geradas e todas as suas conclusões fossem uma de todos os envolvidos, ou seja, governo da Bahia através do INEMA/SEMA, SEAGRI, SIHS, IWFF/UNL, AIBA, ABAPA, UFV, CPRM, ANA, EMBRAPA, UNIVERSIDADES LOCAIS e os COMITÊS DE BACIA HIDROGRÁFICAS, entre outros.

De forma efetiva o desenvolvimento do projeto possibilitou:

- Um amplo e importante debate sobre a disponibilidade e gestão dos recursos hídricos na região Oeste da Bahia com todos envolvidos e interessados no tema, com destaque para os órgãos estaduais e federais relacionados à gestão, ministério público, órgãos internacionais, comitês de bacias, associações, docentes e discentes universidades federais, estaduais e locais, entre outros;
- Organização de base de dados referentes às águas superficiais e subterrânea, análise da sua disponibilidade e desenvolvimento de produtos que serão usados para definir o potencial sustentável de crescimento e desenvolvimento da agricultura irrigada na região Oeste da Bahia;
- Caracterização da evolução do uso do solo na região e análise de sub bacias hidrográficas com diferentes níveis de ocupação com agricultura irrigada, indicação de áreas com problemas e com potencial de desenvolvimento;
- Envolvimento dos órgãos responsáveis pela gestão de água na região Oeste da Bahia em todo processo (obtenção, processamento e análise dos dados), trazendo perspectivas muito positivas de uso dos sistemas desenvolvidos para gestão dos recursos hídricos de forma a gerar um maior desenvolvimento da agricultura irrigada com segurança hídrica e com paz social.

1.8 Referências:

Bernardo, S.; Mantovani, E.C.; Silva, D.D. e Soares, A.A. Manual de irrigação. Editora UFV. 9ª Edição. 545 p. 2019

FAO. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome. 180 p. 2017

Mantovani, E. C. e Silva Junior, A.G da . Revista AIBA Rural Disponibilidade hídrica versus agricultura irrigada: Como compatibilizar? P.22-26 Ano 5. 2019

Mantovani, E.C. O futuro da agricultura irrigada no Brasil. Revista Pivot Point p. 44. 2016

World Economic Forum. World Economic Forum global risks perception survey 2018-2019. 2019.

Parte 2: Águas Superficiais – Relatório Final Projeto Recursos Hídricos Oeste da Bahia

EQUIPE

Coordenador

Fernando Falco Pruski

e-mail: ffpruski@ufv.br

Analistas de sistemas

José Rui de Castro Sousa

João Felipe de Souza

Especialistas em recursos hídricos

Josiane Rosa Silva de Oliveira

Ligia de Oliveira Serrano

Maria Camila Alves Ramos

Rayssa Balieiro Ribeiro

Tarcila Neves Generoso

Estagiários

Andresa Braga Oliveira

Ayres Coutinho Arrighi

Camila Tereza Pereira

Cristiane Julio Gonçalves

Luís Antônio Santos Gonsalves Júnior

SUMÁRIO

1 Introdução 23
2 Resumo Executivo 23
3 Metodologia 24
3.1 Bacias hidrográficas estudadas 25
3.1.1 Bacia do rio Grande 25
3.1.2 Bacia do rio Corrente 26
3.1.3 Bacia do rio Carinhanha 26
3.2 Regionalização de vazões 27
3.2.1 Dados utilizados no estudo e seleção do período base 27
3.2.1.1 Variáveis dependentes 28
3.2.1.2 Variáveis independentes 28
3.2.2 Definição das RHH 29
3.2.3 Obtenção do modelo de regionalização de vazões 29
3.3 Análise do desempenho das equações de regionalização 30
3.4 Minimização do risco do uso de extrapolação de vazões 30
3.5 Consolidação do estudo de regionalização de vazões 30
3.6 Desenvolvimento do software 31
4 Resultados 33
4.1 Seleção das estações e do período base 33
4.1.1 Variáveis dependentes 42
4.1.2 Variáveis independentes 43
4.2 Definição das regiões homogêneas 44
4.3 Obtenção dos modelos de regionalização para a bacia do rio Grande 44
4.3.1 Regionalização da vazão média de longa duração 45
4.3.2 Regionalização da vazão mínima com permanência de 90% no tempo 47
4.3.3 Regionalização da vazão mínima com permanência de 95% no tempo 50
4.4 Consolidação do estudo de regionalização de vazões 52
4.5 Obtenção dos modelos de regionalização para a bacia dos rios Corrente e Carinhanha 53
4.5.1 Regionalização da vazão média de longa duração 53
4.5.2 Regionalização da vazão mínima com permanência de 90% no tempo 55
4.5.3 Regionalização da vazão mínima com permanência de 95% no tempo 57
4.6 O software 59
5 Conclusão 63
6 Referências 64

1. Introdução

O conhecimento das vazões nos cursos d'água é de suma importância para o gerenciamento dos recursos hídricos. Em uma bacia hidrográfica, a disponibilidade hídrica é expressa pelas vazões médias e mínimas. As vazões mínimas representam a disponibilidade hídrica em condições naturais e a vazão média de longa duração representa a máxima vazão que pode ser regularizada, desconsiderando as perdas por evaporação e infiltração.

Para estimar a disponibilidade são necessários dados históricos de vazão, no entanto esses dados geralmente estão restritos aos locais em que se têm estações fluviométricas. Em razão disso, as informações nem sempre estão disponíveis para os locais de interesse ou não representam efetivamente as condições da área de drenagem.

Uma das técnicas mais utilizadas para suprir a carência de informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados é a regionalização de vazões. Essa técnica visa conhecer a disponibilidade hídrica para todos os cursos d'água em uma bacia hidrográfica por meio de relações estatísticas e físicas que associam as vazões às características físicas e climáticas da bacia.

Existem, entretanto, algumas dificuldades específicas que necessitam ser consideradas para a regionalização de vazões, como, por exemplo, a limitada base de dados fluviométricos disponíveis e a necessidade de extrapolação das equações para além da faixa de valores observados.

A adequada quantificação da disponibilidade dos recursos hídricos, por meio de estudos de regionalização que considerem a real complexidade do processo, potencializa uma melhor alocação da água. Esses estudos devem envolver variáveis que ajudem a descrever o comportamento do sistema natural, como a consideração do fator de abstração; a utilização de modelos que permitam a extrapolação das equações de regionalização para trechos de cabeceira; a consideração de aspectos relativos à hidrogeologia; entre outros fatores.

Tendo em vista a importância da regionalização de vazões para o conhecimento da disponibilidade de água ao longo da hidrografia, o Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (GPRH) tem desenvolvido, há mais de 10 anos, diversas ações a fim de facilitar e melhorar o processo de regionalização de vazões.

Estudo relevante foi desenvolvido para o estado de Minas Gerais, pelo GPRH e o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), o qual é intitulado ***Estudo de Regionalização de Vazão para o Aprimoramento do Processo de Outorga no Estado de Minas Gerais***. O estudo é disponibilizado por meio de um sistema informatizado que fornece, para qualquer seção da hidrografia, as vazões médias de longa duração (Q_{mld}) e mínimas ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}) e a área de drenagem correspondente a cada trecho da hidrografia em todas as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do Estado de Minas Gerais.

Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi realizar a regionalização das vazões Q_{mld}, Q_{90} e Q_{95} e gerar um modelo computacional para automatizar a obtenção dessas vazões em qualquer seção da hidrografia das bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha.

2. Resumo Executivo

A consolidação da agricultura na região Oeste da Bahia é resultado de uma série de eventos simultâneos, que envolve eficiência na produção, tecnologia e ações de sustentabilidade, os quais tem feito a diferença na produtividade agrícola nacional. Entre os

pontos fundamentais para ampliação e segurança nos sistemas produtivos da região, é essencial a obtenção de informações técnicas e científicas atualizadas sobre a disponibilidade hídrica que permitam a tomada de decisão e contribuam com a gestão de recursos hídricos.

Nessa perspectiva, a Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (Aiba), por meio do Programa para Desenvolvimento da Agropecuária (Prodeagro) em parceria com a Universidade Federal de Viçosa (UFV) e o Governo da Bahia, através da Secretaria do Meio Ambiente da Bahia (Sema), Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Inema), Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura (Seagri) e Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento (SIHS), tem conduzido o "Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia: Quantificação e Monitoramento da Disponibilidade dos Recursos do Aquífero Urucuia e Superficiais nas Bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha".

No contexto desse estudo, pesquisadores do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) da UFV desenvolveram o estudo de regionalização de vazões que permitirá de maneira rápida e eficiente a quantificação da disponibilidade hídrica superficial em diferentes bacias da região Oeste da Bahia. Com os resultados obtidos será possível estimar as vazões mínimas (Q90 e Q95) e a vazão média de longa duração (Qmld) para todos os trechos da hidrografia. Para a apresentação desses resultados, foi desenvolvido um software, denominado Sistema de Informações Hidrológicas para o Oeste da Bahia (SIHBA-Oeste), que poderá se tornar uma importante ferramenta na tomada de decisão, contribuindo para gestão eficiente dos recursos hídricos no Estado.

O SIHBA-Oeste apresenta em sua tela inicial a hidrografia da região estudada, que traz operações tais quais *zoom in*, *zoom out*, seleção, cancelamento de seleção, movimentação no mapa e escala original. O usuário do sistema poderá ter acesso a diferentes informações relacionadas a cada trecho da hidrografia, mas de interesse coletivo. Entre as informações apresentadas tem-se: localização geográfica, ottocódigo, nome do rio, área de drenagem e as vazões estimadas. Todas as informações poderão ser obtidas de maneira sistêmica ou específica através da seleção da seção da hidrografia, ou por filtros que utilizam características do curso d'água.

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, recomenda-se que uma próxima etapa para dar suporte ao adequado planejamento e gestão de recursos hídricos nas bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha, consista em desenvolver um sistema de informações automatizado, dinâmico e integrado, capaz de caracterizar de forma efetiva as reais condições de disponibilidade e demandas dos recursos hídricos, buscando o atendimento destas e o desenvolvimento econômico sustentável. Para tanto, esse sistema deve conter recursos que permitam: a obtenção da disponibilidade hídrica natural (Q90 e Q95) e potencial (Qmlt), em base mensal; a associação das outorgas concedidas à disponibilidade hídrica, com automatização de procedimentos necessários à gestão de recursos hídricos; a associação das vazões efetivamente demandadas à disponibilidade hídrica, com automatização dos processos necessários ao planejamento do uso dos recursos hídricos; o planejamento do uso compartilhado e racional dos recursos hídricos em condições de conflito, possibilitando a compatibilização das demandas à disponibilidade.

3. Metodologia

3.1 Bacias hidrográficas estudadas

3.1.1 Bacia do rio Grande

A bacia do rio Grande está localizada no oeste do estado da Bahia, entre as coordenadas geográficas 10°10' e 13°20'S de latitude e 43°08' e 46°37'O de longitude (Figura 1), representando 13,2% da área do estado, sendo limitada ao norte pelo estado do Piauí; ao sul, pela bacia do rio Corrente; a oeste, pelos estados de Goiás e Tocantins; e a leste, pelas bacias do médio São Francisco. A bacia do rio Grande possui uma área de aproximadamente 75.000 km^2, sendo a maior sub-bacia inserida na área de drenagem do rio São Francisco. É composta por 14 municípios: Angical, Baianópolis, Barreiras, Buritirama, Catolândia, Cotegipe, Cristópolis, Formosa do rio Preto, Luís Eduardo Magalhães, Mansidão, Riachão das Neves, Santa Rita de Cássia, São Desidério e Wanderley.

A bacia apresenta uma ampla diversidade climática, com variação do tropical semiárido ao úmido. O comportamento pluviométrico também é bastante heterogêneo, com regiões onde as chuvas podem atingir até 2.000 mm por ano e outras em que esses índices não chegam a 800 mm, sendo característicos os períodos de seca. A temperatura média anual da bacia é de 24,3 ºC, sendo a temperatura média mensal dos meses mais quentes de 25,9 ºC (setembro e outubro) e do mês mais frio (julho), igual a 22,2 ºC, o que representa uma diferença de apenas 14,28% em relação ao período de temperaturas mais elevadas (MOREIRA e SILVA, 2010).

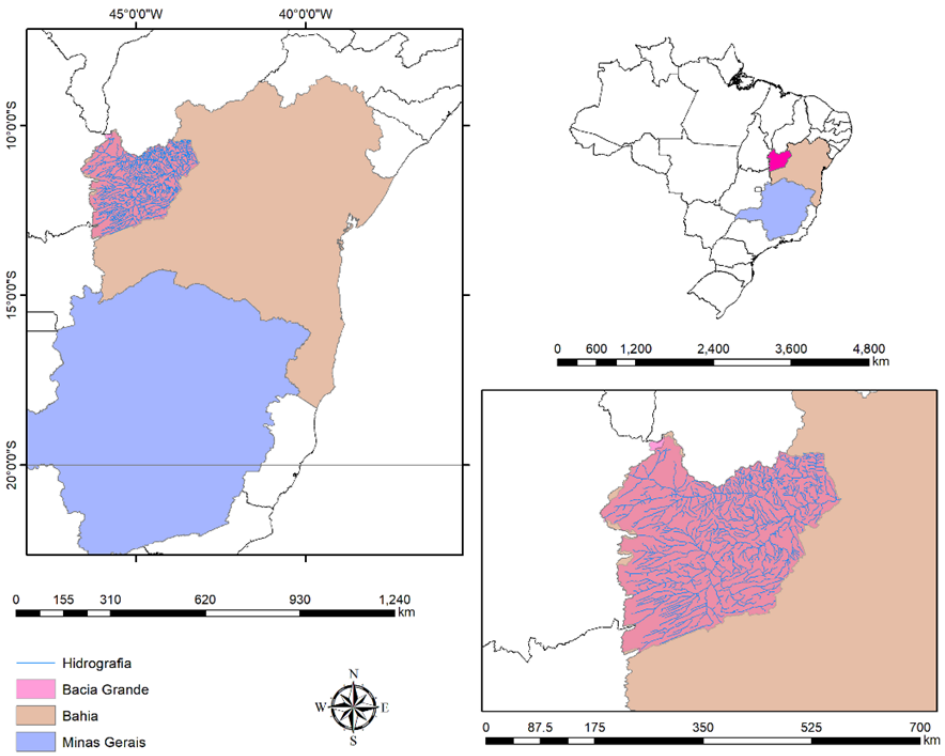


Figura 1 – Localização geográfica da bacia do rio Grande.

3.1.2 Bacia do rio Corrente

A bacia do rio Corrente possui uma área total de aproximadamente 44.000 km^2, representando 8% da área do estado da Bahia e aproximadamente 5,4% da área total da bacia do rio São Francisco, na qual localiza-se na região oeste, mais especificamente entre as latitudes 12º45' e 14º50' S e as longitudes de 43º20' e 46º15' O (Figura 2). A bacia do rio Corrente é limitada ao norte pela bacia do rio Grande; ao sul, pela bacia do rio Carinhanha; a leste, pela bacia do Médio São Francisco; e a oeste, pela bacia do rio Tocantins, limite da divisa entre os estados da Bahia e de Goiás. Seu território abrange 11 municípios: Brejolândia, Canápolis, Cocos, Coribe, Correntina, Jaborandi, Santa Maria da Vitória, Santana, São Félix do Coribe, Serra Dourada e Tabocas do Brejo Velho.

A bacia do rio Corrente tem clima predominantemente seco, subúmido e semiárido, com temperaturas que variam entre 16° e 36°C. As regiões mais secas registram chuvas entre 500 mm e 800 mm, já as mais chuvosas podem chegar até 1.100 mm, com precipitações concentradas entre a primavera e o verão (BAHIA, 2015).

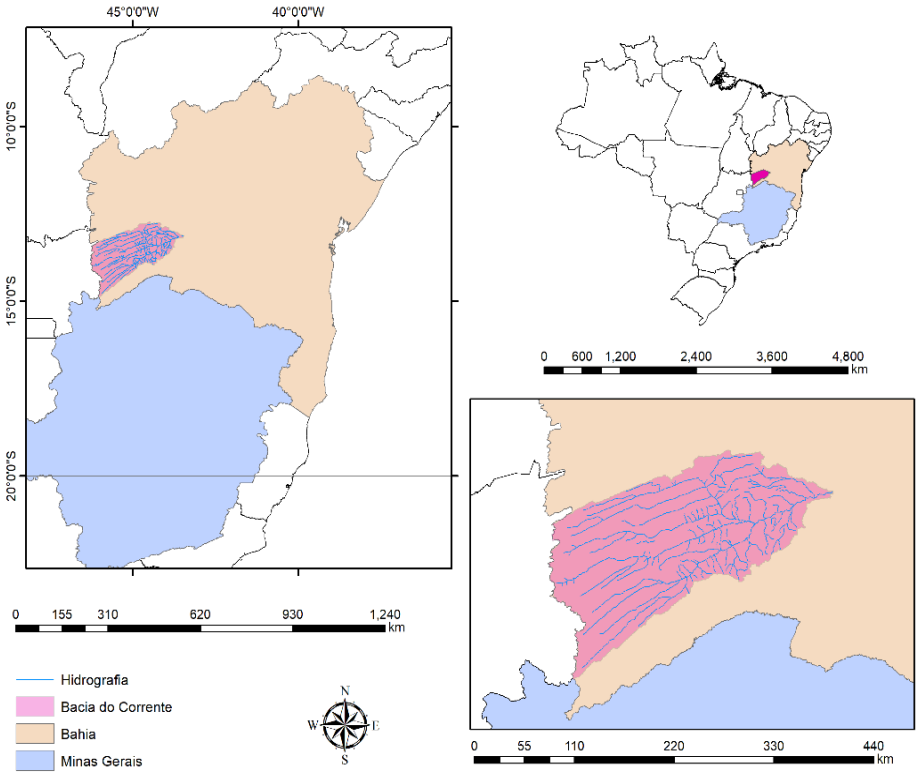


Figura 2 – Localização geográfica da bacia do Corrente.

3.1.3 Bacia do rio Carinhanha

A bacia do rio Carinhanha está localizada na margem esquerda do São Francisco, entre as coordenadas 13º50’ e 15º30’S de latitude e 43º40’ e 46º10’O de longitude, com uma área de contribuição de aproximadamente 17.300 km². A bacia situa-se na divisa dos estados de Minas Gerais e Bahia e faz parte da região denominada Médio São Francisco (Figura 3). O percurso do rio Carinhanha ocorre em sua totalidade na zona rural, não passando por cidades de grande porte.

A bacia abrange parcialmente oito municípios mineiros: Arinos, Bonito de Minas, Chapada Gaúcha, Cônego Marinho, Formoso, Januária, Juvenília e Montalvânia, e quatro baianos Cocos, Coribe, Feira da Mata e Carinhanha.

O clima é caracterizado, segundo a classificação de Thornthwaite, como subúmido seco para a maior parte da bacia, sendo a parte oeste mais úmida e a leste, próxima ao São Francisco, semiárida (BORGES, 2009). O bioma predominante é o cerrado e a precipitação anual média varia entre 800 e 1.200 mm.

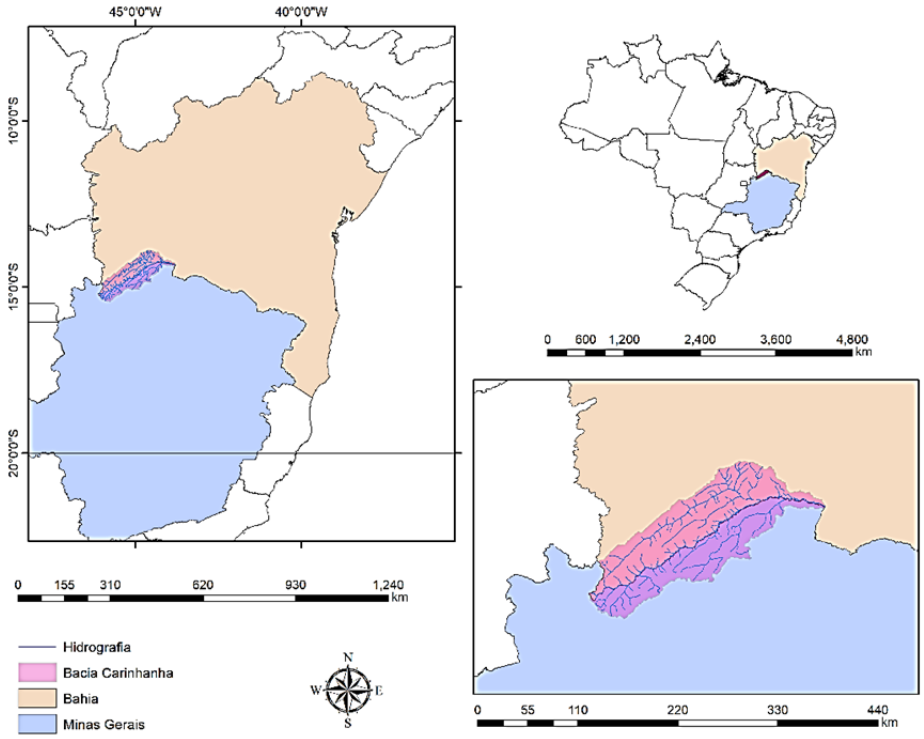


Figura 3 – Localização geográfica da bacia do rio Carinhanha.

3.2 Regionalização de vazões

O método de regionalização de vazões empregado foi o das regressões regionais, o qual é um dos mais amplamente adotados. O procedimento para aplicação desse método envolve, inicialmente, a definição prévia de regiões hidrologicamente homogêneas (RHH) e, em um segundo momento, a obtenção de equações que permitam associar a vazão com variáveis topológicas e climáticas nas regiões definidas.

3.2.1 Dados utilizados no estudo e seleção do período base

Foram utilizadas as séries históricas, com dados consistidos e não consistidos, de 91 estações fluviométricas e 427 estações pluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) da Agência Nacional das Águas (ANA), adquiridos em 9 de fevereiro e 21 de março de 2017, respectivamente, e a Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2012, obtida pela ANA a partir do Mapeamento Sistemático Brasileiro.

A análise das estações pluviométricas foi realizada de maneira a permitir a cobertura total das bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha, sendo para tal consideradas estações inseridas no interior e ao redor da área de estudo.

A base hidrográfica está na escala do milionésimo e, mesmo considerando essa escala, há regiões em que a hidrografia não corresponde ao que está evidenciado em imagens de satélite, o que implica casos em que a vazão pode ser estimada para trechos inexistentes ou que a vazão estimada seja superior à vazão observada em determinados trechos. Esses fatos estão diretamente relacionados à tendência de decaimento das vazões mínimas com o tempo ao longo das bacias.

O período base foi selecionado de modo que as estações em estudo tivessem no mínimo 20 anos de dados e uma série histórica com mais de 95% dos dados.

3.2.1.1 Variáveis dependentes

As variáveis dependentes analisadas no estudo foram a vazão média de longa duração (Q_{mld}) e as vazões mínimas Q_{90} e Q_{95}. A vazão média corresponde à média das vazões diárias contempladas na série histórica para o período em estudo. As vazões Q_{90} e Q_{95} são dadas pela curva de permanência, que descreve a relação entre a vazão de um curso d'água e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada, em 90% e 95% do tempo, respectivamente (Pruski et al, 2013). A Q_{90} foi analisada por ser a vazão de referência utilizada pelo Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Inema) do estado da Bahia (BAHIA, 2007), e a Q_{95} por ser a vazão utilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA) (ANA, 2013) para análise dos processos de outorga na região de estudo. Também foi realizada a regionalização da Q_{mld}, por ser esta a vazão de referência para outorgas sob condições de regularização de vazões.

Todas as variáveis dependentes foram obtidas, para as estações fluviométricas, utilizando o Sistema Computacional para Estudos Meteorológicos e Hidrológicos - Hydrology Plus (SOUSA, 2017).

Visando a exclusão de estações fluviométricas com dados inconsistentes, foi utilizado o *box plot*, que é um recurso da estatística descritiva para identificação de *outliers* em uma distribuição de dados. Para isso, o coeficiente de escoamento (CE) e as vazões mínimas específicas (q_{90} e q_{95}) nas estações foram considerados como variáveis para a análise das vazões médias e mínimas, respectivamente.

3.2.1.2 Variáveis independentes

As variáveis independentes utilizadas foram a área de drenagem (A), como característica física da bacia, por ser a que mais interfere no processo de formação das vazões médias e mínimas (RIBEIRO; MARQUES; SILVA, 2005), e a precipitação total anual média (P), representando característica climática, uma vez que, sua variação ao longo das bacias se reflete diretamente no comportamento das vazões específicas e sua inclusão como variável explicativa das vazões pode representar uma melhoria do modelo de regionalização (PRUSKI et al., 2012).

A área de drenagem foi considerada de forma isolada e de forma combinada com a precipitação, visando a representação bidimensional da relação entre as variáveis dependentes e independentes e, também, o aumento de um grau de liberdade na análise estatística (PRUSKI et al., 2013). Para a combinação, foi considerado o uso de uma variável

representando a vazão equivalente ao volume precipitado em determinada área de drenagem (Peq), conforme a equação:

$$Peq = \frac{P\,A}{31.536} \quad (1)$$

em que: P_{eq} = vazão equivalente ao volume precipitado, $m^3\ s^{-1}$; P = precipitação média anual na área de drenagem considerada, mm; A = área de drenagem, km^2; e 31.536 é uma constante usada para converter P para metros e A para metros quadrados, e dividir pelo número de segundos no ano.

Além disso, considerando que apenas uma parte da precipitação contribui efetivamente para a formação das vazões, uma vez que grande parte é convertida para outros processos, principalmente evapotranspiração, foi utilizado o valor de 750 mm (NOVAES, 2005) como fator de abstração da precipitação, conforme equação:

$$Peq_{750} = \frac{(P\text{-}750)\,A}{31.536} \quad (2)$$

em que Peq_{750} é a vazão equivalente ao volume precipitado considerando a subtração do fator de abstração igual a 750 mm, $m^3\ s^{-1}$.

As áreas de drenagem das estações foram obtidas no HidroWeb e a área dos trechos da hidrografia foi obtida usando a Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2012. A precipitação média anual correspondente ao período base na bacia foi estimada por interpolação, pelo método do inverso do quadrado da distância (IDW) dos dados das séries históricas das estações pluviométricas selecionadas para o estudo.

3.2.2 Definição das RHH

A definição das RHH foi feita pela análise de cluster, empregando o método de Ward, com o uso da distância euclidiana como medida de dissimilaridade. As variáveis foram as coordenadas geográficas, usadas com o intuito de se obter regiões geograficamente contínuas (RAO & SRINIVAS, 2006) e as vazões normalizadas de cada estação fluviométrica.

Considerando que as variáveis apresentam unidades e escalas diferentes, o que pode interferir no resultado da análise de agrupamentos (DINIZ, 2012; GOYAL & GUPTA, 2014), foi feita a normalização dos dados (MELO JÚNIOR et al., 2006; ELESBON et al., 2015).

Os agrupamentos obtidos foram avaliados pelas medidas de discordância e de heterogeneidade, estatisticamente baseadas em momentos-L, conforme descrição de Hosking e Wallis (1997). A medida de discordância foi aplicada com a finalidade de identificar, dentro dos clusters analisados, estações com características estatísticas muito discrepantes das demais. Já a medida de heterogeneidade avalia o grau de heterogeneidade de uma região pela comparação entre a variabilidade amostral observada e a variabilidade esperada para uma região homogênea.

3.2.3 Obtenção do modelo de regionalização de vazões

A regionalização foi desenvolvida a partir da análise de regressão, que permite estabelecer como as alterações em uma ou mais variáveis independentes afetam o comportamento da variável dependente.

Nesse estudo, as equações foram obtidas a partir da análise de regressões simples, utilizando o modelo potencial, expresso por:

$$Q = a X^b \quad (6)$$

em que: Q = vazão de interesse, $m^3 s^{-1}$; X = variável independente; e a e b = parâmetros de ajuste do modelo, adimensionais.

Para a aplicação do método das regressões regionais foi utilizado o Sistema Computacional para a Regionalização de Vazões (SisCoRV 1.0) (SOUSA, 2009), desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) e disponível em www.ufv.br/dea/gprh.

3.3 Análise do desempenho das equações de regionalização

As equações foram analisadas através de seu desempenho estatístico, pela seleção preliminar daquelas que apresentaram maior coeficiente de determinação, menor erro padrão e menor amplitude dos resíduos. Posteriormente, as vazões calculadas com essas equações foram espacializadas ao longo da hidrografia e realizou-se a análise de desempenho físico das vazões obtidas, a fim de verificar a tendência do comportamento das variáveis explicativas (A, Peq, Peq_{750}), para, a partir de então, selecionar o resultado mais representativo. Na análise física foi feita uma comparação da distribuição espacial do CE, para a vazão média, e das vazões específicas q_{90} e q_{95}, para as vazões mínimas, obtidos por cada uma das equações com o mapa de precipitação.

3.4 Minimização do risco do uso de extrapolação de vazões

As equações de regionalização, quando utilizadas fora dos limites dos valores observados, sobretudo quando se trata de vazões médias e mínimas, podem gerar uma superestimava das vazões e representar insegurança ao processo de planejamento e gestão de recursos hídricos.

Nesse sentido, foi utilizado um processo de imposição de restrição, conforme o qual a vazão nas regiões de extrapolação não deve ultrapassar um limite físico conhecido. O procedimento adotado permite minimizar o risco de superestimativa das vazões para as regiões onde é feita a extrapolação, possibilitando, assim, uma gestão mais segura dos recursos hídricos (PRUSKI *et al*., 2015; PRUSKI *et al*., 2016).

A análise de risco foi baseada na verificação do comportamento das vazões espacializadas ao longo da hidrografia, a fim de verificar a existência de trechos onde a vazão estimada pelo modelo supera limites físicos pré-estabelecidos. No caso das vazões médias de longa duração, o limite físico estabelecido foi o maior coeficiente de escoamento correspondente às estações fluviométricas utilizadas no estudo e, no caso das vazões mínimas, o limite de imposição constituiu na máxima vazão específica estimada nas estações fluviométricas consideradas no estudo.

3.5 Consolidação do estudo de regionalização de vazões

A hidrologia, bem como outras ciências ligadas ao ambiente, é cercada de uma diversidade de fatores condicionadores dos processos envolvidos e baseada na premissa de

que os eventos previstos seguem a mesma sequência de ocorrência dos eventos observados no passado. Assim, embora toda preocupação no sentido de garantir uma maior segurança nas predições de vazões, como o uso de um processo baseado na avaliação física do comportamento das vazões e a utilização de uma ferramenta para imposição de limites físicos associados às regiões de extrapolação das equações de regressão, a incerteza associada à estimativa das vazões ainda é alta.

Visando minimizar a insegurança associada ao estudo de regionalização, foi feita uma análise complementar para verificar se as estimativas representam as condições reais da bacia. Para isso, foi realizada uma campanha de medição de vazão em algumas seções da hidrografia, selecionadas considerando critérios como a relevância do rio, a acessibilidade e a viabilidade para medir as vazões com o uso dos equipamentos sem apresentar risco ao operador, priorizando as posições de maior insegurança nas estimativas, as quais geralmente correspondem às posições de cabeceira. Além disso, com o intuito de se obter valores de vazão representativos das condições naturais, isto é, livres da influência de grandes retiradas de água para irrigação, optou-se por realizar as medições em um período no qual o bombeamento fosse mínimo e, assim, a campanha foi feita no mês de fevereiro.

Considerando que, na região de estudo, o mês de fevereiro é um mês chuvoso e que o estudo de regionalização foi feito em base anual, foi necessário o estabelecimento de uma relação entre a vazão em base anual com a vazão associada ao mês de fevereiro. Para isso foi calculada a diferença relativa (DH_{fev}) entre a Q_{90} em base anual e a Q_{90} do mês de fevereiro (Q_{90fev}) para cada estação fluviométrica, conforme mostra a equação:

$$DH_{fev} = \frac{Q_{90fev} - Q_{90}}{Q_{90}} \qquad (7)$$

De posse dos valores de DH_{fev} para cada estação, calculou-se o valor médio ($\overline{DH}_{fev}$) e com base no resultado estabeleceu-se um fator de conversão da Q_{90} anual para a Q_{90} corrigida (Q_{90_cor}):

$$Q_{90_cor} = Q_{90}\,(1+\overline{DH}_{fev}) \qquad (8)$$

3.6 Desenvolvimento do software

Para facilitar o acesso e a consulta aos resultados obtidos no estudo, também foi contemplado neste projeto o desenvolvimento do Sistema de Informações Hidrológicas para o Oeste da Bahia (SIHBA-Oeste). O SIHBA-Oeste foi projetado para atender às bacias hidrográficas dos rios Grande, Corrente e Carinhanha por meio da apresentação dos resultados espacializados ao longo da hidrografia e de ferramentas para consulta dos valores das vazões estudadas Q_{lt}, Q_{90} e Q_{95}. O fluxograma representado na Figura 4 esquematiza o processo de obtenção e apresentação dos resultados. Inicialmente o usuário deverá selecionar uma seção de interesse para que o software realize uma busca na base de dados e apresente os resultados correspondentes à essa seção.

Figura 4 - Fluxograma de funcionamento do modelo computacional.

Para o desenvolvimento do SIHBA-Oeste optou-se pela utilização de ferramentas livres, de código fonte aberto e gratuitas para buscar uma maior independência tecnológica de padrões proprietários e, além disso, evitar o pagamento de licenças de uso de softwares. O uso de software livre representa uma alternativa muito viável e capaz de atender aos requisitos dos mais variados projetos em pequena ou grande escala.

O ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) escolhido foi o *NetBeans*. Este IDE é gratuito, de código aberto e pode ser executado em diversos sistemas operacionais. Por meio deste IDE de programação foi estruturado todo o software utilizando a linguagem de programação Java. A linguagem Java é muito popular no mundo inteiro por causa de suas características como: paradigma de programação orientado a objetos; independência de plataforma e de sistema operacional; distribuição com amplo conjunto de bibliotecas; e, disponibilidade gratuita sob licença LGPL do Kit de Desenvolvimento Java (JDK).

Assim como todos os programas criados em linguagem de programação Java, o SIHBA-Oeste é multiplataforma. Isso é possível porque o código gerado pelo compilador Java é executado em uma Máquina Virtual Java (JVM), que, por sua vez, pode ser instalada em diferentes sistemas operacionais e plataformas. Deste modo, o SIHBA-Oeste possui portabilidade entre sistemas operacionais e pode ser executado nas plataformas GNU/Linux, Apple MacOs ou Microsoft Windows sem que haja a necessidade de reprogramação ou adaptação.

Para a implementação do acesso, visualização e extração de informação geográficas optou-se pela utilização da biblioteca *GeoTools*. Esta biblioteca está disponível sob licença *open source* LGPL e fornece métodos para manipulação de dados geoespaciais e para implementação de sistemas de informações geográficas. A biblioteca *GeoTools* adota os padrões do *Open Geospacial Consortium* (OGC) para as suas estruturas de dados, o que a torna adequada para o desenvolvimento e integração com outros sistemas e bases de dados.

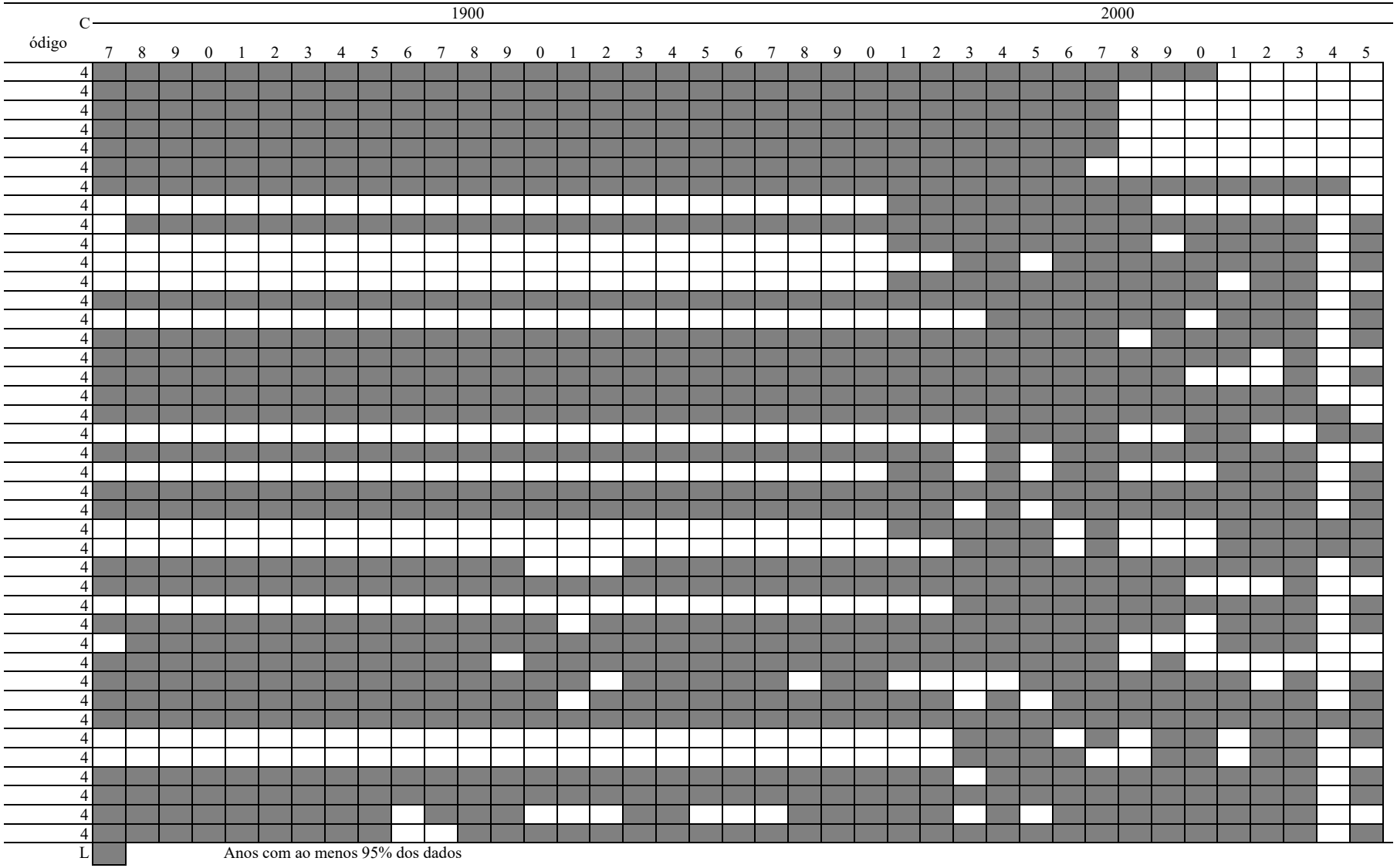
4 Resultados

4.1 Seleção das estações e do período base

A partir da análise dos dados das 91 estações fluviométricas inseridas nas bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha, construiu-se o diagrama de disponibilidade com todas as estações que continham dados no intervalo de 1977 a 2015 (Tabela 1). Esse intervalo foi definido como período-base por caracterizar o período comum com maior quantidade de estações com dados disponíveis. Ressalta-se que as informações utilizadas para o período de 2007 a 2015, disponibilizadas no HidroWeb até março de 2018, são correspondentes aos dados não consistidos e que, até essa data, as informações disponíveis para os anos de 2016 e 2017 não atenderam aos critérios de seleção para que fossem incorporadas no estudo. Além disso, no ano de 2014 apenas 7,4% das estações atendiam ao critério de seleção e, por essa razão, foi desconsiderado das análises.

Dentre as estações fluviométricas analisadas foram selecionadas para utilização no estudo um total de 27 estações, das quais 15 pertencem à bacia do rio Grande, sete à do Corrente e cinco à do Carinhanha. Na Figura 5 é apresentada a localização das estações fluviométricas analisadas, sendo identificadas aquelas utilizadas no estudo bem como as que foram desconsideradas por não atenderem aos critérios de seleção. É importante salientar que algumas das estações fluviométricas não utilizadas no estudo de regionalização, mas apresentadas nessa figura, não possuem série histórica de vazões e, por isso, não se encontram no diagrama de barras apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Disponibilidade dos dados das estações fluviométricas



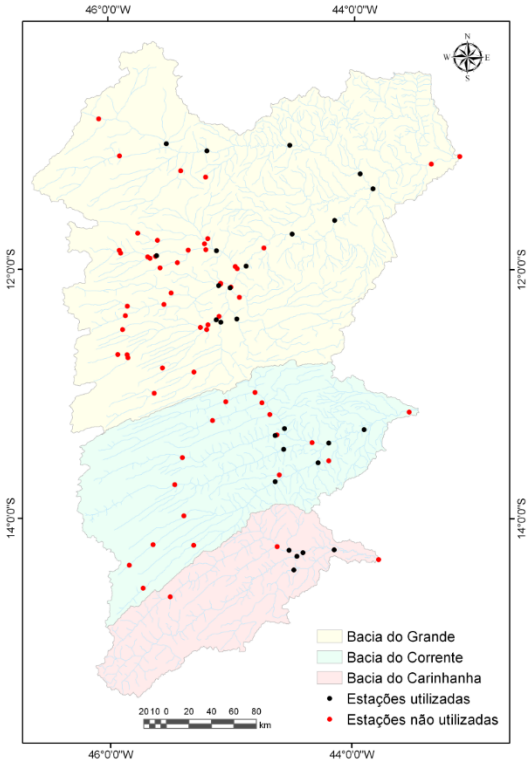


Figura 5 – Estações fluviométricas localizadas nas bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha.

Na Tabela 2 são apresentados código, nome, latitude, longitude e área de drenagem das estações fluviométricas utilizadas no estudo.

Tabela 2 – Estações fluviométricas utilizadas no estudo

Bacia	Estação	Nome da estação	Latitude	Longitude	Área (km^2)
	46415000	Sítio Grande	-12,4306	-45,0856	4902,29
	46455000	Derocal	-12,4106	-45,1222	6359,05
	46543000	Fazenda Redenção	-12,1358	-45,1033	5256,24
	46550000	Barreiras	-12,1525	-45,0094	24376,02
	46590000	Nova Vida - Montante	-11,8561	-45,1200	7382,42
	46610000	São Sebastião	-11,9794	-44,8772	32907,41
	46650000	Tagua	-11,7208	-44,5022	35810,66
Grande	46675000	Fazenda Macambira	-11,6106	-44,1567	39472,67
	46770000	Fazenda Bom Jardim	-10,9936	-45,5278	6993,90
	46790000	Formosa do Rio Preto	-11,0514	-45,1969	14424,31
	46830000	Ibipetuba	-11,0058	-44,5242	18353,89
	46870000	Fazenda Porto Limpo	-11,2356	-43,9494	22175,88
	46902000	Boqueirão	-11,3553	-43,8456	46282,88
	46570000	Ponte Serafim - Montante	-11,8953	-45,6081	2716,68
	46490000	Fazenda Coqueiro	-12,4044	-44,9531	4446,04

Continua...

Tabela 2 – Cont.

Bacia	Estação	Nome da estação	Latitude	Longitude	Área (km^2)
Corrente	45590000	Correntina	-13,3414	-44,6383	3792,79
	45770000	Arrojado	-13,4528	-44,5689	5730,13
	45840000	Gatos	-13,7122	-44,6383	7024,37
	45880000	Colônia Do Formoso	-13,5600	-44,2856	8946,74
	45910001	Santa Maria Da Vitória	-13,3969	-44,1994	29529,79
	45960001	Porto Novo	-13,2914	-43,9089	31030,04
	45740001	Mocambo	-13,2853	-44,5617	9019,76
Carinhanha	45131000	São Gonçalo	-14,3136	-44,4594	5996,81
	45170001	Fazenda Porto Alegre	-14,2642	-44,5225	5854,89
	45210000	Lagoa Das Pedras	-14,2831	-44,4094	12531,67
	45220000	Capitânea	-14,4236	-44,4831	2387,92
	45260000	Juvenília	-14,2600	-44,1522	16258,84

A seleção das estações pluviométricas levou em conta os mesmos critérios e o mesmo período base utilizado para as estações fluviométricas, ou seja, 1977 a 2015. Desse modo, foram selecionadas 87 estações, para as quais a disponibilidade dos dados dentro do período base definido é apresentada na Tabela 3.

Na Figura 6 é apresentado o mapa com a localização das estações pluviométricas analisadas, sendo identificadas aquelas selecionadas para utilização no estudo de regionalização de vazões bem como aquelas que foram desconsideradas por não atenderem aos critérios de seleção.

Tabela 3 – Disponibilidade dos dados das estações pluviométricas

| Código | 1900 | | |

Tabela 4 – Cont.

Código	1900																								2000													
	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
1244011	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		98	99	100	96	100	98	100	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	99		100	100	100	100	100	
1244019	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100
1245004	100	100	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	99	100	97	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100
1245005	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100	100	99	100	100	100	100		98	99	100	100	99	100
1245007	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	
1245014									100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100
1246000		96	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100							100	100	100	100	100				100	100	100	100	100	100	100
1246001	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100		100	100	100							100	100	100	100	100				100	100		100	100	100	
1247000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100							100	100	100	100	100				100	100	100	100	98	100	96
1247002	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100		100	95		100	100	100	100	100	100		100		100	100	100	100					100	100	100	100	100	100	100
1343008		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100		100
1344002	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100		100	100
1344013		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100		100
1344014	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100	100	100	98	100	100	99	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100
1344015	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	99		100	100	100	98	100	99
1344016	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100		100	100	100
1344017		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100		100	100		100	100	100
1345000								100	100	99	100	100	100				100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100		100	100
1346000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	95		100	100	100							100	100	100	100	100				100	100	100	100	100	100	100
1346001	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100						100	100	100	100	100	100			100	100	100	100	100	100	100	100
1346002	100	100	95		100	100	100	100	100	100	100			100		100	100	100	100	100	98	100	100		100	100	100	100	100				100	100	100		100	100	99
1346004	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				100							100	100	98	100	100			100	100		100	100	100	100	100
1346005	100	100	100	100	100	100	100	99	100	96	100	100	100			100		95							100	100	100	100	100				100	100	100	100	100	100	100
1346006						100	100		100		100	100		95	98	99	100	100	100	99	100	100	100	100	100	99		100	100	100	100	100			100	99	100	100	100
1347000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100						100	100	100	100	100	100	100	100	100							
1347001	100	100	100			100	100	100	100	100		98	100				100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100					100	100	100		100	100
1443001	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	
1443002	100	100	100	100	100		100	100	100		100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100			100	100	100	100
1443026									100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100

Continua...

Tabela 5 – Cont.

Código	1900																									2000														
	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
1444000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100
1444001	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100
1444004	100	100		100	100	100	99			98	97		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100
1444005	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				100	100	100		100	100	100	100	100	100		100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100
1444017	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100
1445000						100		100	100	100	100		100	100	100		100	100	100			100	100	99	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100
1446002	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100			100	100	100	100																	
1447000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100						99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	99
1447001	100	100	100	98	100	97	100	100	100	100	100	100	97	100		100	100	100						100	100	100	100	100	100	100	100	100							
1447002	100	100	100	100	96	100	100	100	100	100	100	100	100			100	100	100						100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	99	100
1543002	100	100	100			100	100	99	100	100	100	100	100	100			100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100
1543013	100	100	100	97	100	100	100		100	100	99	100	98		100				100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100
1544012	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100
1544014		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				100	100	100	100	100	100															
1544017	100		100		100	100	100	100	100	100	100		100		100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100			100	100	
1544018	100								100		99	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100		100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1544019	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100			100					100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100
1546000	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	99					100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1546005		100	99		100	100	100			99	100	100			100		99	98		100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	98	99	98
1547001	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100						100	100	100	100	100	100	100	100	100							
1547002	100	100	100	100	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100								100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100			
1547003	99	100		100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	99	100																	
1547022			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100									
1643020	100	100	96	100		100		100	100	100			100	100	100	98	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100												
1645000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100
1645002	100	100	100		100	100	100	100	100		100		100	97			100	100	100		100		100	100		100	100	100	99		100	100	100				100	100	98
1645005		100		99	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100			100		100	100	99	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100
1645009	99	100				100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100
1646001	100	100	100			100	100	100	100		100	100	100		100	100	100		100	100	100		100				100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1646003			100		100	100	100	100		100	100					100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100

Legenda: 99 — Anos com ao menos 95% dos dados

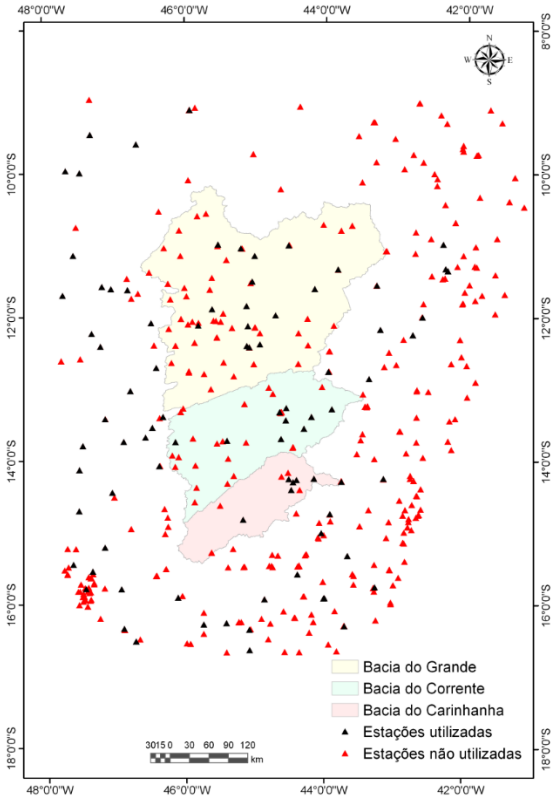


Figura 6 – Localização das estações pluviométricas analisadas nas bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha.

Na Tabela 4 são apresentados código, nome, latitude, longitude e precipitação média anual das estações pluviométricas utilizadas no estudo.

Tabela 6 – Estações pluviométricas utilizadas no estudo

Código	**Nome**	**Latitude**	**Longitude**	**Precipitação (mm ano^{-1})**
945011	Alto Parnaíba	-9,1131	-45,9261	1327,29
946003	Lizarda	-9,5919	-46,6806	1497,76
947001	Mansinha	-9,4575	-47,3269	1709,47
1042012	Rio Verde II (Codevasf)	-10,9864	-42,3422	564,70
1047000	Jatobá (Fazenda Boa Nova)	-9,9906	-47,4786	1619,75
1047001	Novo Acordo	-9,9606	-47,6747	1596,56
1142017	Fazenda Cabaceiras	-11,3286	-42,3050	659,99
1142020	Fazenda Refrigério - Jusante	-11,3561	-42,2736	651,90
1143002	Morpará	-11,5633	-43,2753	801,54
1143010	Boqueirão	-11,3414	-43,8278	845,52
1144005	Fazenda Macambira	-11,6139	-44,1575	862,94
1144014	São Sebastião	-11,9844	-44,7114	940,38
1144027	Ibipetuba	-11,0061	-44,5256	879,54

Continua...

Tabela 4 – Cont.

Código	Nome	Latitude	Longitude	Precipitação (mm ano^{-1})
1145001	Formosa do Rio Preto	-11,0478	-45,2019	996,65
1145004	Fazenda Bom Jardim	-10,9925	-45,5267	1058,27
1145013	Ponte Serafim - Montante	-11,8961	-45,6119	1162,97
1145014	Nova Vida - Montante	-11,8525	-45,1222	1000,66
1145019	Caripare	-11,5119	-45,0419	952,05
1146000	Dianópolis	-11,6253	-46,8106	1584,06
1147000	Almas	-11,5789	-47,1739	1505,98
1147001	Natividade	-11,6969	-47,7283	1613,09
1147002	Pindorama do Tocantins	-11,1403	-47,5767	1610,82
1147003	Porto Alegre	-11,6125	-47,0450	1538,39
1242015	Brotas de Macaúbas	-12,0036	-42,6283	742,60
1242016	Ponte Br-242	-12,2519	-42,7628	612,06
1243000	Gameleira	-12,8669	-43,3814	760,76
1243011	Ibotirama	-12,1806	-43,2233	752,51
1243019	Serra Dourada (Faz. Muritiba)	-12,7692	-43,9575	887,26
1244011	Barreiras	-11,1544	-45,0092	1053,28
1244019	Fazenda Coqueiro	-12,3892	-44,9322	1094,74
1245004	Fazenda Redenção	-12,1347	-45,1042	965,52
1245005	Derocal	-12,4114	-45,1203	1005,45
1245007	Sítio Grande	-12,4306	-45,0858	1087,76
1245014	Fazenda Joha	-12,1256	-45,8108	1176,61
1246000	Ponte Alta do Bom Jesus	-12,0908	-46,4794	1946,04
1246001	Aurora do Norte	-12,7139	-46,4086	1729,85
1247000	Conceição do Tocantins	-12,2325	-47,3244	1345,83
1247002	Rio da Palma (Faz. Chuva Manga)	-12,4156	-47,1997	1310,58
1343008	Porto Novo	-13,2925	-43,9092	795,45
1344002	Mocambo	-13,2778	-44,5589	987,31
1344013	Gatos	-13,7106	-44,6325	1064,55
1344014	Correntina	-13,3364	-44,6522	942,16
1344015	Colônia do Formoso	-13,5667	-44,3061	939,31
1344016	Arrojado	-13,4508	-44,5656	965,12
1344017	Santa Maria da Vitória	-13,4006	-44,1975	938,87
1345000	Arrojolândia	-13,7342	-45,4033	897,08
1346000	São Domingos	-13,3975	-46,3158	1242,61
1346001	Nova Roma (Faz.Sucuri)	-13,7425	-46,8775	1163,64
1346002	Fazenda Ingazeiro	-13,6858	-46,5656	1163,53
1346004	Campos Belos	-13,0358	-46,7769	1494,42
1346005	São Vicente	-13,5508	-46,4672	1122,78
1346006	Fazenda Planalto	-13,7519	-46,1400	1297,71
1347000	Cavalcante	-13,7969	-47,4617	1812,67
1347001	Ponte Paranã	-13,4253	-47,1392	1258,65

Continua...

Tabela 4 – Cont.

Código	Nome	Latitude	Longitude	Precipitação (mm ano^{-1})
1443001	Manga	-14,7567	-43,9322	801,02
1443002	Carinhanha	-14,3044	-43,7681	834,48
1443026	Palmas de Monte Alto	-14,2594	-43,1656	760,53
1444000	São Gonçalo	-14,3136	-44,4603	948,48
1444001	Capitânea	-14,4231	-44,4836	944,18
1444004	Juvenília	-14,2628	-44,1608	864,28
1444005	Lagoa das Pedras	-14,2806	-44,4094	962,54
1444017	Fazenda Porto Alegre	-14,2683	-44,5217	965,19
1445000	Cajueiro	-14,8361	-45,1733	1051,26
1446002	Posse	-14,0842	-46,3711	1516,76
1447000	Alto Paraíso de Goiás	-14,1347	-47,5117	1424,54
1447001	Flores de Goiás	-14,4500	-47,0458	1147,75
1447002	São João D'aliança	-14,7072	-47,5236	1366,87
1543002	Colônia do Jaiba	-15,3411	-43,6753	764,48
1543013	Janaúba	-15,7756	-43,2797	789,40
1544012	São Francisco	-15,9494	-44,8681	1015,66
1544014	São João da Ponte	-15,9333	-44,0167	1042,25
1544017	Pedras de Maria Da Cruz	-15,5986	-44,3931	916,03
1544018	Fazenda Canadá	-15,0225	-44,0536	808,69
1544019	São João da Ponte	-15,9303	-44,0042	980,73
1546000	Arinos - Montante	-15,9244	-46,1097	1200,04
1546005	Cabeceiras	-15,8008	-46,9247	1456,56
1547001	Fazenda Santa Sé	-15,2161	-47,1569	1575,78
1547002	Planaltina	-15,4533	-47,6133	1321,87
1547003	Formosa	-15,5489	-47,3381	1464,72
1547022	Rio Preto	-15,7922	-47,4328	1216,89
1643020	Capitão Enéas	-16,3222	-43,7150	942,67
1645000	São Romão	-16,3717	-45,0828	1028,52
1645002	Santo Inácio	-16,2817	-45,4142	1002,72
1645005	Vila Urucuia	-16,3003	-45,7422	1101,26
1645009	Cachoeira da Manteiga	-16,6569	-45,0808	987,45
1646001	Unaí	-16,3514	-46,8897	1338,37
1646003	Santo Antônio do Boqueirão	-16,5297	-46,7211	1269,65

4.1.1 Variáveis dependentes

As variáveis dependentes Q_{mld}, Q_{90} e Q_{95} obtidas para as bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha são apresentadas na Tabela 5.

Pela análise de *box plot* realizada para as estações fluviométricas selecionadas para a bacia do rio Grande constatou-se que a estação 46490000 apresentou comportamento discrepante ("*outlier*") para todas as vazões consideradas, tendo sido retirada do estudo. A aplicação dessa mesma estatística às bacias dos rios Corrente e do Carinhanha não identificou

comportamentos discrepantes, implicando a manutenção de todas as estações inicialmente selecionadas.

Tabela 5 – Vazões mínimas e média de longa duração para as estações fluviométricas utilizadas

Bacia	Estação	Nome da estação	Q_{90}	Q_{95}	Q_{mld}
Grande	46415000	Sítio Grande	18,90	17,13	31,16
	46455000	Derocal	34,53	32,34	69,80
	46490000	Fazenda Coqueiro	2,58	2,11	5,95
	46543000	Fazenda Redenção	30,73	27,66	47,55
	46550000	Barreiras	57,18	54,14	86,00
	46570000	Ponte Serafim - Montante	6,57	5,60	13,82
	46590000	Nova Vida - Montante	37,31	35,91	50,84
	46610000	São Sebastião	129,43	122,65	189,22
	46650000	Tagua	123,07	114,03	189,87
	46675000	Fazenda Macambira	127,09	119,52	192,51
	46770000	Fazenda Bom Jardim	26,23	25,28	34,20
	46790000	Formosa do Rio Preto	72,13	68,22	97,23
	46830000	Ibipetuba	73,74	70,77	98,12
	46870000	Fazenda Porto Limpo	75,39	71,83	106,29
	46902000	Boqueirão	191,33	181,31	276,75
Corrente	45590000	Correntina	23,50	22,47	31,48
	45770000	Arrojado	43,86	42,31	57,16
	45840000	Gatos	56,78	53,80	77,95
	45880000	Colônia do Formoso	57,43	54,16	80,55
	45910001	Santa Maria da Vitória	142,38	136,13	204,15
	45960001	Porto Novo	140,00	133,43	207,36
	45740001	Mocambo	25,16	23,88	39,72
Carinhanha	45131000	São Gonçalo	39,62	37,28	64,90
	45170001	Fazenda Porto Alegre	42,51	40,31	59,46
	45210000	Lagoa das Pedras	80,64	76,47	126,01
	45220000	Capitânea	5,63	4,99	11,37
	45260000	Juvenília	86,36	79,46	139,69

Variáveis independentes

O mapa de precipitação (Figura 7) foi obtido a partir da interpolação por IDW dos dados de precipitação total anual média. Com base nesse mapa foi calculada a precipitação média nas áreas de drenagem a montante de cada uma das estações fluviométricas utilizadas.

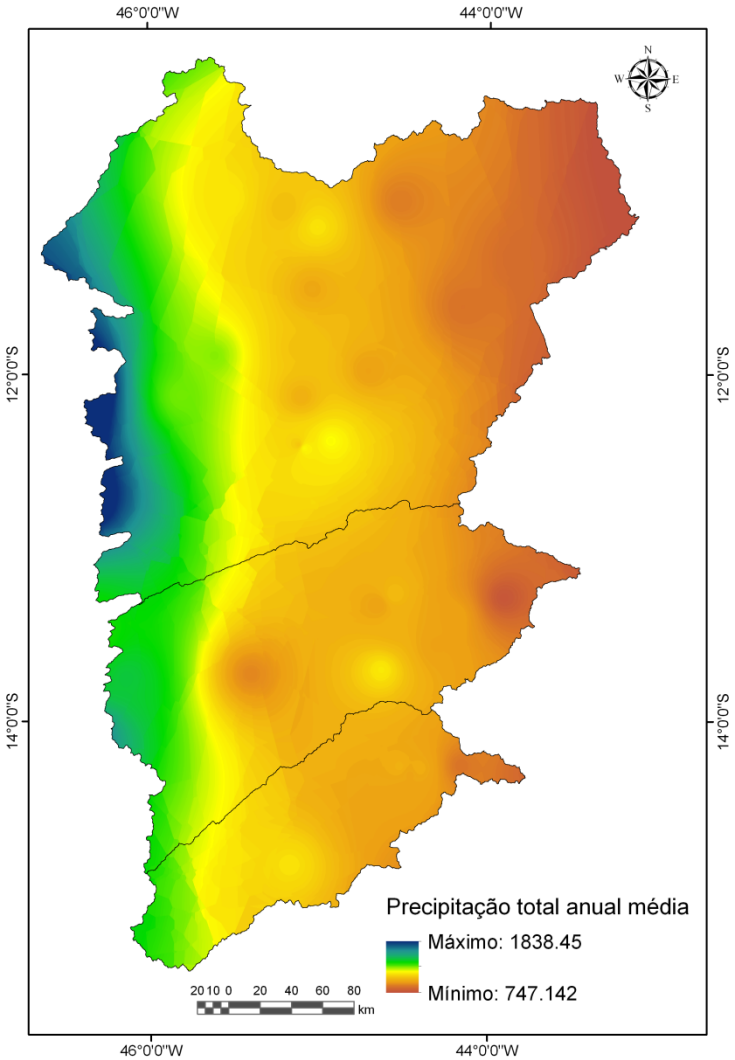


Figura 7 – Precipitação total anual média nas bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha.

4.2 Definição das regiões homogêneas

Foram avaliadas diferentes possibilidades de divisão das bacias em regiões hidrologicamente homogêneas. Para a bacia do Grande, a análise estatística e uma análise preliminar do comportamento físico das vazões regionalizadas sugeriram que a adoção de uma única região homogênea é mais adequada. Para essa consideração, as medidas de discordância e de heterogeneidade indicaram a necessidade de exclusão da estação 46570000.

Para a bacia do rio Corrente, as análises não conduziram à obtenção de modelos de regionalização representativos, mesmo sendo considerada como única região hidrologicamente homogênea. Assim, foi adotado o agrupamento das bacias dos rios Corrente e Carinhanha como uma região homogênea. Para essa situação, as análises conduziram a resultados satisfatórios e nenhuma estação foi eliminada.

4.3 Obtenção dos modelos de regionalização para a bacia do rio Grande

Analisando os valores do coeficiente de determinação, do erro padrão e da amplitude de resíduos evidenciou-se que a variável explicativa que possibilitou o melhor ajuste

estatístico foi a precipitação equivalente menos o fator de abstração de 750 mm (Peq_{750}). Além dos melhores índices estatísticos, o uso da Peq_{750} possibilitou uma distribuição espacial das vazões mais representativa da variação da precipitação ao longo da bacia, conforme pode ser observado nas figuras apresentadas na sequência.

4.3.1 Regionalização da vazão média de longa duração

Na Figura 8 está apresentada a variação do CE ao longo da hidrografia utilizando como variáveis explicativas a área de drenagem, a vazão equivalente ao volume precipitado e a vazão equivalente ao volume precipitado menos o fator de abstração de 750 mm e o mapa de precipitação.

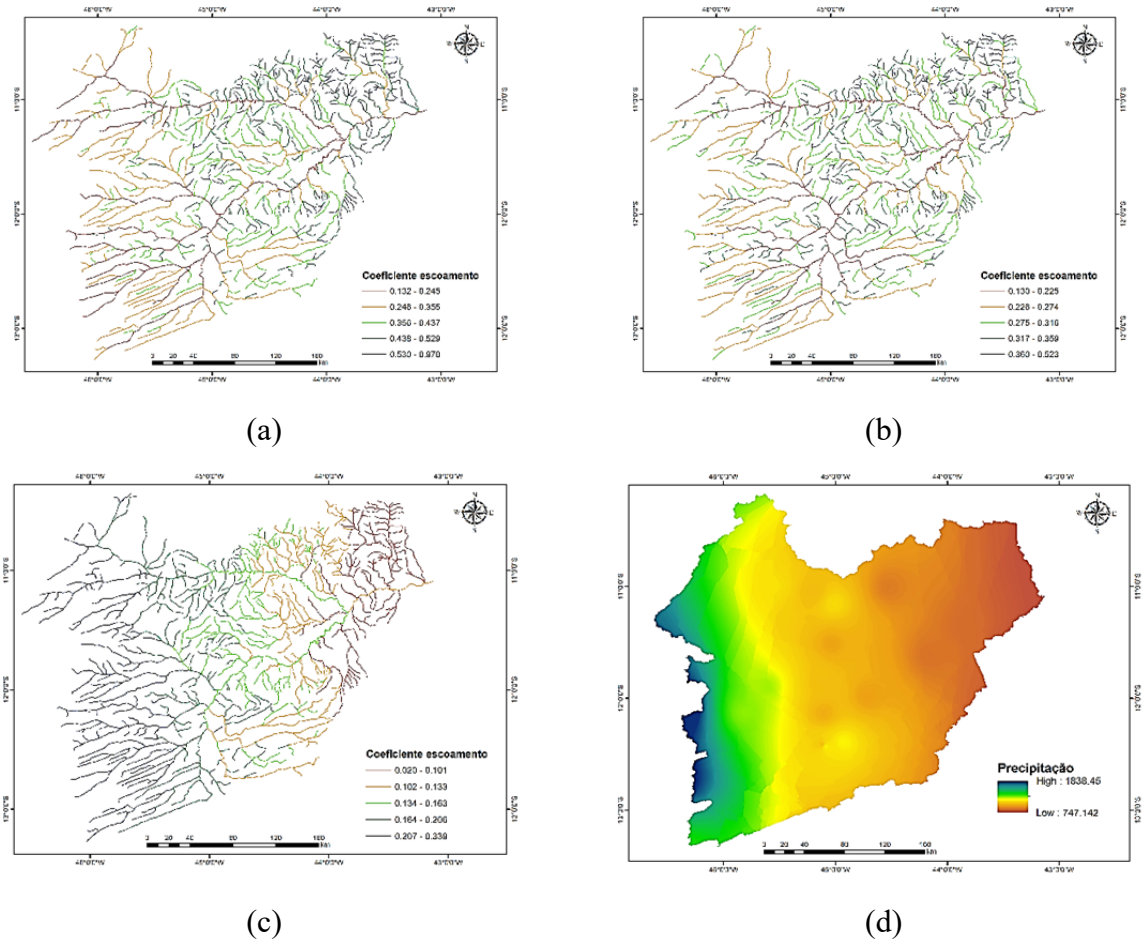


Figura 8 – Representação da variação do CE ao longo da hidrografia utilizando como variáveis explicativas a área de drenagem (a), a vazão equivalente ao volume precipitado (b) e a vazão equivalente ao volume precipitado menos o fator de abstração (c) e do mapa de precipitação (d).

De acordo com os resultados da análise de desempenho estatístico e físico, a equação que possibilitou o melhor ajuste foi:

$$Q_{mld} = 0{,}6759 \ Peq_{750}^{0{,}9288} \qquad (9)$$

Nas regiões onde o CE superou o máximo coeficiente observado nas estações fluviométricas foi realizado o ajuste descrito na metodologia, diminuindo a Q_{mld} nesses locais, conforme equação:

$$Q_{mld} = 0{,}2317 \ Peq \qquad (10)$$

Na Figura 9 é mostrado o mapa de imposição, com os trechos da hidrografia onde ela foi necessária destacados em vermelho. A Q_{mld} foi ajustada em todos esses trechos e foi obtido o mapa das vazões médias de longa duração específicas regionalizadas (Figura 10).

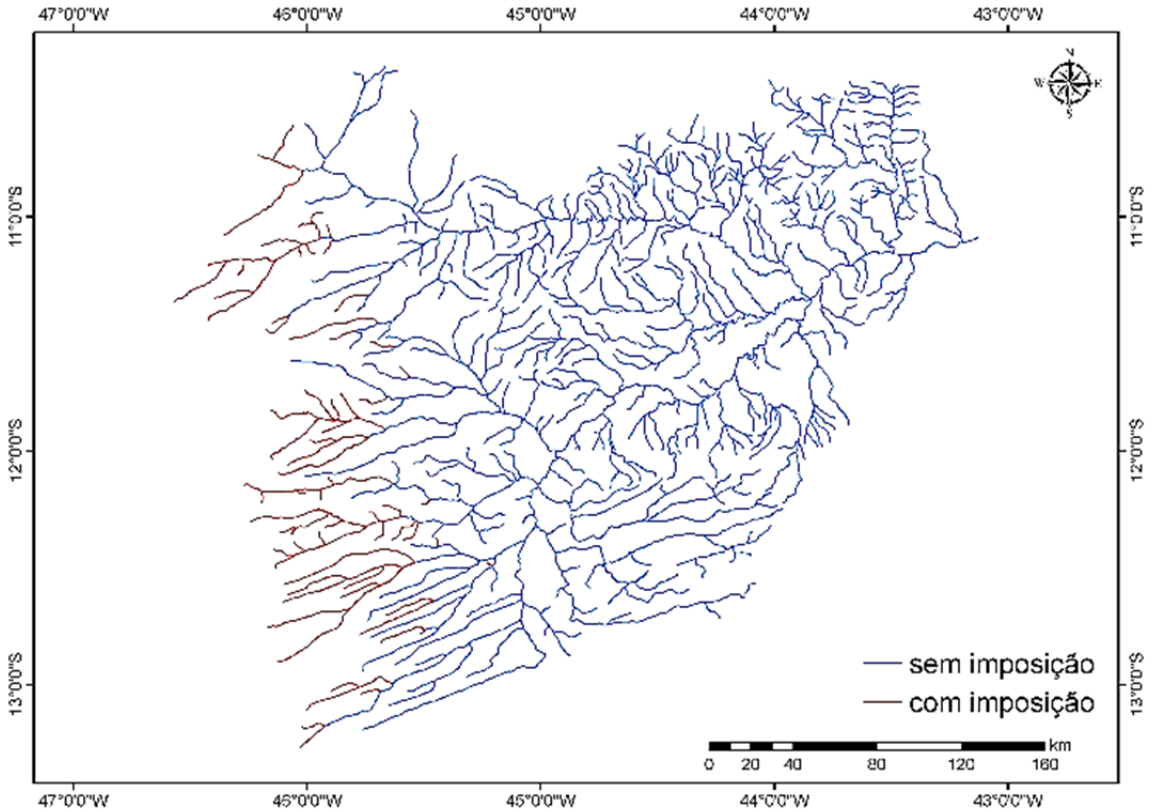


Figura 9 – Segmentos da bacia do rio Grande (destacados em vermelho) onde foi necessário o ajuste da Q_{mld} com base no coeficiente de escoamento utilizado como limite para a extrapolação da equação de regionalização.

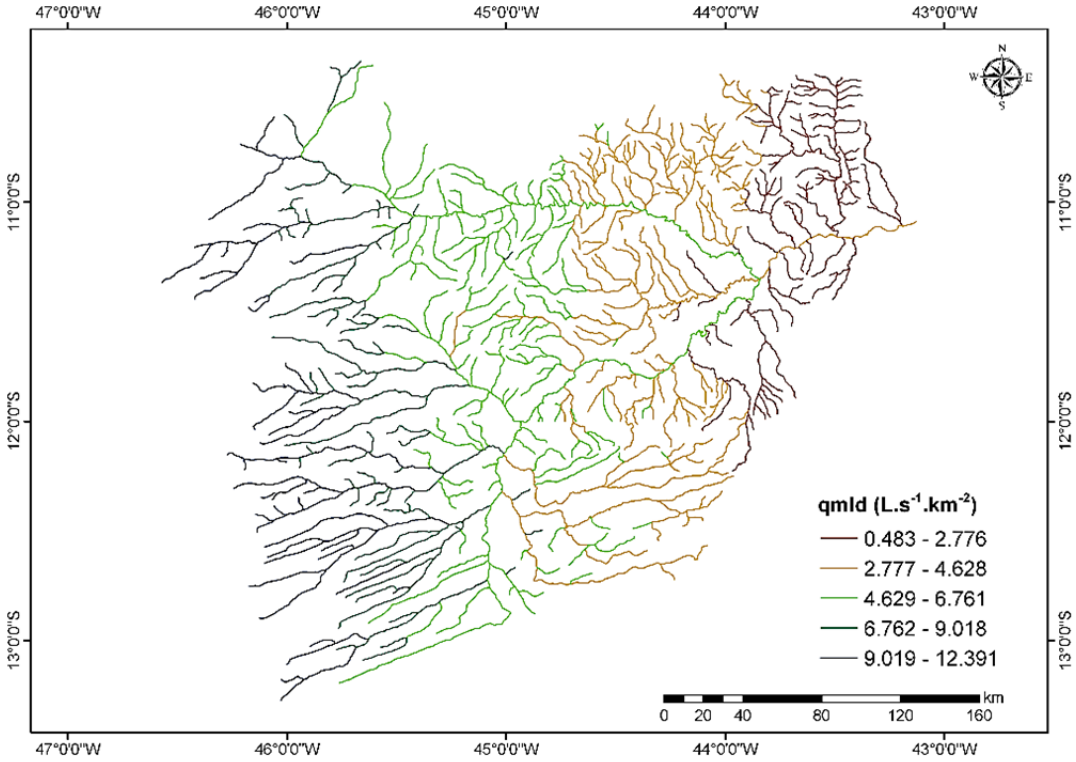


Figura 10 – Representação da variação da q_{mld} regionalizada ao longo da hidrografia.

4.3.2 Regionalização da vazão mínima com permanência de 90% no tempo

Na Figura 11 está apresentada variação da q_{90} ao longo da hidrografia utilizando como variáveis explicativas a área de drenagem, a vazão equivalente ao volume precipitado e a vazão equivalente ao volume precipitado menos o fator de abstração de 750 mm e o mapa de precipitação.

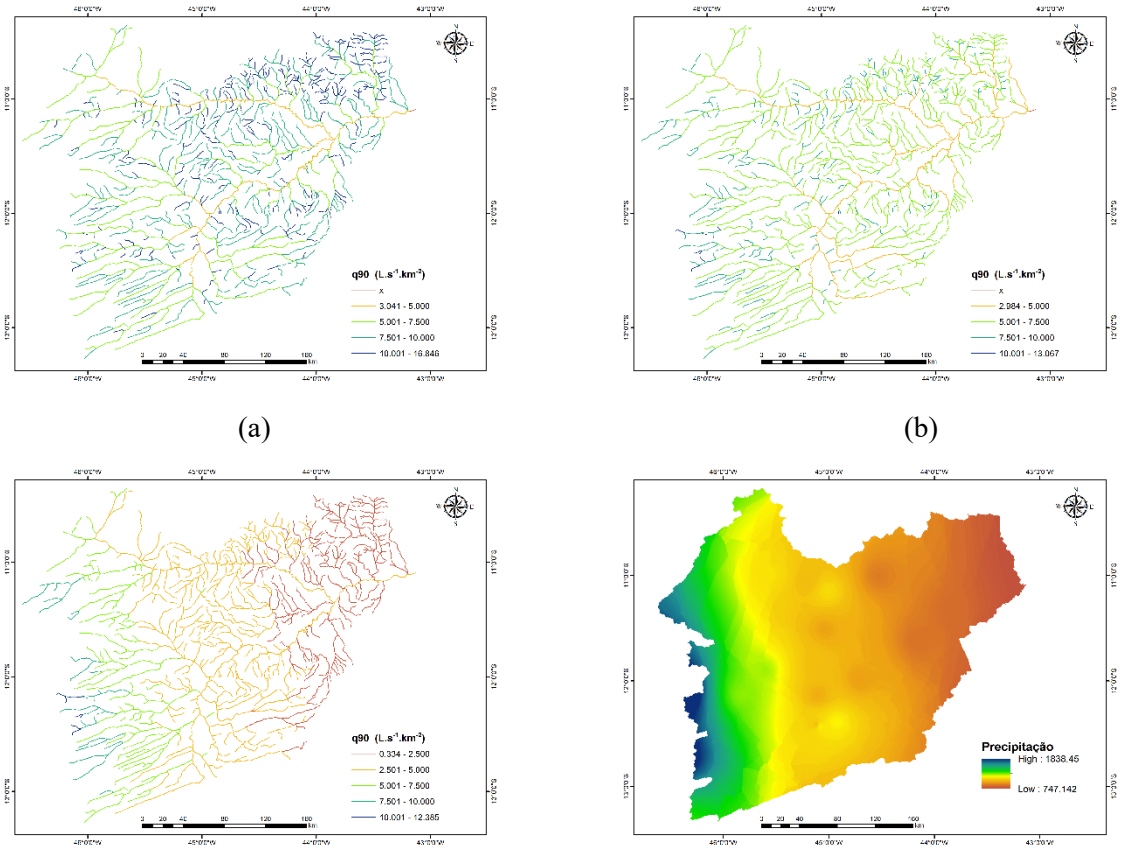


Figura 11 – Representação da variação da q_{90} ao longo da hidrografia utilizando como variáveis explicativas a área de drenagem (a), a vazão equivalente ao volume precipitado (b) vazão equivalente ao volume precipitado considerando a subtração do fator de abstração igual a 750 mm (c) e do mapa de precipitação (d).

De acordo com os resultados da análise de desempenho estatístico e físico, evidenciou-se que a equação que possibilitou o melhor ajuste foi:

$$Q_{90}=0{,}4674\ Peq_{750}^{\ 0{,}9284} \qquad (11)$$

Nas regiões onde a Q_{90} específica superou a máxima vazão específica observada nas estações fluviométricas foi realizado o ajuste descrito na metodologia, diminuindo a Q_{90} nesses locais, conforme equação:

$$Q_{90} = 0{,}0059\ A \qquad (12)$$

Na Figura 12 é mostrado o mapa de imposição, com os trechos da hidrografia onde ela foi necessária destacados em vermelho. A Q_{90} foi ajustada em todos esses trechos e foi obtido o mapa das vazões com permanência de 90% no tempo específicas regionalizadas (Figura 13).

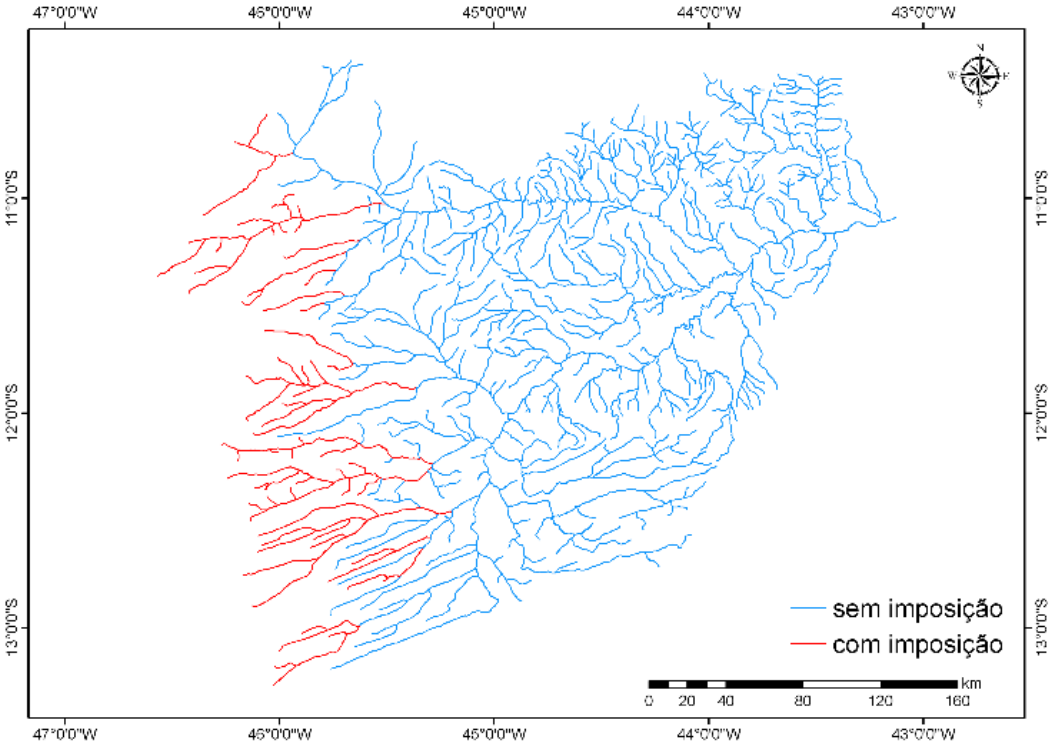


Figura 12 – Segmentos da bacia do rio Grande (destacados em vermelho) onde foi necessário o ajuste da Q_{90} com base na vazão específica utilizada como limite para a extrapolação da equação de regionalização.

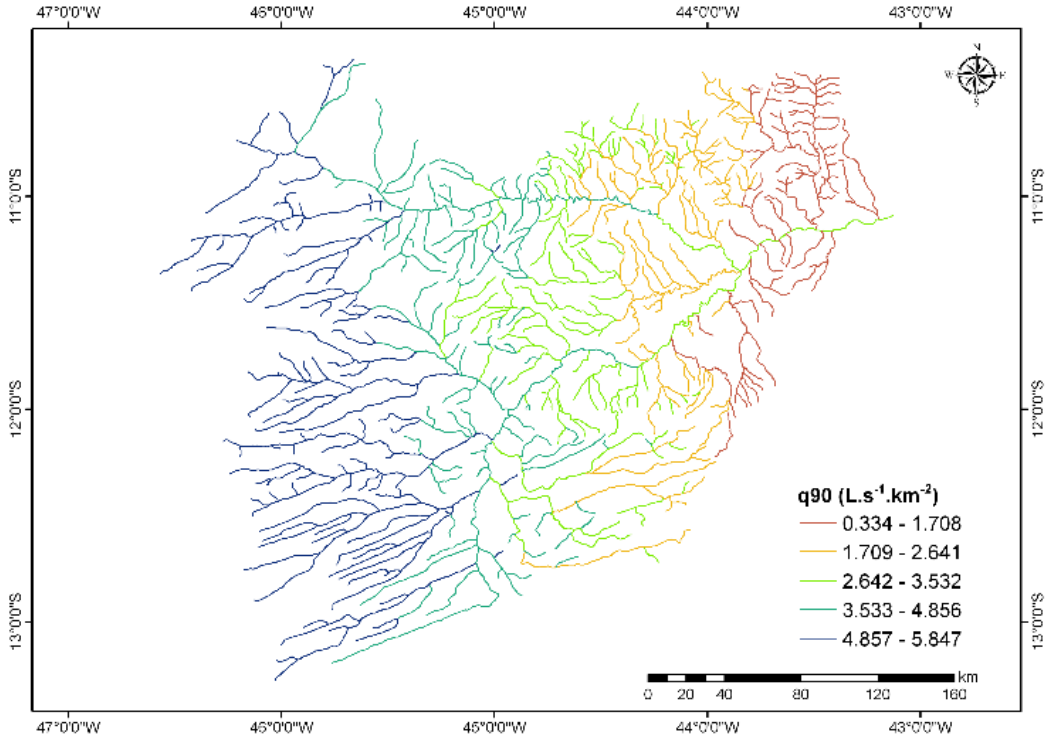


Figura 13 – Representação da variação da q_{90} regionalizada ao longo da hidrografia.

4.3.3 Regionalização da vazão mínima com permanência de 95% no tempo

Na Figura 14 está apresentada a variação da q_{95} ao longo da hidrografia utilizando como variáveis explicativas a área de drenagem, a vazão equivalente ao volume precipitado e a vazão equivalente ao volume precipitado menos o fator de abstração de 750 mm e o mapa de precipitação.

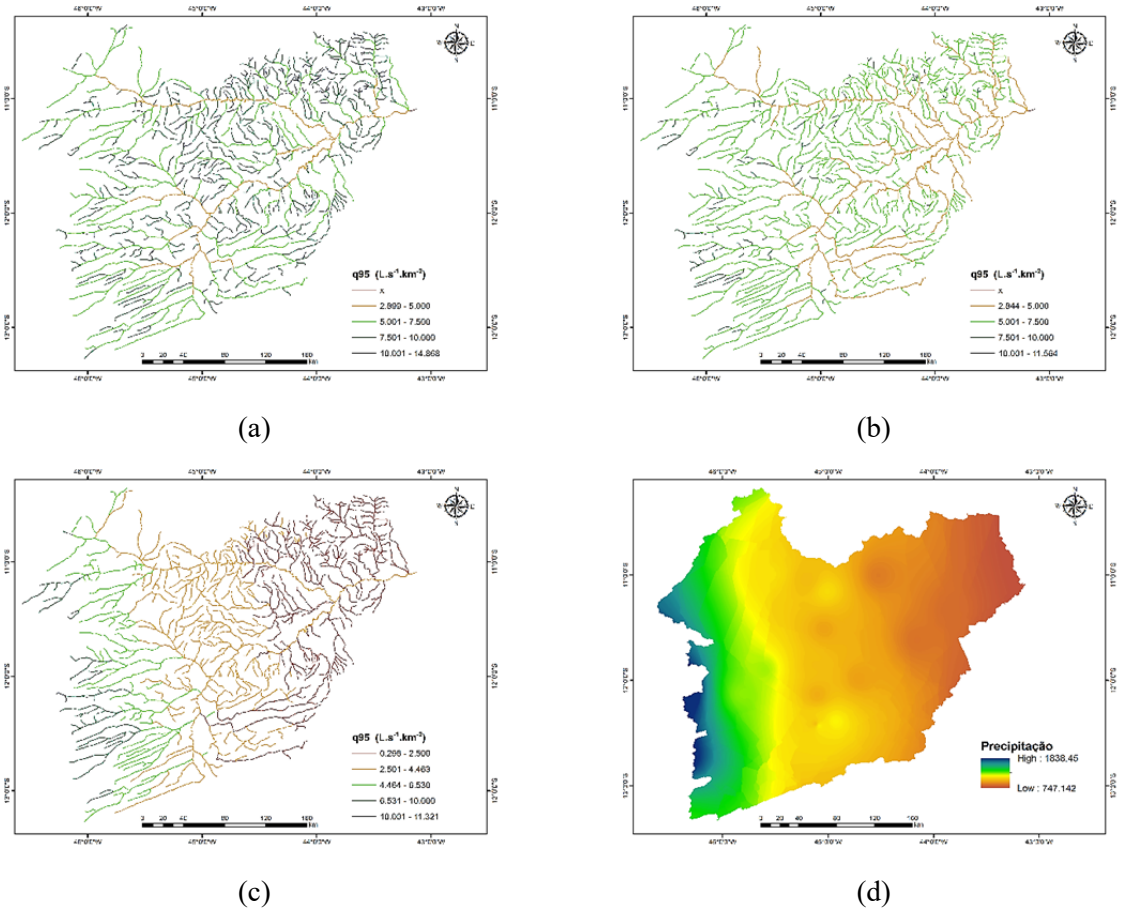


Figura 14 – Representação da variação da q_{95} ao longo da hidrografia utilizando como variáveis explicativas a área de drenagem (a), a vazão equivalente ao volume precipitado (b) vazão equivalente ao volume precipitado considerando a subtração do fator de abstração igual a 750 mm (c) e do mapa de precipitação (d).

De acordo com os resultados da análise de desempenho estatístico e físico, evidenciou-se que a equação que possibilitou o melhor ajuste estatístico foi:

$$Q_{95} = 0{,}4217\ Peq_{750}^{\ 0{,}9365} \qquad (13)$$

Nos trechos onde a Q_{90} específica superou a máxima vazão específica observada nas estações fluviométricas foi realizado o ajuste descrito na metodologia, diminuindo a Q_{90} nesses locais, conforme equação:

$$Q_{95} = 0{,}0053\ A \qquad (14)$$

Na Figura 15 é mostrado o mapa de imposição, com os trechos da hidrografia onde ela foi necessária destacados em vermelho. A Q_{95} foi ajustada em todos esses trechos e foi obtido o mapa das vazões com permanência de 95% no tempo específicas regionalizadas (Figura 16).

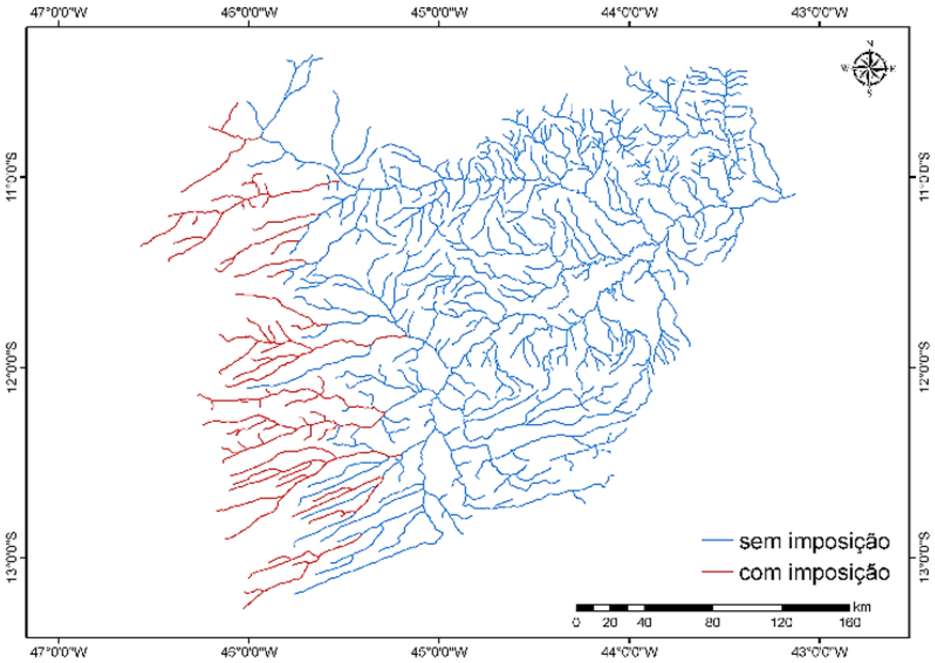


Figura 15 – Segmentos da bacia do rio Grande (destacados em vermelho) onde foi necessário o ajuste da Q_{95} com base na vazão específica utilizada como limite para a extrapolação da equação de regionalização.

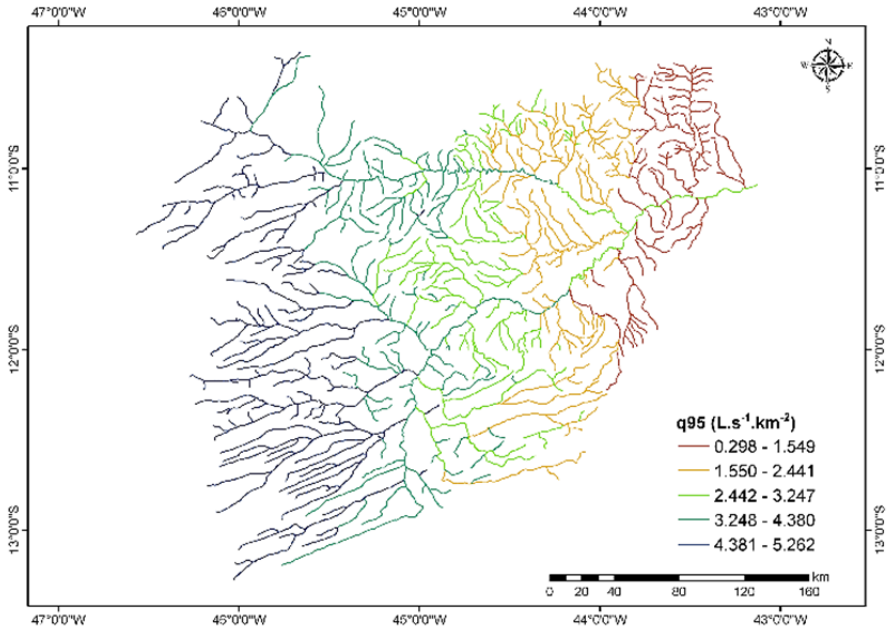


Figura 16 – Representação da variação da q_{95} regionalizada ao longo da hidrografia.

4.4 Consolidação do estudo de regionalização de vazões

A campanha de medição de vazões foi realizada no período de 22 de fevereiro a 02 de março de 2018, quando foram visitadas diversas seções da hidrografia na bacia do rio Grande. Foram realizadas medições em 11 seções, as quais estão ilustradas na Figura 17. As vazões foram obtidas por meio da relação entre a área, obtida por batimetria, e a velocidade do fluxo, obtida usando o flutuador e o *FlowTracker*®.

A partir da análise realizada para a obtenção da Q_{90_cor}, constatou-se que esta é cerca de 30% maior que a Q_{90}. De posse dos valores de vazão medida e da Q_{90_cor}, foi feita a comparação e, para as seções onde a relação foi superior a 2,0 fez-se uma observação, a qual está apresentada, juntamente com os valores de vazão medidos nas seções visitadas, na legenda das imagens que podem ser visualizadas na consulta às seções visitadas em "gerenciamento de *shapefiles*", disponível no software SIHBA – Sistema de informações Hidrológicas para o Oeste da Bahia.

Também está representada na Figura 17 a seção 12, correspondente a uma seção do rio Ponta d'água (popularmente chamado de rio do Cachorro), onde foi observado um trecho sem vazão superficial, em que, de acordo com relatos dos moradores locais, o rio desaparece por uma extensão de aproximadamente 10 km (Figura 18) e depois volta a escoar. De acordo com Schuster (2002), tal comportamento é característico de região em que se tem rios com presença de falhas geológicas, sendo que, nas posições onde essas falhas são evidenciadas, a vazão no rio diminui chegando a desaparecer, surgindo novamente mais a jusante, indicando que o mesmo possui um curso subterrâneo.

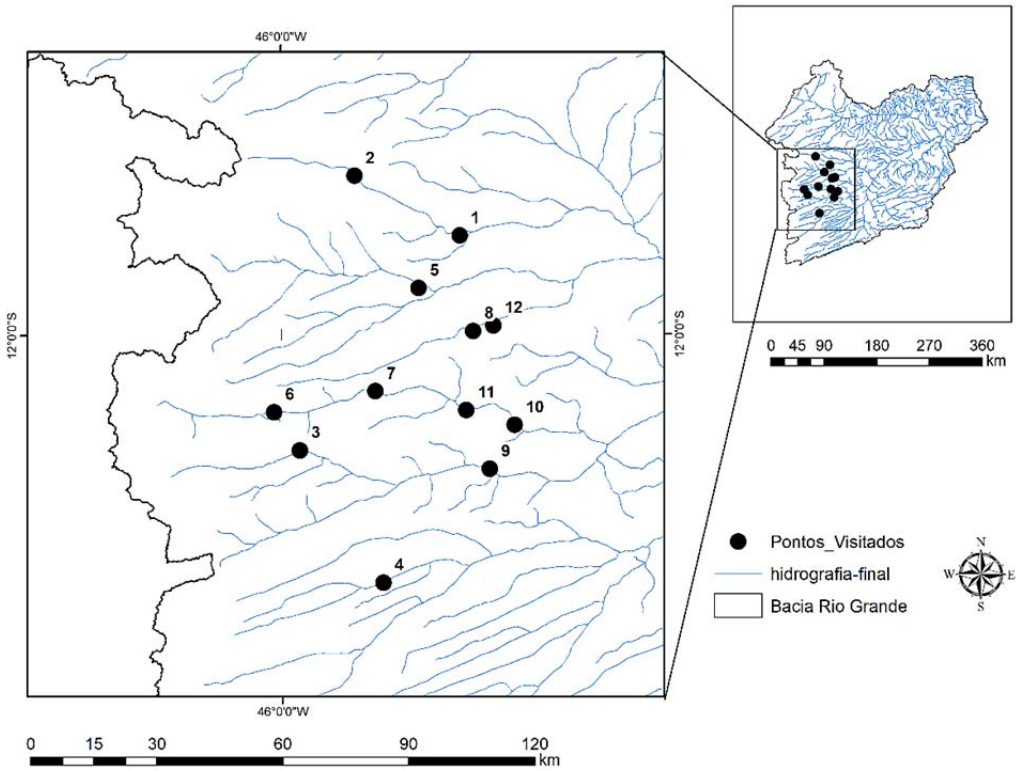


Figura 17 – Localização das seções visitadas para medição de vazão.

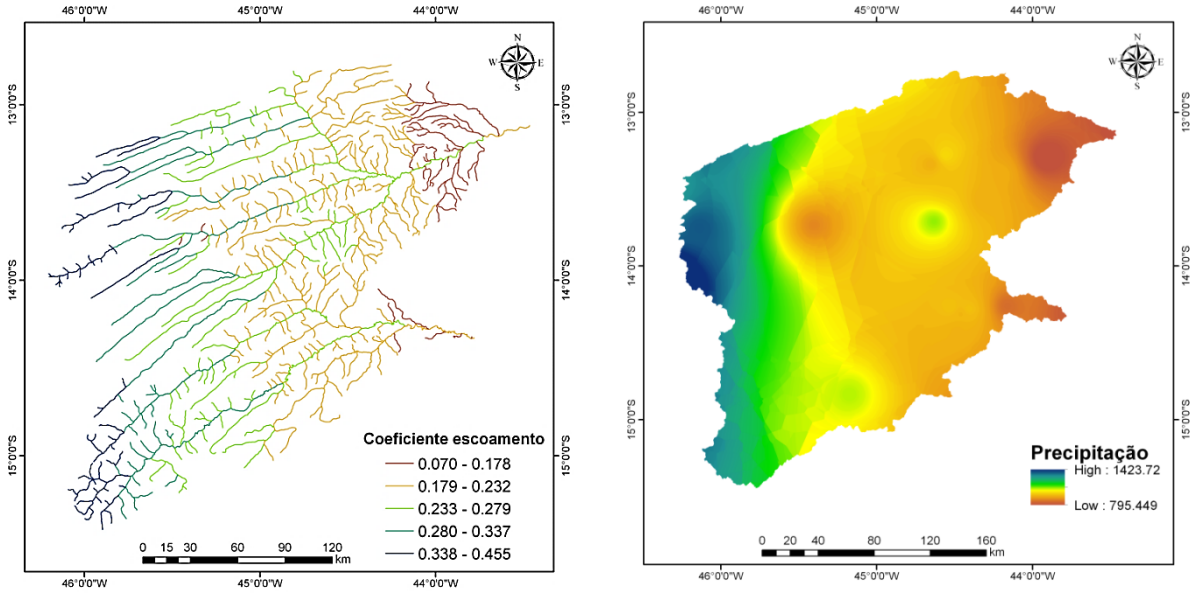
Figura 18 – Imagens da seção 12 (Rio Ponta d'água, nas coordenadas -45,54 e -11,98).

4.5 Obtenção dos modelos de regionalização para a bacia dos rios Corrente e Carinhanha

Uma vez que todas as análises realizadas para a bacia do Grande apresentaram melhores resultados quando da utilização da Peq_{750} como variável explicativa, a regionalização de vazões para as bacias dos rios Corrente e Carinhanha foi realizada considerando essa variável.

4.5.1 Regionalização da vazão média de longa duração

A Figura 19 representa o mapa de distribuição espacial do CE obtido com a utilização da Peq_{750}, no qual pode ser observado que o comportamento da vazão reflete a variação da precipitação ao longo da bacia.



(a) (b)

Figura 19 – Representação da variação do CE ao longo da hidrografia utilizando como variável explicativa a vazão equivalente ao volume precipitado considerando a subtração do fator de abstração igual a 750 mm (a) e do mapa de precipitação

(b).

A equação de regionalização obtida para a Q_{mld} foi:

$$Q_{mld}=0{,}9460\ Peq_{750}^{\ 0{,}9796} \qquad (15)$$

Nos trechos onde o CE superou o máximo coeficiente observado nas estações fluviométricas foi realizado o ajuste descrito na metodologia, diminuindo a Q_{mld} nesses locais, conforme equação:

$$Q_{mld}=0{,}32926\ Peq \qquad (16)$$

Na Figura 20 é mostrado o mapa de imposição, com os trechos da hidrografia onde ela foi necessária destacados em vermelho. A Q_{mld} foi ajustada em todos esses trechos e foi obtido o mapa das vazões médias de longa duração específicas regionalizadas (Figura 21).

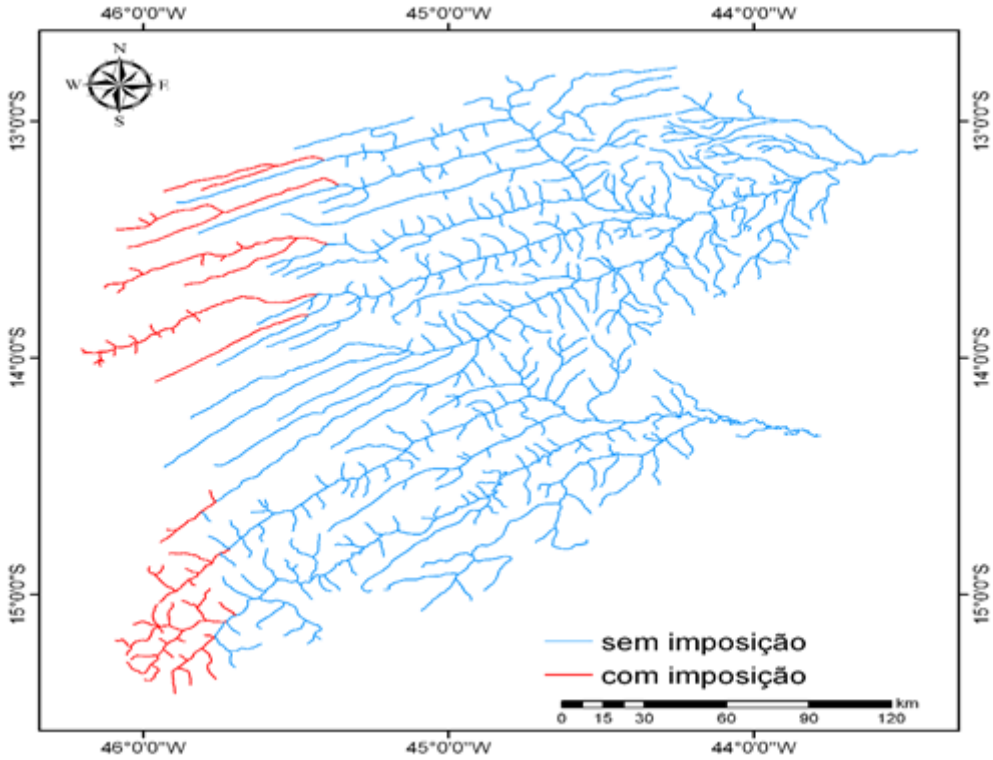


Figura 20 – Segmentos das bacias dos rios Corrente e Carinhanha (destacados em verme necessário o ajuste da Q_{mld} com base no coeficiente de escoamento utilizado comc extrapolação da equação de regionalização.

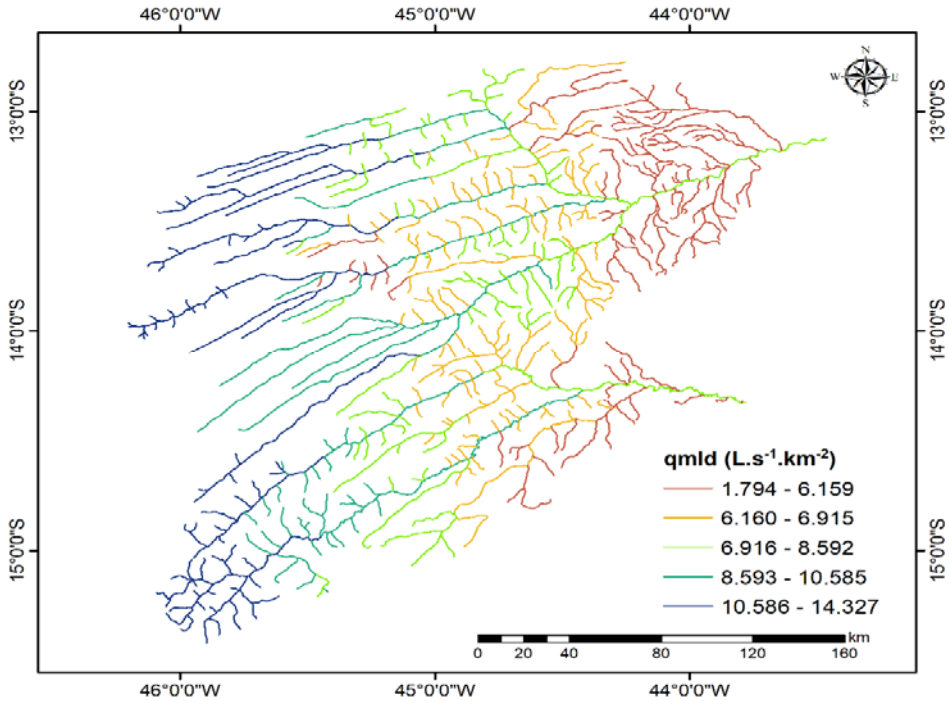
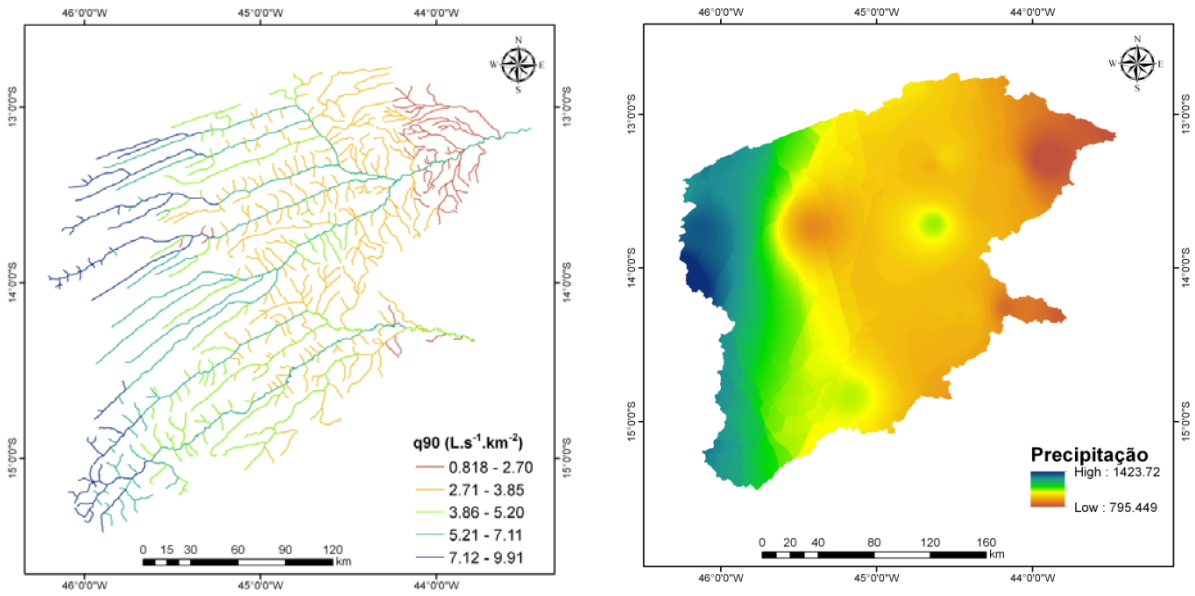


Figura 21 – Representação da variação da q_{mld} regionalizada ao longo da hidrografia.

4.5.2 Regionalização da vazão mínima com permanência de 90% no tempo

A Figura 22 representa o mapa de distribuição espacial da q_{90} obtido com a utilização da Peq_{750}, no qual pode ser observado que o comportamento da vazão reflete a variação da precipitação ao longo da bacia.



(a) (b)

Figura 22 – Representação da variação da q_{90} ao longo da hidrografia utilizando como variável explicativa a vazão equivalente ao volume precipitado considerando a subtração do fator de abstração igual a 750 mm (a) e do mapa de precipitação (b).

A equação de regionalização obtida para a Q_{90} foi:

$$Q_{90} = 0{,}5060\ Peq_{750}^{\ 1{,}0293} \qquad (17)$$

Nos trechos onde a Q_{90} específica superou a máxima vazão específica observada nas estações fluviométricas foi realizado o ajuste descrito na metodologia, diminuindo a Q_{90} nesses locais, conforme equação:

$$Q_{90} = 0{,}00805\ A \qquad (18)$$

Na Figura 23 é mostrado o mapa de imposição, com os trechos da hidrografia onde ela foi necessária destacados em vermelho. A Q_{90} foi ajustada em todos esses trechos e foi obtido o mapa das vazões com permanência de 90% no tempo específicas regionalizadas (Figura 24).

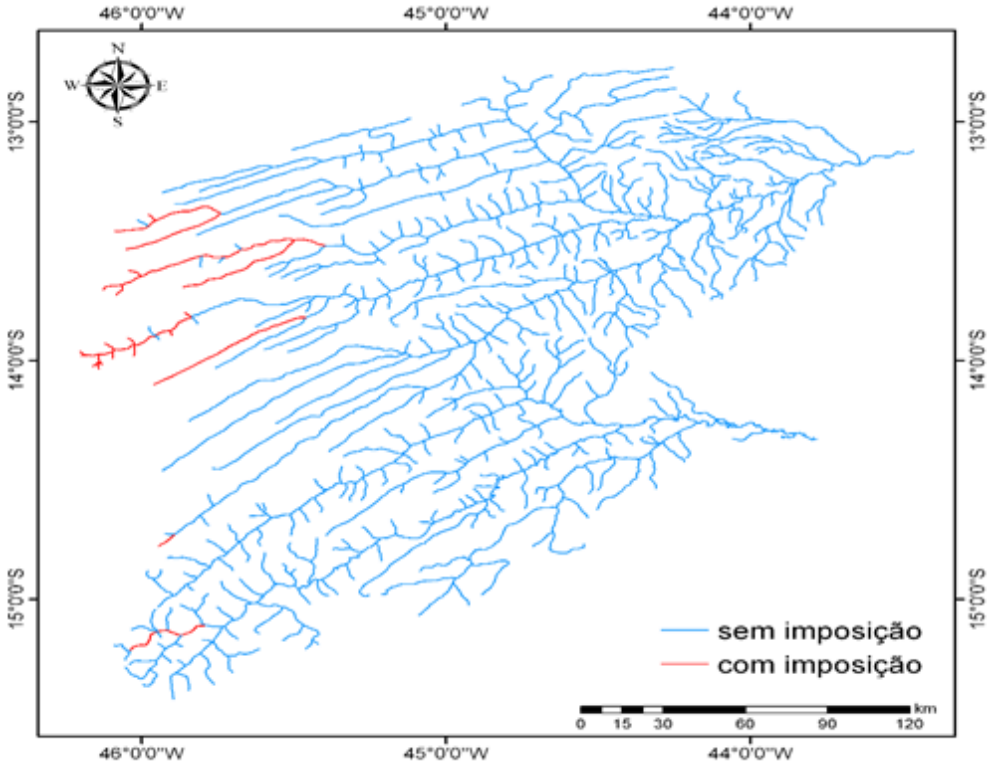


Figura 23 – Segmentos das bacias dos rios Corrente e Carinhanha (destacados em vermelho) onde foi necessário o ajuste da Q_{90} com base no coeficiente de escoamento utilizado como limite para a extrapolação da equação de regionalização.

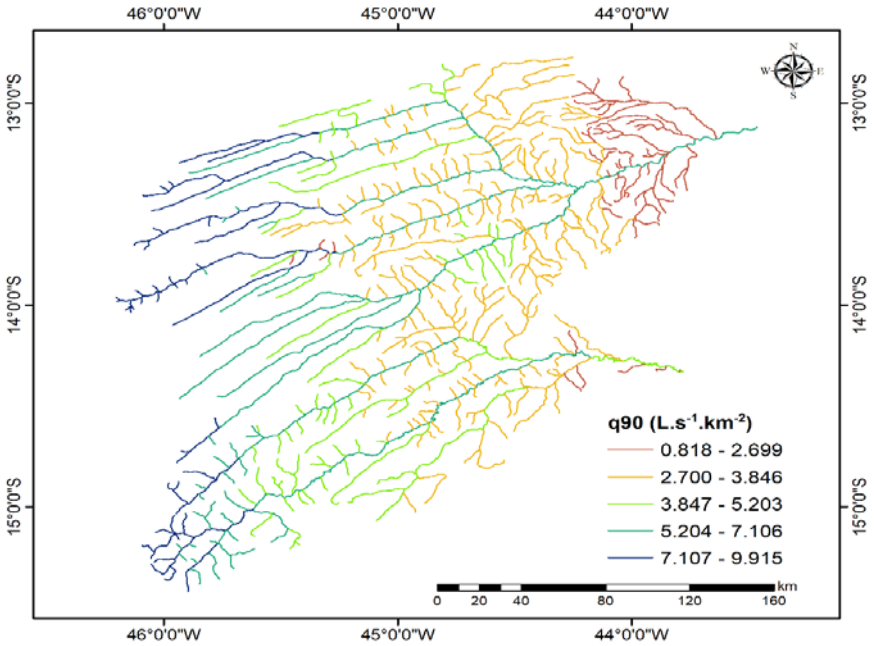
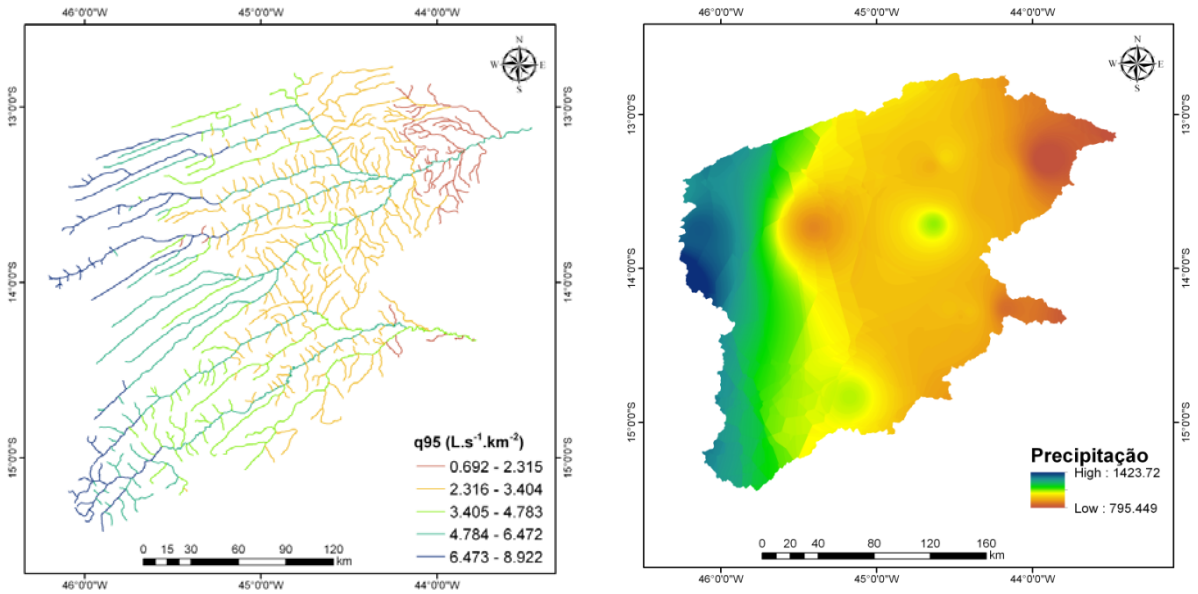


Figura 24 – Representação da variação da q_{90} regionalizada ao longo da hidrografia.

4.5.3 Regionalização da vazão mínima com permanência de 95% no tempo

A Figura 25 representa o mapa de distribuição espacial da q_{95} obtido com a utilização da Peq_{750}, no qual pode ser observado que o comportamento da vazão reflete a variação da precipitação ao longo da bacia.



(a) (b)

Figura 25 – Representação da variação da q_{95} ao longo da hidrografia utilizando como variável explicativa a vazão equivalente ao volume precipitado considerando a subtração do fator de abstração igual a 750 mm (Peq_{750}) (a) e do mapa de precipitação (b).

A equação de regionalização obtida para a Q_{95} foi:

$$Q_{95} = 0{,}4481\ Peq_{750}^{\ 1{,}0435} \qquad (19)$$

Nos trechos onde a Q_{95} específica superou a máxima vazão específica observada nas estações fluviométricas foi realizado o ajuste descrito na metodologia, diminuindo a Q_{95} nesses locais, conforme equação:

$$Q_{95} = 0{,}00766\ A \qquad (20)$$

Na Figura 26 é mostrado o mapa de imposição, com os trechos da hidrografia onde ela foi necessária destacados em vermelho. A Q_{95} foi ajustada em todos esses trechos e foi obtido o mapa das vazões com permanência de 95% no tempo específicas regionalizadas (Figura 27).

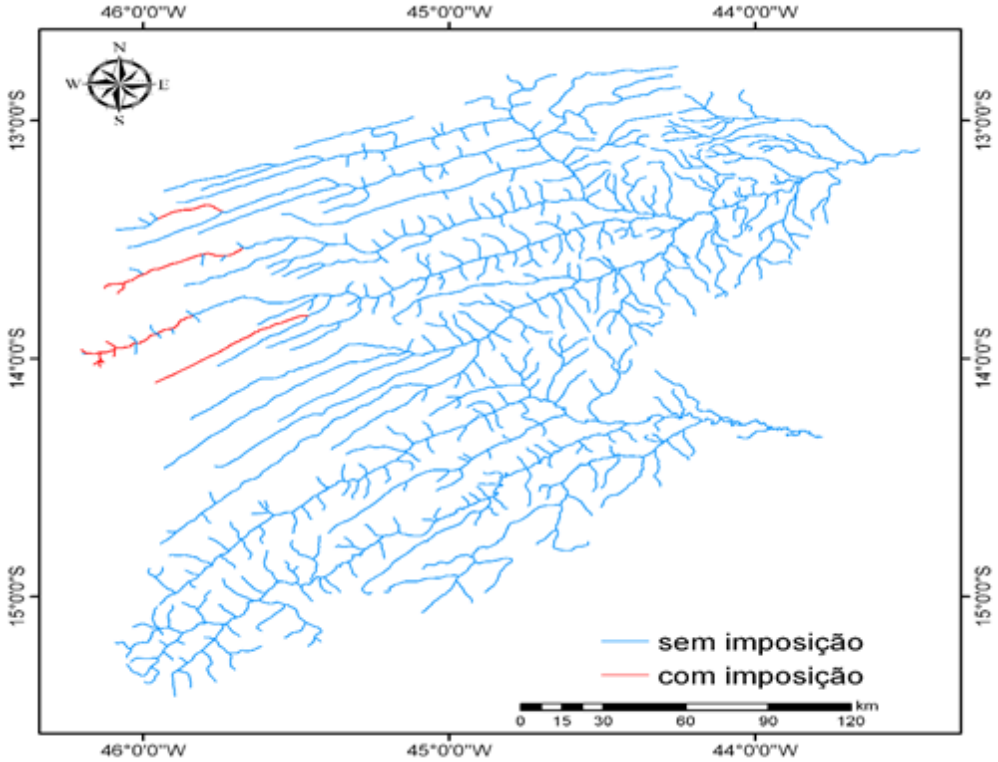


Figura 26 – Segmentos das bacias dos rios Corrente e Carinhanha (destacados em vermelho) onde foi necessário o ajuste da Q_{95} com base no coeficiente de escoamento utilizado como limite para a extrapolação da equação de regionalização.

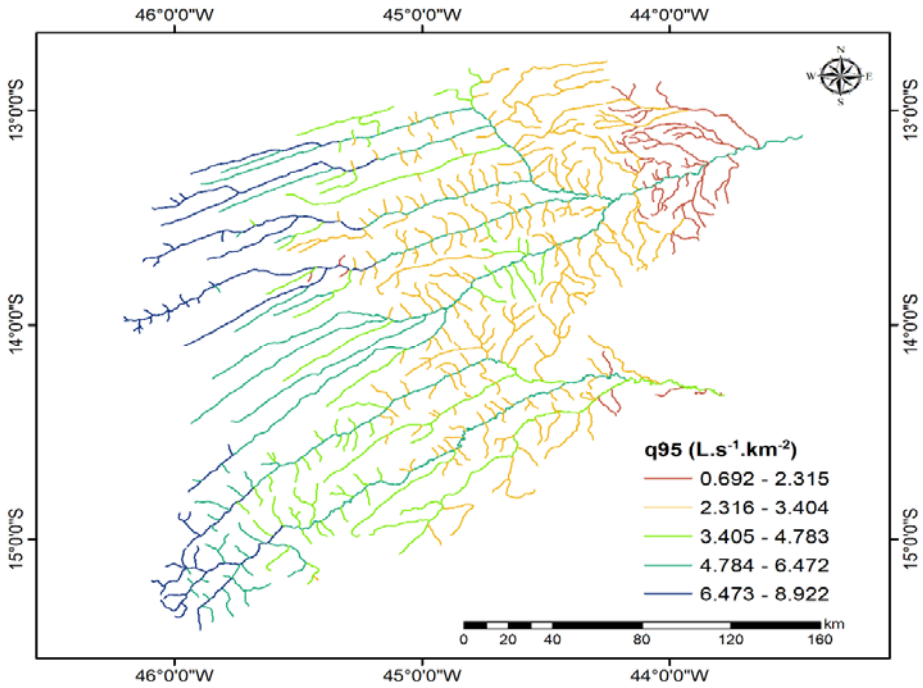


Figura 27 – Representação da variação da q_{95} regionalizada ao longo da hidrografia

4.6 O software

O estudo de regionalização de vazões tem como resultado principal a hidrografia com as vazões associadas a cada trecho. Para automatizar o acesso a esta informação foi desenvolvido o SIHBA-Oeste. O sistema permite a extração instantânea de diversas informações pertinentes à hidrografia das bacias hidrográficas dos rios Grande, Corrente e Carinhanha, como localização geográfica, ottocódigo, nome do rio, área de drenagem e vazões estimadas pelo estudo de regionalização (Q_{90}, Q_{95} e Q_{mld}). Na Figura 28 é apresentada a tela de abertura do software.

Figura 28 - Tela de abertura do SIHBA-Oeste.

O ambiente de trabalho do usuário SIHBA-Oeste é composto por uma tela principal que apresenta a hidrografia da bacia de interesse e um painel lateral que agrupa as ferramentas de busca e a caixa de exibição dos resultados.

A tela de visualização da hidrografia é dotada de uma barra de ferramentas na sua parte superior, que permite ao usuário:

a) Selecionar a bacia de interesse entre as três opções: Grande, Corrente ou Carinhanha;

b) Abrir o diálogo para gerenciamento da exibição de camadas do mapa;

c) Cancelar seleção da hidrografia;

d) Realizar seleção por área com o mouse;

e) Retornar o mapa para a escala de visualização original;

f) Realizar as operações de zoon in e zoon out; e,

g) Movimentar a visualização do mapa.

Quando o SIHBA-Oeste é inicializado, por padrão, a hidrografia da bacia do rio Grande é exibida. O usuário pode realizar a mudança para a bacia do rio Corrente ou do Carinhanha, bem como também é possível exibir as três bacias ao mesmo tempo.

A seção de interesse pode ser selecionada utilizando o clique do mouse ou por meio da entrada de informações no painel de busca, via teclado. Com o mouse a seleção pode ser feita de duas formas: clique com o botão esquerdo do mouse em cima da seção de interesse ou seleção de todos os segmentos contidos em uma área retangular desenhada com o mouse. Para consulta pelo painel de busca, o usuário deve digitar o ottocódigo parcial ou completo da sub-bacia (Figura 29), ou digitar o nome do rio (Figura 30) ou informar as coordenadas geográficas de um ponto (Figura 31). A busca utilizando o ottocódigo completo retorna um único segmento do rio enquanto que quando informado de forma parcial retorna automaticamente os segmentos da hidrografia a montante de um segmento. A busca pelo nome retorna todos os segmentos de um determinado rio. Por fim, o software também permite a entrada das coordenadas geográficas de um ponto através da longitude e latitude.

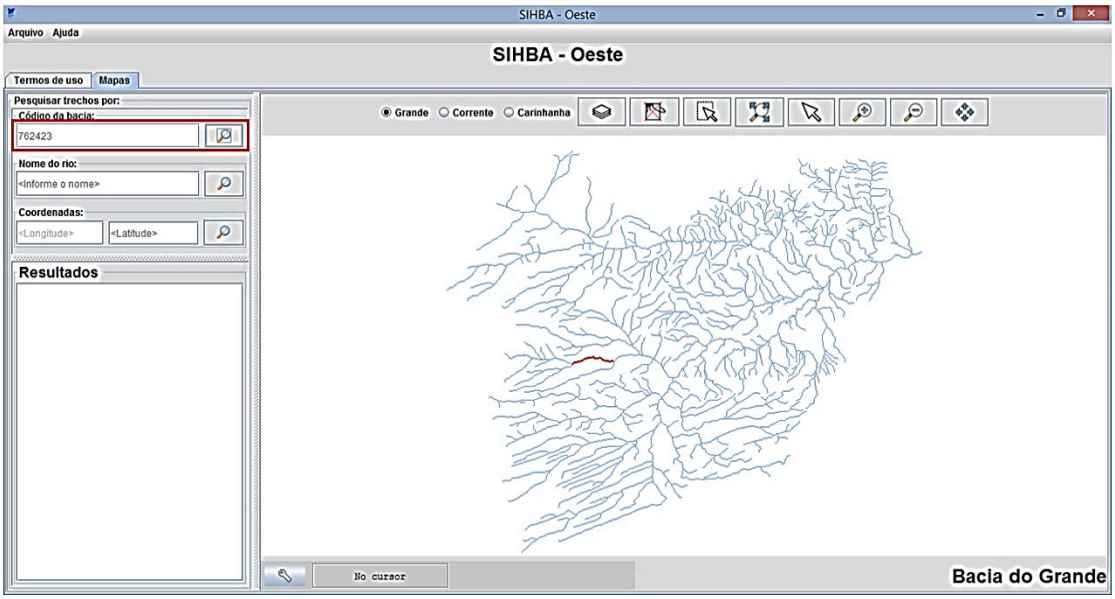


Figura 29 – Pesquisa utilizando o ottocódigo da sub-bacia.

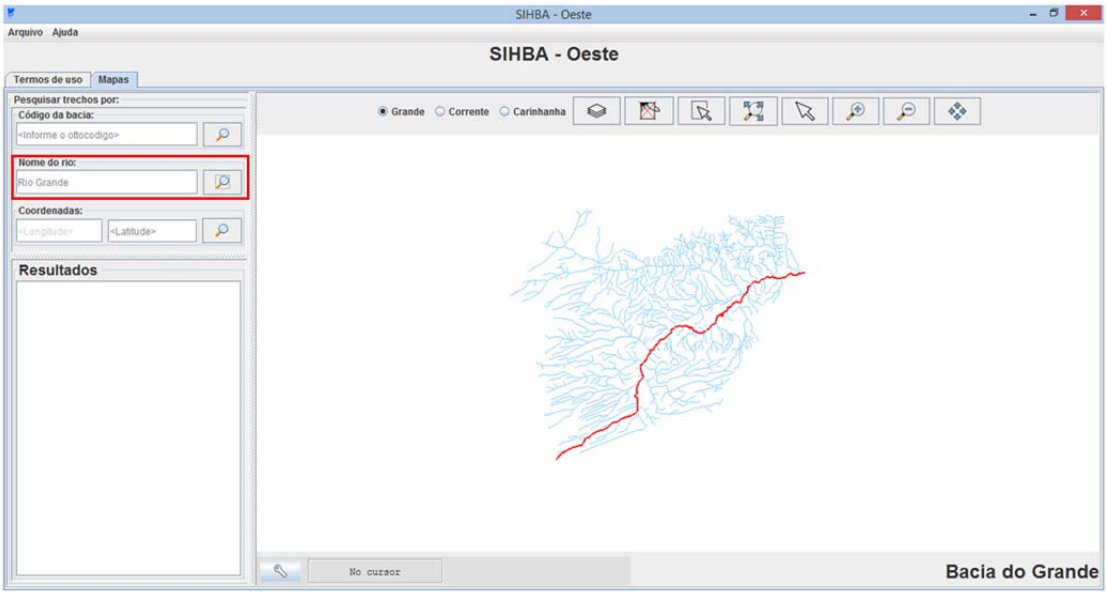


Figura 30 – Pesquisa utilizando nome do rio.

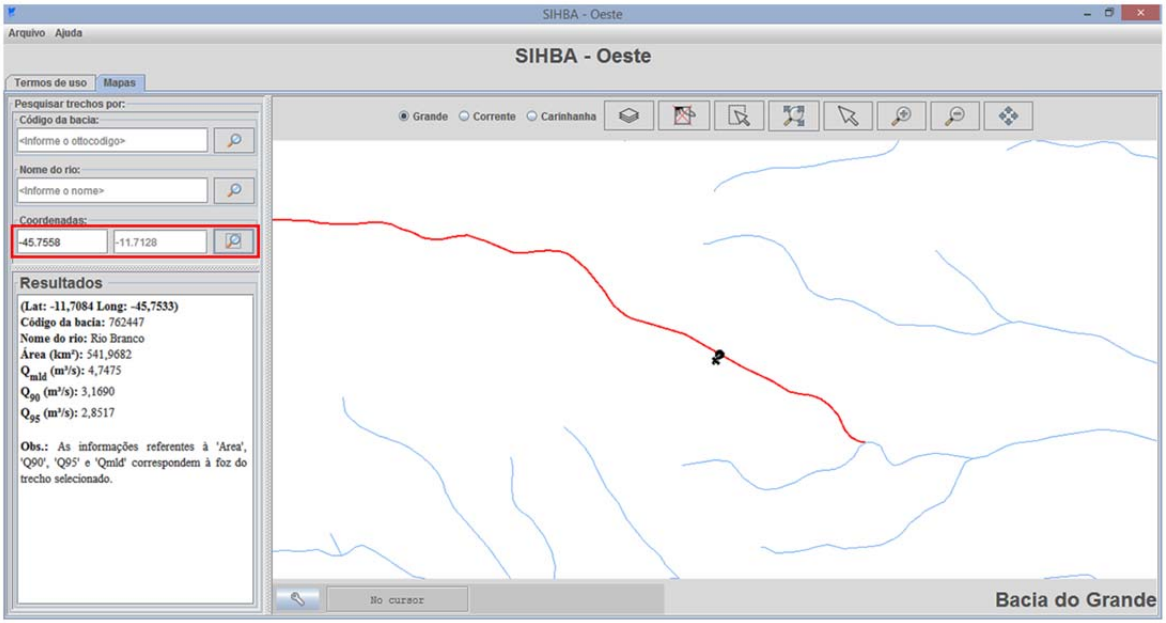


Figura 31 – Pesquisa utilizando coordenadas geográficas.

Após a seleção do trecho de interesse na hidrografia ou da inserção dos dados no campo de busca, o sistema apresenta as informações no campo “Resultados”.

Na Figura 32 é apresentado um exemplo da aquisição de informações hidrológicas para a foz do rio Grande. Nesse exemplo, a busca foi feita pelo clique no trecho de interesse com o uso da ferramenta seleção. O trecho selecionado aparece destacado em vermelho na hidrografia e, no campo resultados, o usuário do SIHBA-Oeste tem acesso ao ottocódigo, ao nome do rio, à área de drenagem e às vazões estimadas pelo estudo de regionalização.

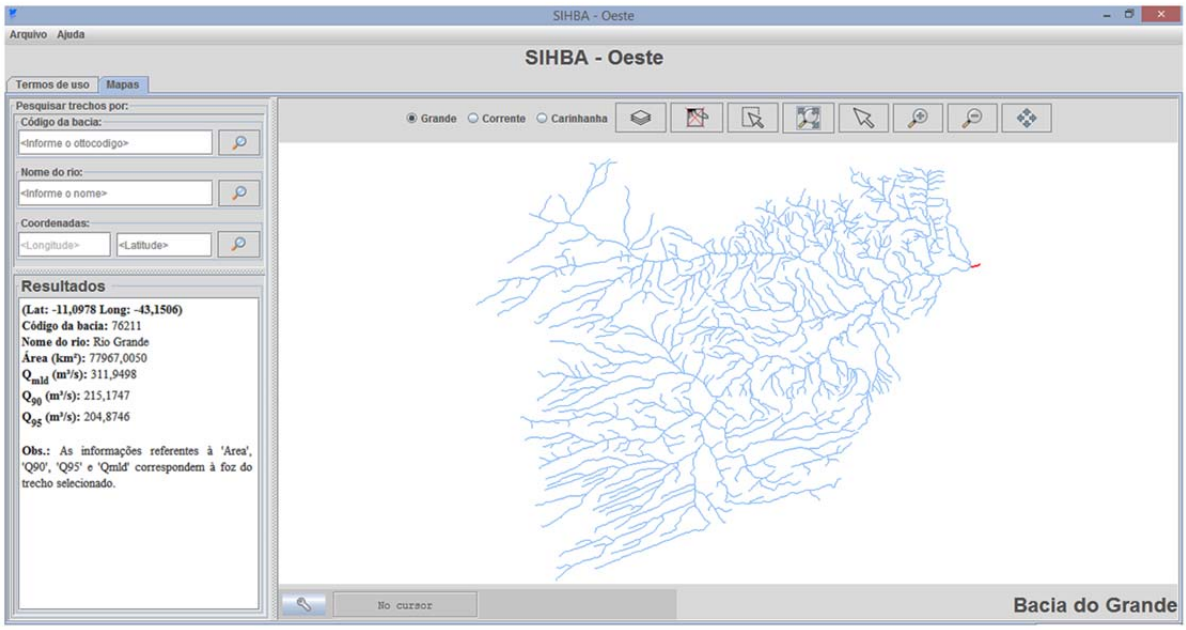


Figura 32 - Exemplo das informações disponibilizadas pelo software para a foz do rio Grande.

Com a finalidade de auxiliar os usuários do sistema SIHBA-Oeste foi implementado e incluso no software um manual de ajuda, que pode ser acessado por meio do menu "Ajuda" e submenu "Sobre". O manual de ajuda ao usuário é composto por um manual de utilização, que explica como usar o programa, e por um arquivo PDF contendo o relatório do Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia, que corresponde ao relatório técnico do estudo de regionalização de vazões (Figura 33).

Figura 33 - Abas correspondentes ao material técnico e ao material de ajuda no SIHBA-Oeste.

As camadas referentes aos mapas visualizados no software podem ser gerenciadas no diálogo acessado por meio do botão "Gerenciamento de mapas", localizado na barra de ferramentas superior. O diálogo de gerenciamento de camadas permite exibir na tela as

hidrografias das bacias do Carinhanha, Corrente e Grande, os pontos referentes às estações não utilizadas e utilizadas no estudo e os pontos visitados na campanha de medição de vazões realizada em fevereiro de 2018, conforme ilustrado na Figura 34.

Figura 34 – Diálogo para gerenciamento de camadas.

O SIHBA-Oeste permite o acesso às informações hidrológicas de forma fácil e amigável, sem a necessidade de conhecimentos técnicos para manipulação de bases de dados. A partir do uso do SIHBA-Oeste, o usuário tem o conhecimento das vazões obtidas por um estudo criterioso relacionado à identificação das variáveis que mais se adequam a representação das vazões de interesse e a procedimentos que visam minimizar os riscos associados à extrapolação das equações de regionalização.

Dessa forma, o SIHBA-Oeste permite a sistematização do processo de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, uma vez que constitui conhecimento indispensável para um adequado plano de governança desses recursos, sendo, portanto, uma ferramenta importante no apoio à tomada de decisões político-administrativas.

5 Conclusão

A hidrologia, bem como outras ciências ligadas ao ambiente, é cercada de uma diversidade de fatores condicionadores dos processos envolvidos e baseada na premissa de que os eventos previstos seguem a mesma sequência de ocorrência dos eventos observados no passado. Assim, embora toda preocupação no sentido de garantir uma maior segurança nas predições de vazões, como o uso de um processo baseado na avaliação física do comportamento das vazões e a utilização de uma ferramenta para imposição de limites físicos associados às regiões de extrapolação das equações de regressão, a incerteza associada à estimativa das vazões ainda é alta. Portanto, a utilização das informações depende do conhecimento dos princípios associados à hidrologia e ao planejamento e gestão de recursos hídricos.

6 Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL) Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos 2013/ Agência Nacional de Águas – ANA, Brasília: 2013.

BAHIA, Instrução normativa nº 01, de 27 de fevereiro de 2007. Dispõe sobre a emissão de outorga de direito de uso dos recursos hídricos de domínio do Estado da Bahia, assim como a sua renovação, ampliação, alteração, transferência, revisão, suspensão e extinção, e dá outras providências. Superintendência de Recursos Hidricos do Estado Da Bahia – SRH.2007.

BAHIA. Secretaria do Desenvolvimento Rural. Assessoria de Planejamento e Gestão. Bacia do Rio Corrente – Perfil Sintético. Bahia, 2015.

Borges, Kelly Maria Resende. Avaliação da susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha (MG/ BA) por meio da EUPS - Equação Universal de Perda de Solos. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geografia, UnB. 2009.

DINIZ, R.B.N., SOARES, V.G., CABRAL, L. DOS A.F., 2012. Uso de Técnicas de Mineração de Dados na Identificação de Áreas Hidrologicamente Homogêneas no Estado da Paraíba. Rev. Bras. Recur. Hídricos 17, 65–75.

ELESBON, A.A.A., SILVA, D.D. DA, SEDIYAMA, G.C., GUEDES, H.A.S., RIBEIRO, C.A.Á.S., RIBEIRO, C.B. DE M., 2015. Multivariate statistical analysis to support the minimum streamflow regionalization. Eng. Agrícola 35, 838–851. https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n5p838-851/2015

GOYAL, M.K., GUPTA, V., 2014. Identification of homogeneous rainfall regimes in northeast region of India using fuzzy cluster analysis. Water Resour. Manag. 28, 4491–4511. https://doi.org/10.1007/s11269-014-0699-7

GPRH - GRUPO DE PESQUISAS EM RECURSOS HÍDRICOS DA UFV, IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: IGAM. 2012. 415p.

HOSKING, J. R. M., WALLIS, J. R. Regional Frequency Analysis - an approach based on L-moments. Cambridge University Press, P.224, 1997.

MELO JÚNIOR, J.C.F. DE, SEDIYAMA, G.C., FERREIRA, P. A., LEAL, B.G., 2006. Determinação de regiões homogêneas quanto à distribuição de freqüência de chuvas no leste do Estado de Minas Gerais. Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient. 10, 408–416. https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000200023.

MOREIRA, M. C; SILVA, D. D. Atlas hidrológico da bacia hidrográfica do rio Grande. Editora Gazeta Santa Cruz. Barreiras – BA, 2010, 80p.

NOVAES, L. F. DE. Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu. 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2005.

PRUSKI, F.F., NUNES, A. de A., REGO, F. S., SOUZA, M.F., 2012. Extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas: Alternativas para atenuar os riscos. Water Resour. Irrig. Manag. 1, 51–59.

PRUSKI, F. F., NUNES, A. de A. PRUSKI, P. L., RODRIGUEZ, R. D. G. Improved regionalization of streamflow by use of the streamflow equivalent of precipitation as an explanatory variable. Journal of Hydrology, v. 476, p. 52-71, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.10.005>.

PRUSKI, F. F. RODRIGUEZ, R. D. G., NUNES, A. de A., PRUSKI, P. L., SINGH, V. P. Low-flow estimates in regions of extrapolation of the regionalization equations: a new concept. Engenharia Agrícola, v. 35, n. 5, p. 808-816, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010069162015000500808&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>.

PRUSKI, F. F., RODRIGUEZ, R. D. G., PRUSKI, P. L., NUNES, A. de A., REGO, F. S. Extrapolation of regionalization equations for long-term average flow. Engenharia Agrícola, v. 36, n. 5, p. 830-838, 2016.

RAJSEKHAR, D., MISHRA, A., SINGH, V., 2013. Regionalization of drought characteristics using an entropy approach. Journal of Hydrolology. 18, 70–887. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000683.

RAO, R. A.; SRINIVAS, V. V. Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. J. Hydrol. 2006, 318, 37–56.

RIBEIRO, C.B.M., MARQUES, F.A., SILVA, D.D., 2005. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio Doce. Eng. na Agric. 13, 103–107.

SCHUSTER, H. D. M., DA SILVA, F. F., TEIXEIRA, S. L., BATISTA, L. H. G., & DE FREITAS, W. A. Estudos hidrogeológicos do aquífero Urucuia no oeste baiano para obtenção de parâmetros nas outorgas de

mananciais subterrâneos. Águas Subterrâneas, n. 1, 2002.

SOUSA, H.T.; PRUSKI, F.F.; BOF, L.H.N.; CECON, P.R.; SOUZA, J.R.C. SisCAH: Sistema computacional para análises hidrológicas. Brasília, DF, Agência Nacional de Águas. 2009. 60p.

SOUSA, H. T. Sistema computacional para regionalização de vazões. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

SOUSA, J. R. C. Hydrology Plus: sistema computacional para estudos meteorológicos e hidrológicos. 2017. 131 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Parte 3: Águas Subterrâneas – Relatório Final Projeto Recursos hídricos Oeste da Bahia

Equipe: Eduardo Antônio Gomes Marques
Gerson Cardoso da Silva Júnior
Glauco Zely Silva Eger
Archange Michael Illambwetsi
Jales Coelho Nepomoceno (estagiário)
Jeniffer Chiappini da Matta (estagiária)

Sumário

1 Introdução ... 77
1.1 Motivações do Estudo e o Modelo Matemático ... 78
1.2 Área de Estudo ... 78
1.3 Etapas do Estudo ... 80
1.4 Equipe de Trabalho ... 81
1.5 Estrutura do Relatório ... 82
2 Elaboração do Banco de Dados do Estudo ... 82
2.1 Inventário de Poços ... 82
2.2 Apresentação e caraterização dos dados existentes no SIAGAS ... 83
2.3 Apresentação e caraterização dos dados disponibilizados pelo INEMA ... 86
2.4 Apresentação e caraterização dos dados disponibilizados pela CERB ... 88
2.5 Apresentação e caraterização dos dados existentes na RIMAS, incluindo caracterização do rebaixamento observado no período 2011 – 2018 ... 90
2.6 Apresentação de todos os dados existentes ... 93
2.7 Discussão dos resultados ... 97
3 Características Geológicas e Modelo Geológico Conceitual ... 97
3.1 Aspectos Geológicos ... 100
3.2 Paleoambiente do SAU ... 108
3.3 Geologia estrutural ... 109
4 Análise e Discussão de Parâmetros Hidráulicos do SAU ... 114
4.1 Resultados de Testes de Bombeamento Realizados no Estudo ... 114
5 Análise e discussão de dados hidrogeoquímicos secundários ... 124
5.1 Análise e discussão de dados hidrogeoquímicos (SIAGAS) ... 124
6 Modelo Hidrogeológico Numérico ... 135
6.1 Modelo Hidrogeológico Numérico em Fluxo Permanente ... 137
6.1.1 Bacia do Médio Rio Grande – Porção Norte ... 137
6.1.2 Bacia do Alto Rio Grande – Porção Sul ... 142
6.1.3 Bacia do Rio Corrente ... 151
6.1.4 Bacia do Rio Carinhanha ... 153
6.1.5 Avaliação dos resultados ... 155
6.2 Modelo Hidrogeológico Numérico em Fluxo Transiente ... 155
6.2.1 Bacia do Rio Corrente ... 156
6.2.2 Bacia do alto Grande – Porção Sul ... 158
7 Simulação de Cenários Futuros ... 159

7.1 Metodologia Utilizada 159
7.2 Avaliação da precipitação 160
7.3 Avaliação das Simulações de Fluxo em Cenários de Projeção Climática Futura ... 162
7.3.1 2020 – 2040 (RCP 2.6) 162
7.3.2 2020-2040 (RCP 8.5) 162
7.3.3 2050-2070 (RCP 2.6) 165
7.3.4 2050-2070 (RCP 8.5) 167
7.3.5 Discussão sobre a avalição de comportamento da água subterrânea em diferentes cenários climáticos futuros 169
8 Conclusões e Sugestões de Trabalhos Futuros 169
9 Bibliografia 171

Índice de Figuras

Figura 1 – Mapas mostrando: (A) Localização e área total do SAU e detalhe de sua porção em cada estado; (B) Principais drenagens do SAU e áreas de recarga e descarga do aquífero (segundo ANA, 2017). 77

Figura 2 – Subáreas adotadas para a realização das simulações do SAU, segundo as bacias hidrográficas da região de estudo: rios Alto Grande, Médio Grande, Corrente e Carinhanha. 79

Figura 3 – Mapa com os poços cadastrados no SIAGAS, em relação às três bacias hidrográficas principais da área de estudo – Grande (ao Norte, em Verde claro), Corrente (ao Centro, em verde) e Carinhanha (ao Sul, em rosa). 84

Figura 4 - Mapa da interpolação da potenciometria do Aquífero Urucuia e a partir de poços cadastrado no SIAGAS com informações para o cálculo da Carga Hidráulica. 85

Figura 5 - Mapa com os poços cadastrados no INEMA, em relação às bacias hidrográficas principais da área de estudo. 87

Figura 6 - Mapa com os poços cadastrados na CERB, em relação às bacias hidrográficas principais da área de estudo. 89

Figura 7 - Rebaixamento do lençol freático observado na sub-bacia dos rios Correntes e Alto rio Grande, para o período 2015 a 2018. 91

Figura 8 - Rebaixamento do lençol freático observado na sub-bacia alto Rio Grande entre 2011 e 2014 92

Figura 9 - Gráfico de frequência com a distribuição da variável profundidade. 94

Figura 10 - Gráfico de setores representando a finalidade de uso da água. 94

Figura 11 – Número de poços com vazão requerida inferior à 100 m^3/dia. 95

Figura 12 – Número de poços com vazão superior à 100m^3/dia. 95

Figura 13 - Mapa potenciométrico do SAU na Bahia. 96

Figura 14 – Seções esquemáticas N-S (A-A') e WNW – ESE (B-B') do Aquífero Urucuia (Bonfim e Gomes, 2004). 98

Figura 15 – Modelo hidrogeológico esquemático da região de ocorrência do SAU no estado da Bahia elaborado por Barbosa (2016). 99

Figura 16 – Espessura estimada do SAU na sub-bacia Urucuia com base em dados geofísicos (SEV e TDEM) (ANA, 2017). 100

Figura 17 – Mapa de localização das unidades constituintes do Grupo Urucuia. 101

Figura 18 - Estruturas de estratificação cruzada acanalada de grande porte (dunas) e laminação plano-paralelo (interdunas) no afloramento da Formação Posse na BR – 242 em Tocantins. 102

Figura 19 - Em (A) e (B) notar a ritmicidade e o bidomalismo do arenito da Fm. Posse na BR 242 no TO. Em (C) e (F) estratificação cruzada de grande porte e estruturas de campos de dunas características da Fm. Posse. Em (E) estruturas de dunas e interdunas na Fm. Posse. Em (G) delimitação litológica entre as formações Posse e Serra das Araras; (H) estruturas de dunas de porte médio na região da Garganta (Formoso do Rio Preto). 103

Figura 20 - Em (A) e (B) fácies conglomeráticos ferruginosos, mal selecionados de clasto e matriz sustentados da Fm. Serra das Araras; em (C) arenitos variando de médios a grossos aproximadamente bem selecionados, com estratificação cruzada de pequeno porte, indicativo de um ambiente fluvial (Pedra da Baliza); (D) arenito grosso maciço de seleção regular com contornos silicificados; (E) escarpas vista da estrada que leva até Dionópolis (TO); (F) estratificação cruzada de pequeno porte em arenitos médios próximo ao aeroporto de Barreiras; (G) Conglomerado polimítico com cobertura ferruginosa e alteração po intemperismo; (H) lente de quartzo e pelito envolvidos por uma película de óxido de ferro. 105

Figura 21 - Conglomerado polimítico de matriz silicificada composto por clastos de quartzo, arenitos e pelitos. 106
Figura 22 - Arenito conglomerático constituído por clastos silicificados (silexito). 106
Figura 23 - Afloramento de arenito maciço da Formação Serra das Araras com bandas descontinuas de arenito vermelho silicificado (em vermelho). 107
Figura 24 - Modelo geológico 3D da Bacia Urucuia (com base em CPRM, 2003). 107
Figura 25 - Paleoambiente das duas unidades do Grupo Urucuia. A) campo de dunas, interdunas em sistema eólico seco; B) redução da área de acumulação sedimentar e mudança climática; c) ambiente fluvial entrelaçado, aumento da taxa de soerguimento. 109
Figura 26 - Modelo deposicional conceitual da sedimentação da Bacia Urucuia. 109
Figura 27 - Estrutura do tipo slump no depósito eólico da Formação Posse em Tocantins (TO). 110
Figura 28 - Planos de estratificações cruzadas de grande porte (marcas de dunas) da Formação Posse nas regiões de escarpas (leste da bacia) e na região de Garganta (norte da bacia). 110
Figura 29 - Densidade das atitudes de cada estrutura de marca de ondas utilizada para indicar a tendência da direção do vento na época de sedimentação. 111
Figura 30 - Configuração e evolução estratigráfica da Bacia Urucuia associada às suas nascentes (Barbosa, 2016). 111
Figura 31 - em (A), (B), (C), (D) e (E) detalhes da vegetação fechada e bem preservada dominada por palmeiras do tipo buritis e com uma elevada umidade relativa do solo; (F) presença claramente observável de água na nascente do Rio das Águas Quentes (GO); (G) caminho preferencial de água na região de Barreiras. 112
Figura 32 - Nascente do Rio Preto na região da "Garganta". 113
Figura 33 - Relação água aquífero e água superficial. 113
Figura 34 – Croqui esquemático do teste de aquífero. 114
Figura 35 - Mapa com a localização dos poços nos quais foram realizados testes de aquífero pela equipe executora do presente estudo. 115
Figura 36 - Micro-Diver® na base de programação antes de ser inserido no poço de teste (PO). 116
Figura 37 – Gráfico do rebaixamento de nível x tempo no teste da Fazenda Morena. 117
Figura 38 – Gráfico de recuperação do nível de água x tempo da Fazenda Morena. 117
Figura 39 – Gráfico da Recuperação do nível de água na Faz. NE Florestal. 118
Figura 40 – Gráfico do Rebaixamento do nível de água no teste da Faz. Grato. 118
Figura 41 – Gráfico da Recuperação do nível de água na Faz. Grato. 118
Figura 42 – Gráfico de Rebaixamento do nível de água x tempo no teste na Faz. Bombarda. 119
Figura 43 – Gráfico da Recuperação do nível de água x tempo na Faz. Bombarda. 119
Figura 44 – Gráfico de rebaixamento x Tempo do teste na Faz. Nordeste Florestal. 119
Figura 45 - Ajuste das mediadas de rebaixamento do teste bombeamento a curva tipo de Hantush-Jacob (linha azul) no processamento do teste no AQTESOLV. 123
Figura 46 - Mapa de localização do poço com características de aquífero semiconfinado correlacionável com as áreas propostas por Gaspar e Campos (2007). 123
Figura 47 - Indicação de pontos (cruzes pretas) de medições hidroquímicas da base do SIAGAS e outras fontes onde foram obtidos os dados comentados e utilizados no presente item. Coordenadas UTM, fuso 23S; curvas isopiezométricas em m. 125
Figura 48 - Diagrama logarítmico com a representação de 490 dados com análises não balanceadas obtidas na área de estudo, a partir da base de dados SIAGAS. 126

Figura 49 - Diagrama de Piper com a representação de dados com análises balanceadas obtidas na área de estudo, a partir da base de dados SIAGAS e outras complementares. Note-se que as amostras de Cristópolis (Crisop, cruzes alaranjadas) por exemplo, encontram-se fora da área de ocorrência do SAU, que estão concentradas dentro da elipse vermelha. 126
Figura 50 - Mapa de isovalores de condutividade elétrica na área de ocorrência do SAU. 128
Figura 51 - Mapa de isoteores de sólidos totais dissolvidos na área de ocorrência do SAU..... 129
Figura 52 - Mapa de isovalores de pH na área de ocorrência do SAU..... 130
Figura 53 - Mapa de isoteores de ferro total na área de ocorrência do SAU..... 131
Figura 54 - Mapa de isoteores de cloreto na área de ocorrência do SAU. 132
Figura 55 - Mapa de isoteores de sódio na área de ocorrência do SAU..... 133
Figura 56 - Mapa de isoteores de alcalinidade na área de ocorrência do SAU. 134
Figura 57 – Perfil N-S na poção central do domínio do modelo da bacia do médio rio Grande com três camadas. 138
Figura 58 – Exemplo de tela de input de dados da bacia do médio Grande, com ilustração das zonas de diferentes condutividades hidráulicas (em branco e em vermelho) e a malha do modelo. .. 138
Figura 59 – Gráfico do balanço hídrico da simulação hidrogeológica da Bacia do Médio Grande.... 139
Figura 60 – Imagem 3D da Bacia do Médio Grande, com a representação da superfície potenciométrica.140
Figura 61 – Mapa potenciométrico da bacia do médio rio Grande com vetores de velocidade fluxo. 140
Figura 62 - Gráfico de calibração da simulação da bacia do médio rio Grande (carga hidráulica calculada vs. observada)..... 141
Figura 63 – Perfil (N-S) da porção central da bacia do alto rio Grande, com as três camadas do modelo.142
Figura 64 – Exemplo de tela com dimensão da malha na bacia do alto rio Grande, com os poços de monitoramento utilizados na calibração..... 143
Figura 65 – Distribuição da condutividade hidráulica na bacia do alto rio Grande. 143
Figura 66 – Mapa 3D com a representação da superfície potenciométrica da Bacia do Alto Grande. 144
Figura 67 – Gráfico do balanço hídrico da simulação hidrogeológica da Bacia do Alto rio Grande.. 144
Figura 68 – Gráfico de calibração da simulação da bacia do Alto rio Grande (carga hidráulica calculada vs. observada)..... 145
Figura 69 – Segmento da bacia do alto rio Grande, situada na zona de cabeceira do próprio rio Grande, entre este e o rio Fervedouro, selecionada para a simulação de detalhe visando o teste e exemplo de uso das ferramentas MODPATH e ZONEBUDGET..... 146
Figura 70 – Poços de bombeamento (PB - em marrom) e de observação (PU - quadrículas verdes e brancas) na área de detalhe da cabeceira da bacia do alto rio Grande..... 146
Figura 71 – Área de detalhe da bacia do alto rio Grande simulada no Visual MODFLOW, com a visualização da área com a malha mais adensada na zona do cluster de poços. O retângulo amarelo mostra a área de detalhe apresentada nos resultados da simulação..... 147
Figura 72 – Simulação do fluxo no detalhe da bacia do alto rio Grande. A figura mostra os vetores de fluxo nas porções mais superficiais do aquífero e o rastreio de partículas na porção com a malha refinada (retângulo do detalhe, ver na Figura 73 a seguir)..... 148
Figura 73 – Ampliação da área do retângulo da Figura 72 anterior da simulação do fluxo no detalhe da bacia do alto rio Grande. Pode-se observar que a zona de captura do PB-124, com uma vazão diária de 126 m^3/h, limita-se a menos de 150 m do poço de bombeamento, em uma distância perpendicular à direção de fluxo (detalhe A). O poço PB-IMAG, fictício e bombeando uma taxa de 500 m^3/h, cujo efeito no seu entorno é um pouco maior (detalhe B), pode ser observado na Figura 74 A e B a seguir.148
Figura 74 – Detalhe do poço de bombeamento PB-IMAG (fictício) bombeando 500 m^3/h nas proximidades de um pequeno rio na área de teste. O perfil (A) mostra a superposição de efeitos de gradientes hidráulicos com a pequena influência do poço no fluxo geral. Em (B) observa-se que a

partir de 200-250 m de distância não ocorreria mais a captura da água circulante no aquífero pelo hipotético poço, em uma distância perpendicular à trajetória de fluxo. 149
Figura 75 – Zoneamento da área de detalhe na bacia do alto Grande em área com grande concentração de poços de bombeamento com o emprego da ferramenta ZONEBUDGET. 150
Figura 76 – Resultado da aplicação do ZONEBUDGET na área delimitada na Figura 75..... 150
Figura 77 – Representação do domínio do modelo da bacia do rio Corrente (A) e Seção do N-S da porção central da bacia (B 151
Figura 78 – Representação 3D da superfície potenciométrica da bacia do rio Corrente..... 152
Figura 79 – Gráfico do balanço hídrico calculado da bacia do rio Corrente, com as vazões diárias de saída e entrada dos poços, drenos, rios, recarga e o volume total. 152
Figura 80 – Gráfico de calibração da simulação de fluxo da bacia do rio Corrente (carga hidráulica calculada vs. observada). 153
Figura 81 – Mapa de representação 3D da superfície potenciométrica da bacia do rio Carinhanha... 154
Figura 82 – Gráfico do Balanço hídrico da bacia do rio Carinhanha. 154
Figura 83 – Mapa da carga hidráulica da bacia do rio Corrente calculado nas simulações de fluxo em regime transiente no tempo 2355,6 (dias). 156
Figura 84 – Gráfico da série temporal dos níveis potenciométricos calculados e observados ao longo do tempo. 157
Figura 85 – Gráfico de calibração do modelo com cargas hidráulicas (calculadas vs. Observadas). . 157
Figura 86 – Gráfico do balanço hídrico da bacia do rio Corrente em estado transiente..... 158
Figura 87 – Representação 3D da superfície potenciométrica da bacia do alto rio Grande. 158
Figura 88 – Gráfico de calibração da carga hidráulica da simulação de fluxo em estado transiente da bacia do alto rio Grande. 159
Figura 89 - Gráficos da precipitação calculada para o período de 2020-2040 160
Figura 90 - Gráficos da precipitação calculada para o período de 2050-2070. 161
Figura 91 – Gráfico da carga hidráulica na porção central das bacias no cenário de projeção futura 2020 - 2040 (RCP2.6). 162
Figura 92 - Gráfico da carga hidráulica calculada para o período de 2020-2040 na porção central de cada bacia. 163
Figura 93 – Mapa de distribuição dos rebaixamentos do nível freático (NF) do SAU no período entre 2020-2040, no cenário climático pessimista. Os tons avermelhados indicam tendência de diminuição do NF, enquanto os azuis uma tendência de manutenção do NF atual (sem ter em conta eventual bombeamento). 164
Figura 94 – Gráfico do da carga hidráulica calculada na porção central das bacias para o período de 2050 - 2070 (RCP 2.6). 165
Figura 95 - Mapa de distribuição dos rebaixamentos do NF do SAU baiano no período de 2050-2070 (RCP 2.6). Os tons avermelhados indicam tendência de diminuição do NA, enquanto os azuis uma tendência de manutenção do NF atual (sem ter em conta eventual bombeamento)..... 166
Figura 96 – Gráfico do da carga hidráulica calculada na porção central das bacias para o período de 2050 - 2070 (RCP 8.5) 167
Figura 97 - Mapa do Rebaixamento do NA no período de 2050- 2070 (RCP 8.5). Os tons avermelhados indicam tendência de diminuição do NA, enquanto os azuis uma tendência de manutenção do NF atual (sem ter em conta eventual bombeamento). 168

Índice de Quadros

Quadro 1 – Quantificação de dados disponíveis sobre cada parâmetro no banco de dados de poços do INEMA. 88

Quadro 2 - Quantificação de dados disponíveis de cada parâmetro, para o conjunto de dados do SIAGAS, do INEMA, da CERB e do CNARH..... 93

Quadro 3 - Informações básicas dos testes de bombeamento executados..... 116

Quadro 4 – Propriedades hidráulicas obtidas nos testes de aquífero realizados no presente estudo... 120

Quadro 5 – Resumo dos valores dos parâmetros hidrodinâmicos da Formação Posse (SAU), com base em dados coletados por Schuster et al. (2002), Nascimento (2003) e Rodrigues et al. (2009)... 121

Quadro 6 – Resumo dos valores dos parâmetros hidrodinâmicos da Formação Serra das Araras (SAU), com base em dados coletados por Rodrigues (2009). 121

Quadro 7 – Resumo dos resultados dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero semiconfinado do SAU, com base em dados coletados por Gaspar (2006). 122

Quadro 8 - Resumo dos resultados dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero livre, obtidos por Gaspar (2006)..... 122

Quadro 9 - Quadro comparativo dos volumes explotados por poços e a recarga do aquífero em cada uma das bacias..... 155

Subprojeto Modelagem hidrogeológica para definição do uso sustentável sistema aquífero Urucuia

1 Introdução

Os recursos hídricos subterrâneos têm sido, historicamente e em todo o mundo, negligenciados ou relegados a um segundo plano nas ações de planejamento do uso dos recursos hídricos, seja em nível nacional, regional ou local. Esse fato decorre de sua natureza oculta à visão dos administradores e *stakeholders*. Embora a situação tenha evoluído positivamente nos últimos anos, tal herança ainda persiste, refletindo-se na escassez, má qualidade ou mesmo ausência de material técnico, dados de monitoramento e estudos que possam dar um suporte e embasamento adequados a uma correta avaliação e gestão de tais recursos. No Oeste baiano a situação não é diferente.

O Sistema Aquífero Urucuia – SAU (*Figura 1*), cuja maior parte da área de ocorrência está no oeste da Bahia, embora constituindo um dos maiores e mais relevantes sistemas aquíferos do país em extensão areal, volumes armazenados disponíveis e também em termos econômicos, permanece ainda com lacunas importantes no conhecimento de seu potencial hídrico, mecanismos de funcionamento hidrogeológico, recarga, fluxos etc. Esse extraordinário reservatório de água, com importância fundamental na manutenção do fluxo de base do sistema fluvial da bacia do rio São Francisco está, igualmente, sujeito a variações climáticas que impõem períodos de seca os quais, segundo os dados mais recentes indicam, serão mais frequentes e acentuados até o final do presente século. Desse modo, são crescentes as preocupações sobre os efeitos potenciais dessas secas sobre os níveis de água dos aquíferos, fontes e rios.

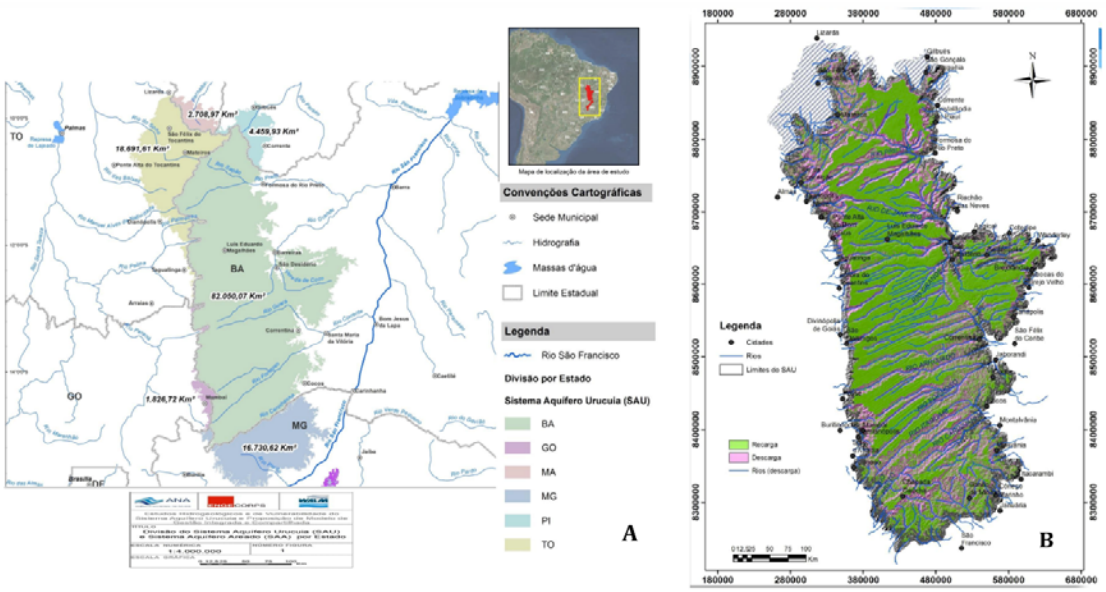


Figura 1 – Mapas mostrando: (A) Localização e área total do SAU e detalhe de sua porção em cada estado; (B) Principais drenagens do SAU e áreas de recarga e descarga do aquífero (segundo ANA, 2017).

1.1 Motivações do Estudo e o Modelo Matemático

De modo a proporcionar uma compreensão adequada sobre os mecanismos de funcionamento do SAU quanto à recarga, circulação de água e respostas ao *stress* imposto por bombeamentos, modificações no uso do solo (incluindo desmatamentos), períodos de seca e outros, realizou-se o presente estudo, que envolve o desenvolvimento e calibração de um modelo matemático de fluxo da água subterrânea do SAU baiano. O modelo numérico tridimensional de fluxo do presente estudo foi elaborado com o software Visual Modflow 4.6, o estado-da-arte dos códigos matemáticos para simulação de fluxo de água subterrânea em nível mundial. Esse software permite determinar a água subterrânea disponível, auxilia na avaliação da situação atual e tendências futuras e permite definir de estratégias de planejamento do uso e gestão das águas subterrâneas. Além disso, funciona como uma fonte integrada de informações sobre o aquífero podendo, com treinamentos dirigidos à clientelas variadas, desde muito simples até o nível de "expert", servir como ferramenta auxiliar à gestão, desde o nível de usuário final até as agências e organismos de controle, como INEMA, associações de usuários, ANA e outros.

A abordagem usada no desenvolvimento do modelo envolveu a divisão do SAU baiano em quatro subáreas de trabalho, obedecendo as bacias hidrográficas fluviais daquele setor, a saber (*Figura 2*): bacia do Alto rio Grande, do Médio rio Grande, do rio Corrente e do rio Carinhanha (esta última somente a porção da bacia localizada no estado da Bahia).

1.2 Área de Estudo

O SAU compreende uma área total de cerca de 125.000 km^2, estendendo-se desde o sul dos estados do Maranhão e Piauí, até o extremo noroeste de Minas Gerais, sendo a área principal de ocorrência o oeste do estado da Bahia, formando a Chapada do São Francisco (Chapadão do Urucuia) (*Figura 1*). Estende-se ainda até o nordeste de Goiás e sudeste do Tocantins, constituindo área de relevo tabular (chapada), com suave gradiente topográfico na direção leste (Gaspar e Campos, 2007; Chang e Silva, 2015). A área do SAU no estado da Bahia corresponde a cerca de 2/3 desse total, atingindo cerca de 82.000 km^2 dos quais 76.000 km^2, de acordo com Gaspar (2006), funcionam como unidade aquífera, desempenhando as funções armazenadora, reguladora e filtro (ver *Figura 1*B). Nas áreas excluídas do SAU, a produção dos poços está ligada à explotação de águas subterrâneas armazenadas no sistema clástico-fissural do Bambuí e nos aquíferos cristalinos.

O SAU representa o principal manancial subterrâneo do oeste baiano e de porções de território adjacentes em estados limítrofes, caracterizando-se como uma região de grande importância, pois é considerada a nova fronteira agrícola do Estado da Bahia, com taxas crescentes de produtividade nos últimos anos, na qual os recursos hídricos subterrâneos têm importante papel na produtividade e sustentabilidade do agronegócio local (Campos *et al.*, 2010). A importância estratégica do SAU fundamenta-se não somente pelas crescentes demandas de água, mas também pela sua função de regulador das vazões dos afluentes da margem esquerda do médio rio São Francisco, já que cerca de 30% (período chuvoso) a 80% (período seco) das vazões desse rio são suportadas por seus afluentes que nascem no sistema. Provê também a alimentação de nascentes de tributários da margem direita do rio Tocantins, na borda ocidental da Serra Geral de Goiás.

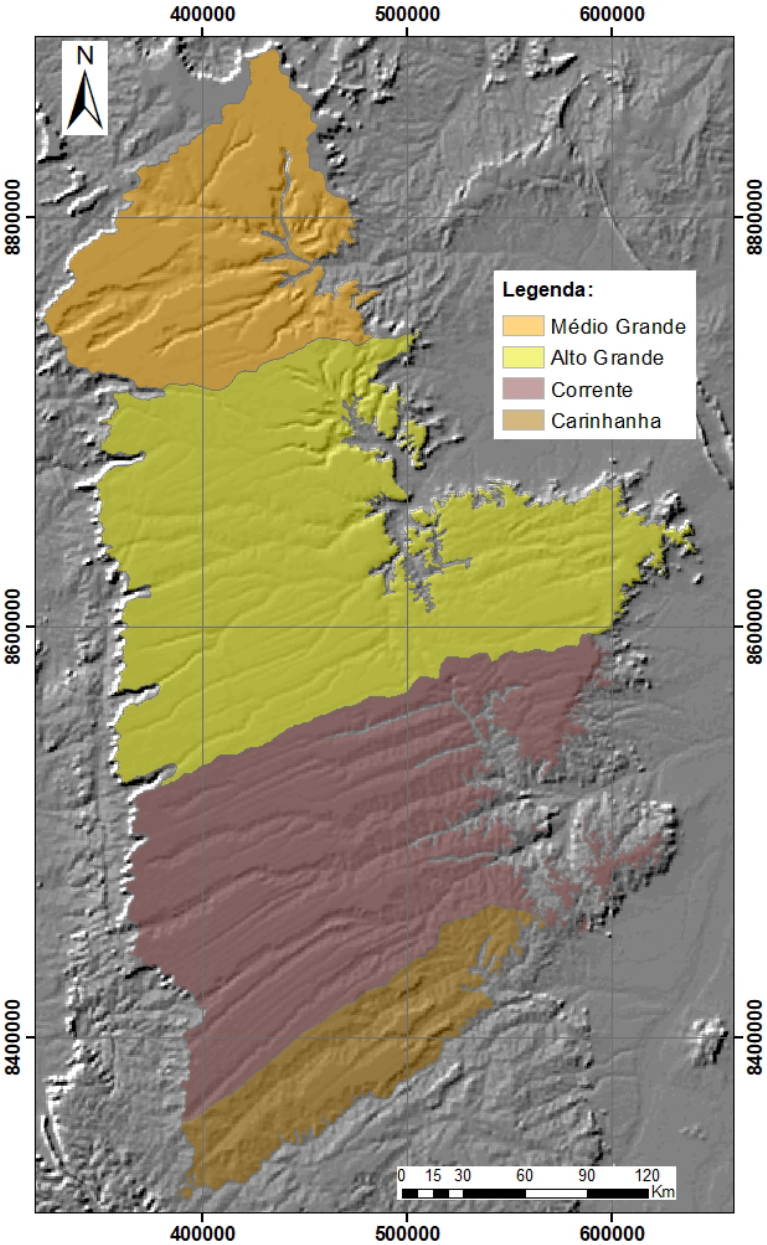


Figura 2 – Subáreas adotadas para a realização das simulações do SAU, segundo as bacias hidrográficas da região de estudo: rios Alto Grande, Médio Grande, Corrente e Carinhanha.

De modo geral, as drenagens que correm sobre o Urucuia são perenes, havendo uma forte contribuição da água subterrânea na composição do fluxo total anual dos rios locais.

Diversos estudos têm sido desenvolvidos desde a década de 2000, envolvendo desde a implantação de poços de monitoramento e execução de testes de bombeamento de poços (escalonado, simples ou de longa duração) e de aquífero, além de aspectos da geologia - sedimentologia, geologia estrutural e hidrogeologia (determinação de parâmetros hidrogeológicos e modelagem hidrogeológica conceitual e numérica).

Dentre os trabalhos com enfoque hidrogeológico, menos comuns, deve-se destacar os desenvolvidos por Gaspar (2006), Gaspar *et al.* (2012), Amorim Jr. e Lima (2003), Bonfim e Gomes (2004), Gaspar e Campos (2007), Barbosa (2016) e o da Agência Nacional de Águas -

ANA (2017), sendo que este último inclui um modelo hidrogeológico numérico de fluxo do SAU. Levantamentos e interpretação geofísicos são fundamentais na compreensão da arquitetura, espessura, disposição das camadas e estruturas presentes no SAU, haja vista a vastidão da área de abrangência e escassez de dados. Vários trabalhos buscam descrever a hidrogeologia a partir de elementos de levantamentos geofísicos, como os de Barbosa *et al.* (2014), Gaspar *et al.* (2012), Nascimento (2009) e Nascimento e Lima (2013). Também, iniciou-se um ciclo de trabalhos que buscam, através de simulações numéricas, obter *insights* sobre o funcionamento do SAU, suas reservas utilizáveis, recarga e outros elementos com o fito de fornecer subsídios para a gestão do Sistema (ANA, 2017; Gonçalves e Chang, 2017; Engelbrecht e Chang, 2015).

Recentemente, a CPRM propôs e definiu um programa de implantação de uma rede de monitoramento integrado de águas subterrâneas para diversos aquíferos do Brasil, denominada RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas). Especificamente para o SAU implantou-se uma rede de monitoramento composta por 61 poços com *dataloggers* instalados e em operação de coleta e armazenamento de dados de profundidade de níveis estáticos, em intervalos de hora em hora, desde 2012 (a partir de 2011 para alguns poços) que estão disponíveis através do SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas). Esses dados foram utilizados para avaliar a variação do NA ao longo do período monitorado.

Ressalta-se que, mesmo com todos esses estudos, o conhecimento do Sistema Aquífero Urucuia ainda é limitado, em especial em relação à sua espessura, à parâmetros hidrodinâmicos, às suas reservas e à sua disponibilidade hídrica, pelo que qualquer estudo embasado do ponto de vista técnico-científico é importante para o avanço no seu conhecimento.

1.3 Etapas do Estudo

No contexto do presente estudo, o desenvolvimento do subprojeto "Modelagem hidrogeológica para definição do uso sustentável do Sistema Aquífero Urucuia" teve por objetivo levantar, através de pesquisa científica (levantamento de dados e caracterização hidrodinâmica e hidroquímica das águas subterrâneas nas áreas do estudo), os elementos necessários à elaboração e execução de um modelo hidrogeológico numérico regional de fluxo do aquífero Urucuia (SAU) na sua porção baiana, que permitisse quantificar sua contribuição para o fluxo superficial das drenagens sob sua influência, estimar a recarga ao aquífero, determinar sua potenciometria e sua variação sazonal, contribuir para uma melhoria da estimativa das reservas renováveis e permanentes do sistema e, por fim, servir de base para a simulação de cenários futuros de uso da água subterrânea. Realizou-se, também, um levantamento das características hidroquímicas das águas subterrâneas, com base nos dados existentes no SIAGAS e na RIMAS. Para atender a esses objetivos, o trabalho foi executado por meio das seguintes etapas:

- ✓ Levantamento de dados existentes sobre o SAU: cadastro de poços existentes nos bacos de dados governamentais – RIMAS, SIAGAS, INEMA, CERV, HidroWeb – ANA e inventário de pontos de água regional, incluindo levantamentos de campo para cadastro de nascentes e poços e pesquisa bibliográfica sobre trabalhos geológicos e hidrogeológicos realizados na região;
- ✓ Criação e digitalização dos dados obtidos em banco de dados georreferenciado em ambiente do *software ArcGis*. Este banco de dados contém, além das informações

cartográficas em diferentes escalas, informações sobre a caracterização geológica e hidrogeológica, geomorfologia, vegetação e uso do solo e pedologia. Esses elementos, associados a informações hidrometeorológicas foram utilizados no cálculo da recarga aos aquíferos locais;

- ✓ Estimativa da recarga ao aquífero através do cálculo de balanço de massas (balanço hídrico), considerando o comportamento do meio poroso. Nesse item, houve uma importante interação com as equipes dos projetos coordenados pelos professores Marcos Heil e Fernando Pruski;
- ✓ Realização de testes de bombeamento para determinação de parâmetros hidrogeológicos das unidades que compõem o aquífero, além de levantamento de testes já realizados em outorgas já concedidas; os testes de aquífero e de produção, incluíram a observação de rebaixamento e recuperação no poço bombeado e nos poços vizinhos. A finalidade foi avaliar a potencialidade e os parâmetros hidráulicos do aquífero, estabelecendo a conectividade entre os poços e a interferência de suas extrações de água subterrânea sobre o aquífero da região;
- ✓ Elaboração do modelo hidrogeológico conceitual: definiu-se o modelo conceitual de funcionamento com a seleção das hipóteses mais adequadas e consistentes a partir dos dados geológicos e hidrogeológicos coletados e disponíveis, processadas com o auxílio de ferramentas de modelagem física. Essa foi a etapa mais laboriosas em termos de consumo de tempo do projeto;
- ✓ Elaboração do modelo hidrogeológico numérico, incluindo potenciometria, via o *software* Visual MODFLOW: foram elaborados modelos hidrogeológicos em fluxo permanente/estacionário (para todas as bacias, para as condições do ano de 2017) e em fluxo transiente para as sub-bacias do Alto Grande e Corrente (para o período de 2008 a 2017), procurando realizar sua preparação, seleção de parâmetros, geometria e calibração de modo a refletir da maneira mais fiel possível o comportamento do aquífero. Após isso também foram executadas de simulações numéricas de fluxo da água subterrânea objetivando a previsão de comportamento futuro, teste de hipóteses conceituais e subsídio ao gerenciamento do aquífero, como estudo da disponibilidade e checagem com os dados de fluviometria.

1.4 Equipe de Trabalho

A equipe responsável pela execução do subprojeto foi formada por pesquisadores (geólogos), estudantes de pós-graduação e de graduação, a saber:

- ✓ Professor Eduardo Antonio Gomes Marques, geólogo, Doutor em Geologia, professor do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Viçosa;
- ✓ Professor Gérson Cardoso da Silva Júnior, geólogo, Doutor em Geologia, professor do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro;
- ✓ Glauco Zely da Silva Eger, geólogo, Mestre em geologia, Doutorando em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro;
- ✓ Archange Michael Illambwetsi, geólogo, pesquisador, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa;
- ✓ Jennifer Chiappini da Matta, estudante de geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro; e

- ✓ Jales Coelho Nepomuceno Júnior, estudante de geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Oeste da Bahia.

1.5 Estrutura do Relatório

O relatório, portanto, está dividido nas seguintes seções: (1) introdução, com as motivações, descrição sumarizada da área do estudo, etapas previstas e equipe de trabalho; (2) Elaboração do banco de dados: investigações prévias do aquífero e hidrogeologia. (3) Características geológicas e modelo geológico conceitual; (4) Análise e discussão dos parâmetros hidráulicos do SAU; (5) Análise e discussão de dados hidrogeoquímicos secundários; (6) Modelo hidrogeológico numérico; (7) Simulações de cenários futuros (8) Conclusões e sugestões de trabalhos futuros e (9) Bibliografia.

Nos itens a seguir serão apresentados, de forma detalhada, os resultados obtidos na execução do subprojeto, suas principais conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2 Elaboração do Banco de Dados do Estudo

A primeira etapa do estudo contemplou a realização de uma ampla pesquisa bibliográfica com enfoque na realização de estudos geológicos e hidro geológicos (modelagem, obtenção de parâmetros hidrodinâmicos, parâmetros químicos, testes de bombeamento, testes de aquífero etc.) que pudessem fornecer informações relevantes ao escopo do estudo proposto.

Fora pesquisadas e utilizadas imagens de Satélite SRTM, para uso no modelo numérico e do Google Earth, como suporte para a realização dos trabalhos de campo. Outros dados foram coletados em artigos técnico-científicos, relatórios técnicos de perfuração de poços e de testes de bombeamento, dissertações de mestrado e teses de doutorado e em relatórios e dados técnicos de órgãos e agências federais e estaduais (ANA, INEMA, CERB, CPRM, UFBA, UnB, UFOB e outros).

A seguir detalham-se as informações coletadas.

2.1 Inventário de Poços

Como etapa inicial do estudo do potencial hídrico subterrâneo, foi realizado um levantamento de informações sobre os recursos hídricos subterrâneos em banco de dados públicos como os da CPRM (Serviço Geológico do Brasil), INEMA (Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia), CERB (Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia) e ANA (Agência Nacional de Águas). Além disso, a AIBA, através de seus associados, conseguiu que tivéssemos acesso a uma série de dados de dados de perfuração de poços e de testes de bombeamento de poços implantados no SAU.

Os sistemas de informações da CPRM, como o SIAGAS e a RIMAS têm sido aplicados como ferramenta de trabalho em estudos hidrogeológicos diversos últimos anos. O SAU foi objeto de alguns estudos recentes que tiveram como objeto a plataforma de armazenagem, manuseio e gestão dos dados tanto do SIAGAS quanto da RIMAS (Santos *et al.*, 2012; Villar *et al.* 2012 e 2013; Silva *et al.*, 2013; ANA, 2017).

Outras bases como o SEIA (Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos) do INEMA, HidroWEB da ANA e dados fornecidos pela CERB também complementaram as informações do estudo.

2.2 Apresentação e caraterização dos dados existentes no SIAGAS

As informações geradas com o processamento da base de dados do SIAGAS para o Sistema Aquífero Urucuia são bastante heterogêneas em termos da quantidade e qualidade. Em alguns poços há informações construtivas, como perfil construtivo/geológico do poço; caraterísticas hidrodinâmicas e, inclusive, parâmetros hidrogeoquímicos, como dados físico-químicos. Há outros poços cadastrados cujas informações fornecidas são pouco mais que as coordenadas geográficas e a profundidade do poço.

Na *Figura 3* observa-se que distribuição geográfica dos pontos de água subterrânea do SAU é bastante abrangente em relação à área de trabalho, porém há regiões em que as informações hidrogeológicas são notavelmente escassas como, por exemplo: a porção Norte do SAU baiano, na bacia do Médio Rio Grande e na porção sul da área de estudo, na bacia do Rio Carinhanha, nas quais são poucos os dados de poços disponíveis, especialmente dados hidrodinâmicos. Em ambas áreas a interpolação de dados fica prejudicada quanto à representação espacial de características hidrogeológicas. Mesmo com essas deficiências localizadas, o processamento do banco de dados gerado a partir do SIAGAS permitiu análises que facilitaram a compreensão do funcionamento hidrogeológico do SAU.

A partir da correlação das informações de nível estático (NE) obtidas dos poços cadastrados, registradas com dados de elevação obtidos de modelos digitais de elevação (MDE) SRTM, obteve-se o mapa potenciométrico preliminar do aquífero (distribuição da carga hidráulica) que evidenciou que o nível piezométrico do aquífero é mais elevado na sua faixa ocidental, acompanhando a altimetria do Chapadão Ocidental do São Francisco (Chapadão Baiano). No geral, as cargas hidráulicas variaram entre 523 m e 887 m e o fluxo ocorre predominantemente de Oeste para Leste (*Figura 4*).

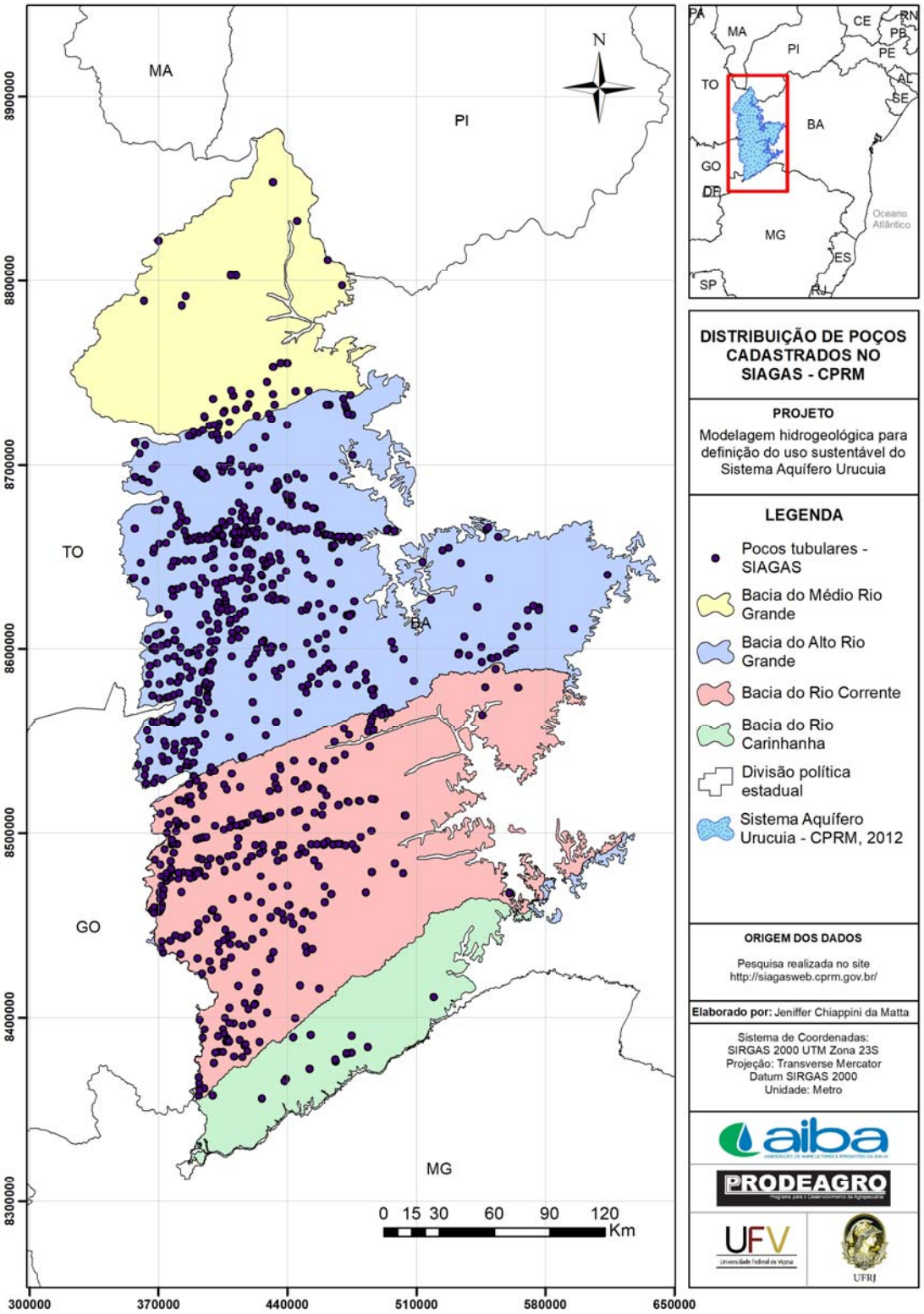


Figura 3 – Mapa com os poços cadastrados no SIAGAS, em relação às três bacias hidrográficas principais da área de estudo – Grande (ao Norte, em Verde claro), Corrente (ao Centro, em verde) e Carinhanha (ao Sul, em rosa).

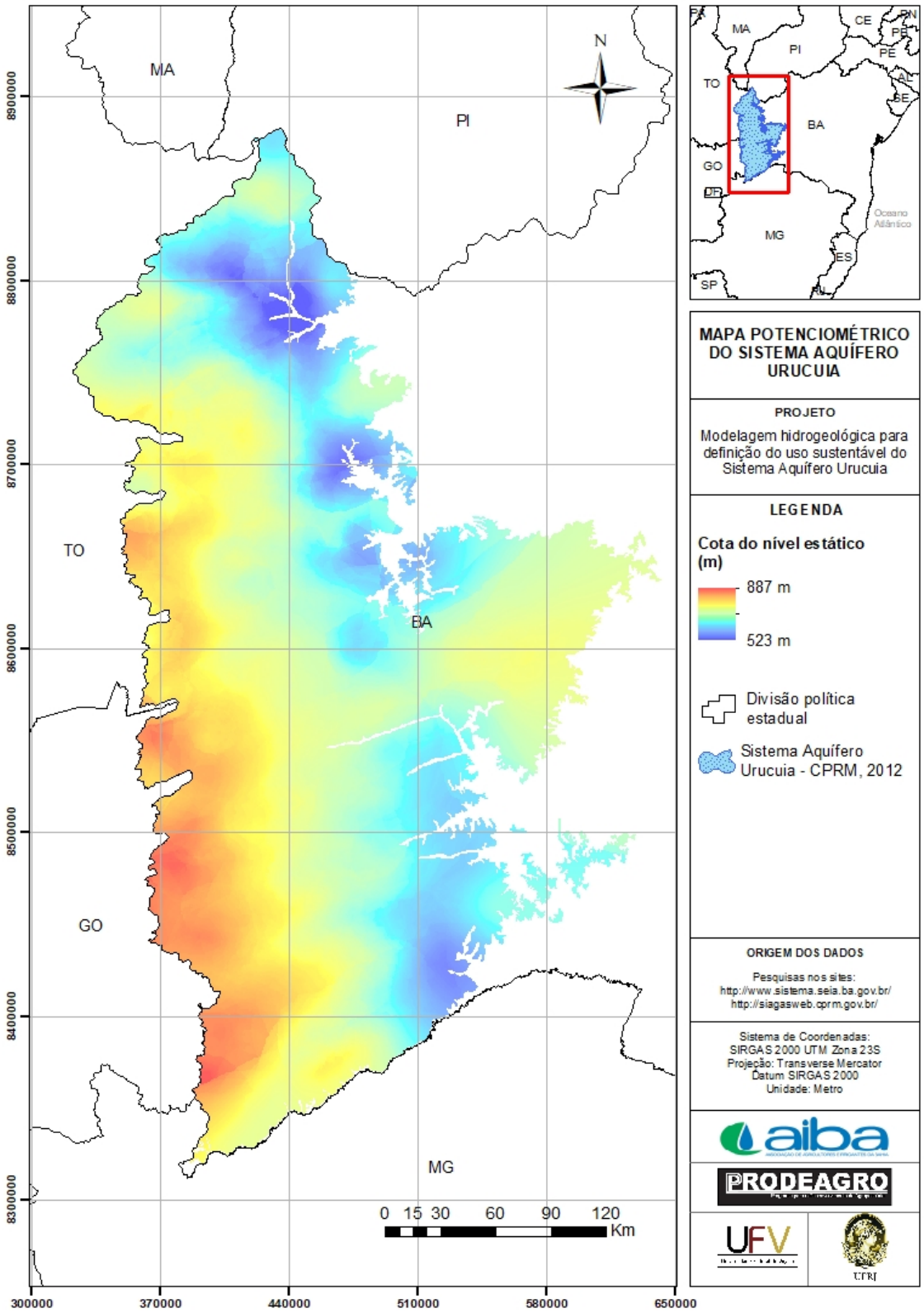


Figura 4 – Mapa da interpolação da potenciometria do Aquífero Urucuia e a partir de poços cadastrado no SIAGAS com informações para o cálculo da Carga Hidráulica.

2.3 Apresentação e caraterização dos dados disponibilizados pelo INEMA

A partir do cadastro de usuário de recursos hídricos disponibilizado pelos técnicos do INEMA, foi realizada uma ampla busca por informações de caráter hidrogeológico pelo site do SEIA (Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos), operado pelo governo do Estado da Bahia, plataforma que permite consultar processos de outorga e de outras demandas ambientais cadastradas no instituto.

As pesquisas foram feitas através do número do processo de outorga, CPF/CNPJ/nome do requerente do processo ou do empreendimento. Os arquivos obtidos incluem formulários de dispensas de outorga, relatórios de perfuração de poços, projetos básicos do empreendimento e portarias de outorga. Os dados foram obtidos e analisados individualmente, buscando-se o levantamento informações como: profundidade, níveis estáticos e dinâmicos, vazão outorgada, número de horas/dia outorgados, além de verificar a disponibilidade de dados construtivos e hidroquímicos. As todas as informações foram consolidadas em planilha para posterior emprego em plataforma GIS. Foram levantados no sistema um total de 473 poços, dos quais, entretanto, apenas 101 pontos possuem todas as informações básicas completas disponíveis. A distribuição desses pontos na área de estudo, está representada no mapa da *Figura 5*.

No Quadro 1 quantificam-se os dados obtidos referentes a cada parâmetro. Do total de 473 poços, apenas 243 disponibilizaram dados sobre a profundidade, que variou entre 30 e 292 m. Informações sobre o nível estático foram encontradas em 339 poços, com valores entre 6 m e 247 m de profundidade. No caso do nível dinâmico, foram obtidos 337 valores entre 10 m e 250 m de profundidade. A vazão requerida foi encontrada em 266 poços e os valores chegaram a 12.000 m^3/dia.

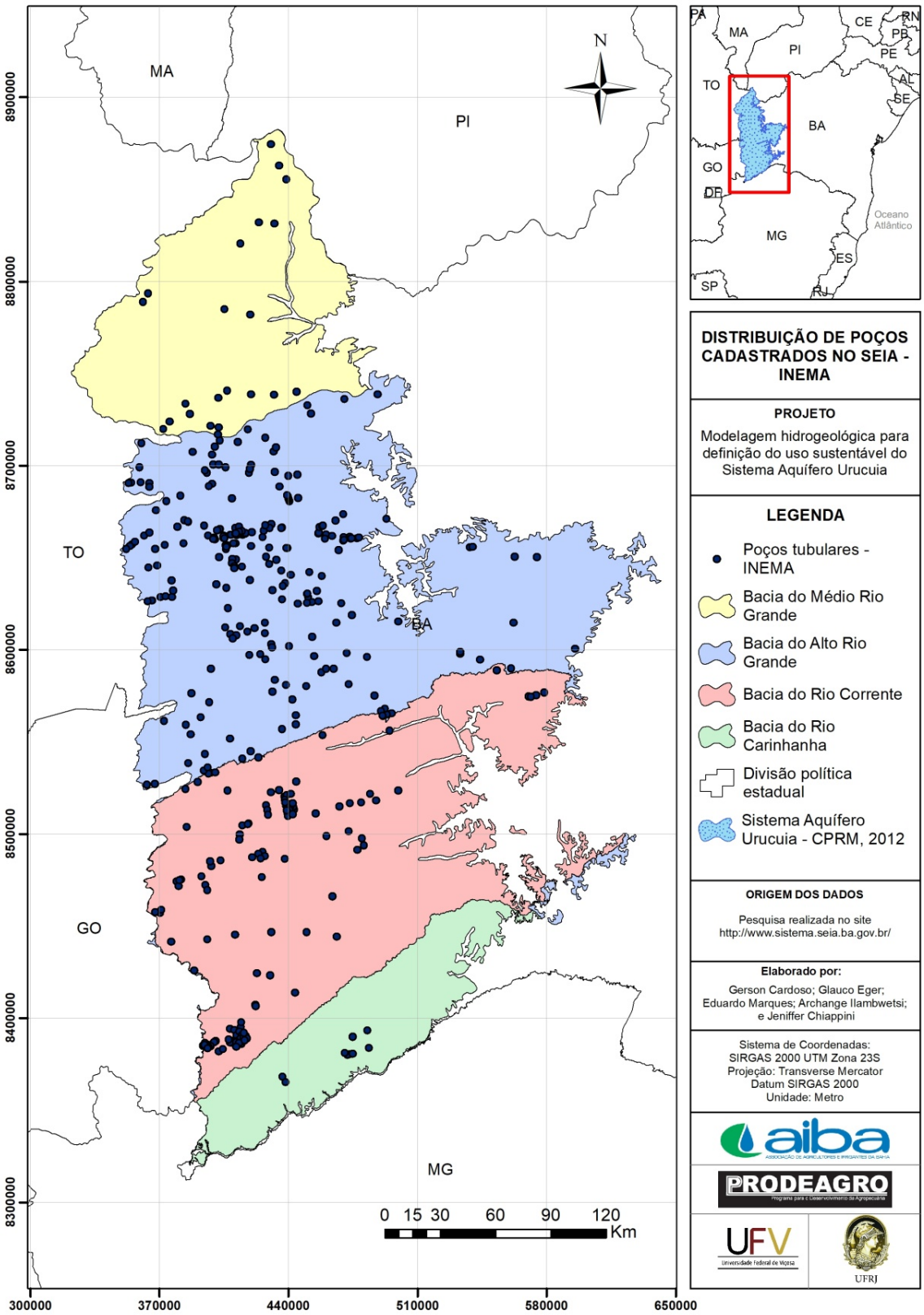


Figura 5 – Mapa com os poços cadastrados no INEMA, em relação às bacias hidrográficas principais da área de estudo.

Quadro 1 – Quantificação de dados disponíveis sobre cada parâmetro no banco de dados de poços do INEMA

Total de poços	**473**	**------**
Profundidade	243	30 a 292 m
Nível estático	339	6 a 247 m
Nível dinâmico	337	10 a 250 m
Vazão requerida	266	Até 12.000 m^3/dia

2.4 Apresentação e caraterização dos dados disponibilizados pela CERB

A Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia (CERB) é uma empresa de economia mista, vinculada à Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento-SIHS, e tem como missão garantir a oferta de água para melhoria da qualidade de vida e desenvolvimento sustentável, com ênfase no saneamento rural (conteúdo disponível *on-line*). Uma das funções da companhia é a perfuração de poços tubulares profundos destinados ao abastecimento de água às populações rurais, indústrias, hospitais, construção de estradas, entre outros.

Parte dos dados de perfuração dos poços da companhia foram cedidos para a equipe do subprojeto de água subterrânea do SAU, visando a composição do banco de dados hidrogeológicos utilizados na elaboração do modelo conceitual e aplicação de informações no modelo computacional.

Na região do Sistema Aquífero Urucuia foram identificados 69 poços da CERB (Figura 6), distribuídos nos municípios de Barreiras, Correntina, Cocos, Formosa do Rio Preto, Luís Eduardo Magalhães, São Desiderio e Riachão das Neves. Os poços possuem uma profundidade média de aproximadamente 100 m, sendo os mais rasos com 27 m e os mais profundos com 240 m. As vazões médias são de aproximadamente 20 m^3/h.

Como observado nos levantamentos de campo os poços da porção leste do SAU apresentam um nível d'água mais raso, com profundidades menores que 10 m. Este comportamento é observado nos poços dos municípios de Riachão das Neves e Cocos.

Na porção mais ao norte, no município de Formosa do Rio Preto, o comportamento observado é diferente, caracterizado por um nível d'água substancialmente mais profundo, com valores maiores que 50 m. Esta alteração de comportamento pode ser atribuída à uma influência do Arco do São Francisco, uma elevação do embasamento geológico que divide a porção norte da bacia Sanfranciscana da porção sul da bacia do Parnaíba.

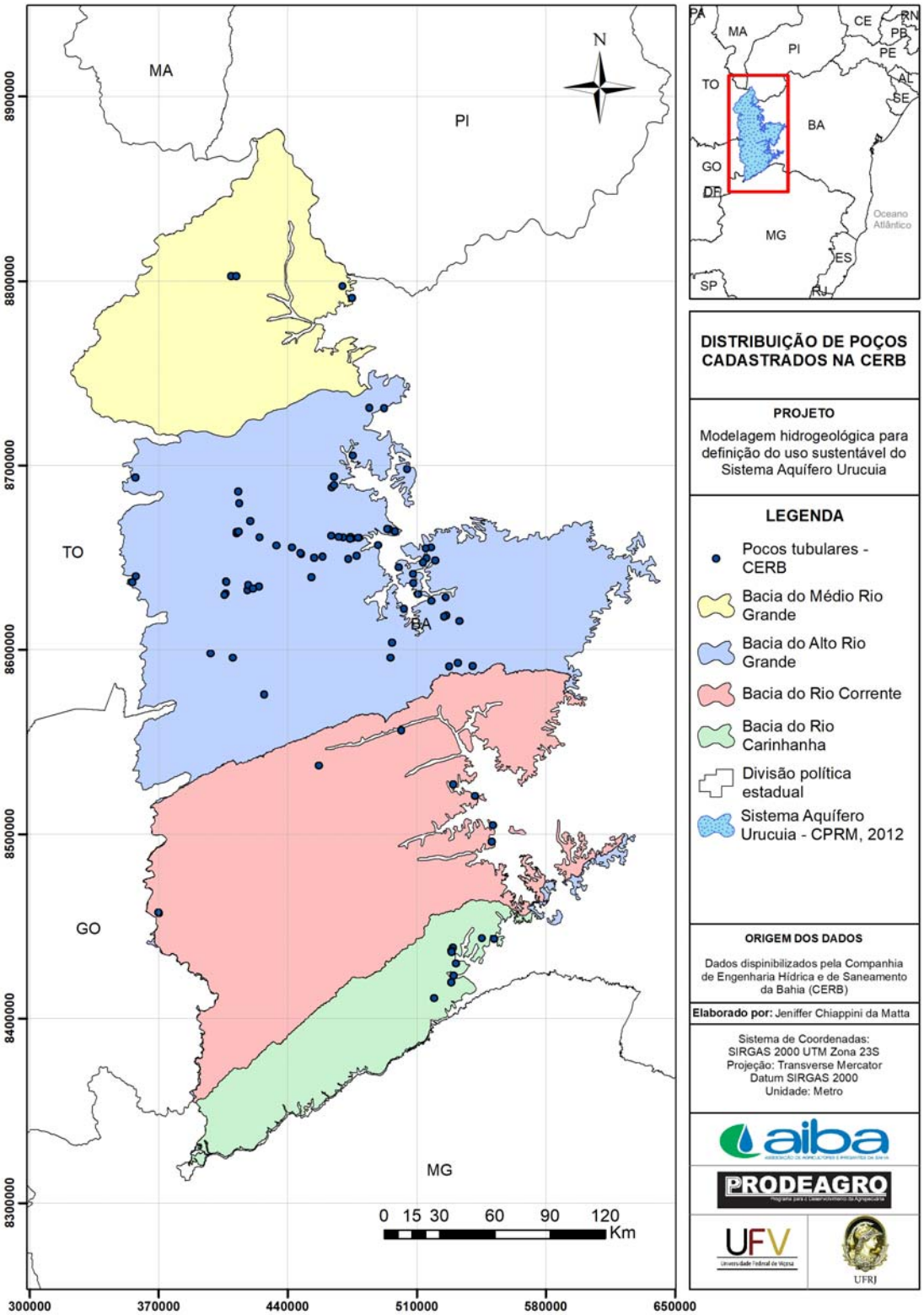


Figura 6 – Mapa com os poços cadastrados na CERB, em relação às bacias hidrográficas principais da área de estudo.

2.5 Apresentação e caraterização dos dados existentes na RIMAS, incluindo caracterização do rebaixamento observado no período 2011 – 2018

O monitoramento regular de níveis potenciométricos de águas subterrâneas ao longo do tempo são, dentre os elementos e dados de conhecimento dos aquíferos, pré-requisitos essenciais para qualquer gestão eficaz dos recursos hídricos subterrâneos, tanto em termos de qualidade como de disponibilidade do próprio recurso. Devido às complexidades dos sistemas aquíferos freáticos, o projeto e operação de uma rede de monitoramento eficaz é bastante difícil e custosa de implementar. Contudo, sistemas de monitoramento bem projetados são capazes de fornecer informações vitais sobre os aquíferos a um custo razoável. Desse modo, o monitoramento e seus resultados serão melhor reconhecidos pelos gestores e usuários da água que, ao final, serão os que pagarão pelo custo de monitoramento.

Neste sentido, a Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS), concebida em 2009 e em operação e expansão pela CPRM, tem por objetivo estabelecer uma rede de monitoramento permanente e contínuo capaz de propiciar, a médio e longo prazos, a identificação de impactos às águas subterrâneas em decorrência da explotação ou das formas de uso e ocupação dos terrenos, a estimativa da disponibilidade do recurso hídrico subterrâneo, dentre outras informações, em todo o país (Mourão e Peixinho, 2012). Conta atualmente com 400 poços de monitoramento instalados nos principais aquíferos do país, dos quais 61 no estado da Bahia (dados atualizados em fevereiro de 2019).

A sub-bacia do médio Rio Grande, localizada na porção norte da bacia, é caracterizada como região de poços subterrâneos rasos devido à falta de energia elétrica nessa região. Sendo assim, os agricultores optaram por poços de baixa vazão, geralmente para consumo humano e as precipitações anuais são as únicas fontes de água para plantio nas propriedades. Não há relato de poço tubular de observação na região para monitorar as oscilações do nível freático.

Também na sub-bacia do Carinhanha não há nenhum poço de monitoramento da rede RIMAS, nem relato ou informação de poços tubulares profundos de monitoramento.

Nesse contexto, as únicas bacias para as quais foram obtidos dados de monitoramento automático foram as sub-bacias de alto Rio Grande e Corrente. Assim, estes dados foram utilizados para a elaboração de mapas de rebaixamento, para o período monitorado, que permitissem avaliar o efeito do bombeamento de água e de mudanças climáticas nessas regiões.

Com base nos dados coletados na RIMAS observa-se que a sub-bacia do Corrente apresenta rebaixamento do nível freático entre os anos 2015 e 2018, principalmente em sua parte centro-leste (*Figura 7*). Da observação da porção inferior dos mapas mostrados na Figura 7, pode-se notar, para a bacia do rio Corrente, rebaixamentos de até 15 m, que aumentam gradativamente no período monitorado, em especial em 2018. Nos anos de 2014 a 2016 ocorreram eventos de seca extrema na bacia, mas esse fenômeno não parece ter influenciado o rebaixamento do lençol freático neste período. Já em 2018, observa-se um aumento da área atingida por um maior rebaixamento do NA, muito provavelmente em função da superexplotação das águas subterrâneas aliada à ausência de recarga do aquífero nos anos anteriores, a despeito de 2017 ter sido um ano com maiores precipitações que os dois anos anteriores. O rebaixamento observado no aquífero resultou, inclusive, no desaparecimento de algumas nascentes localizadas na porção nordeste da bacia.

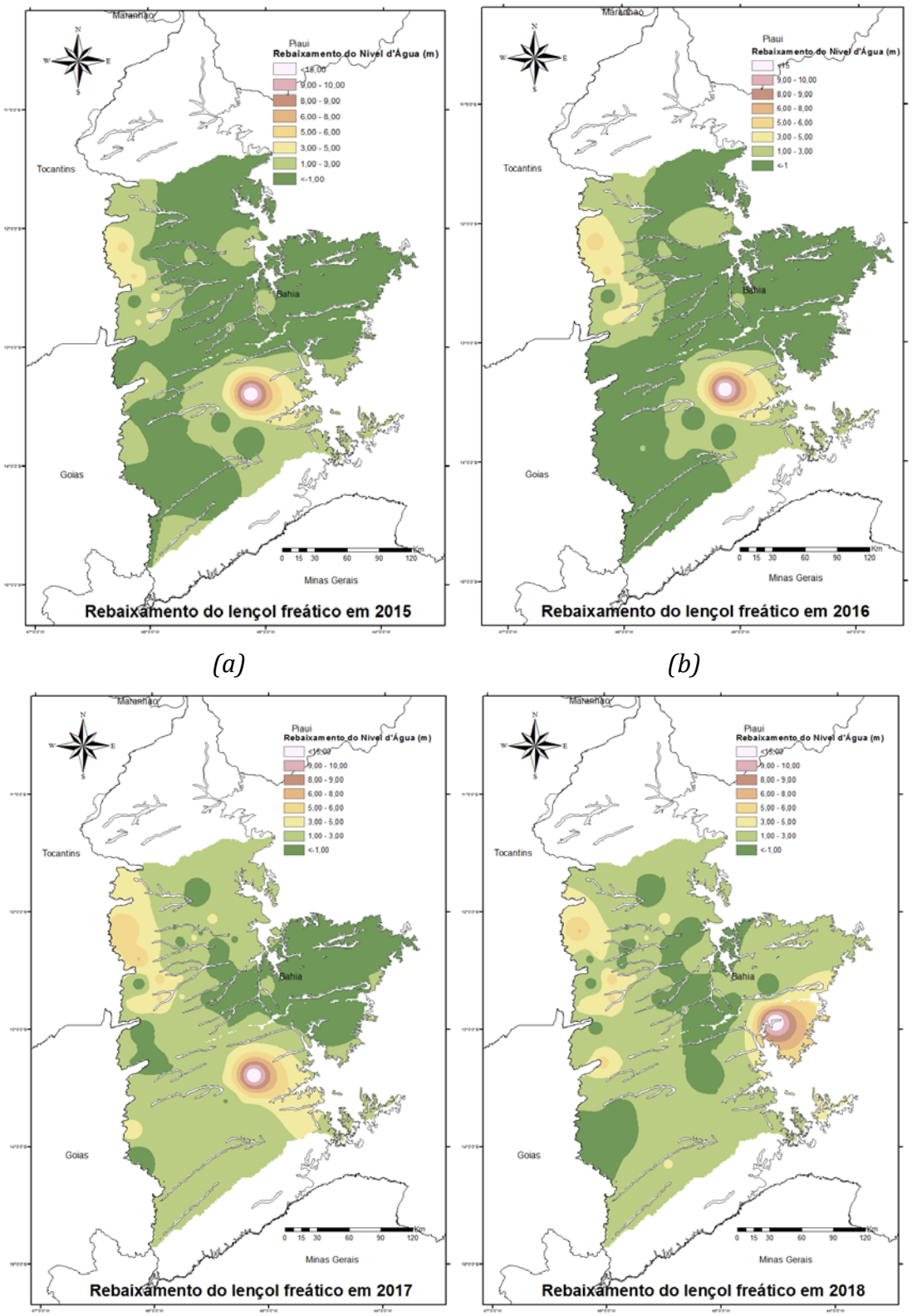
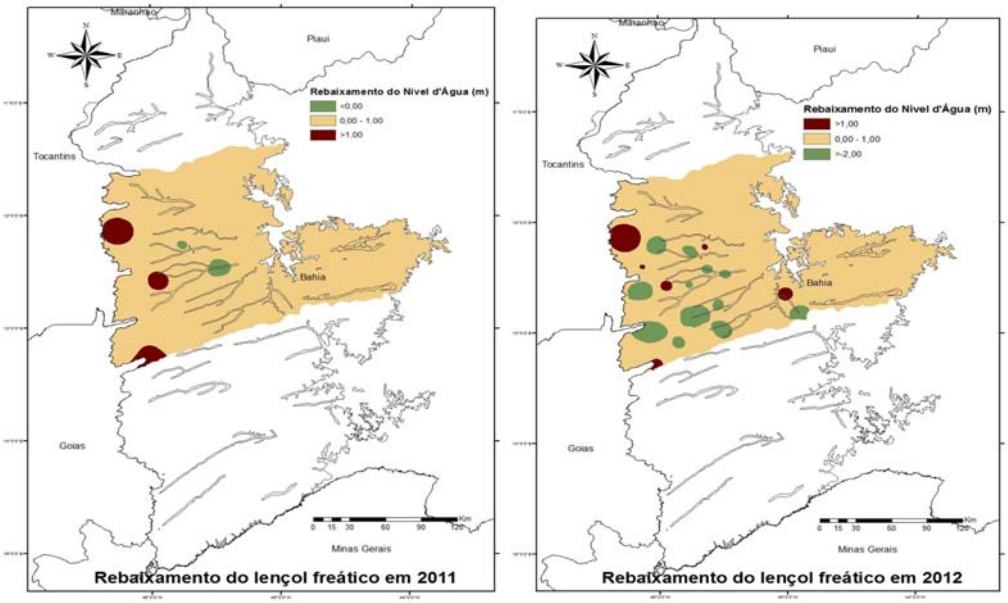
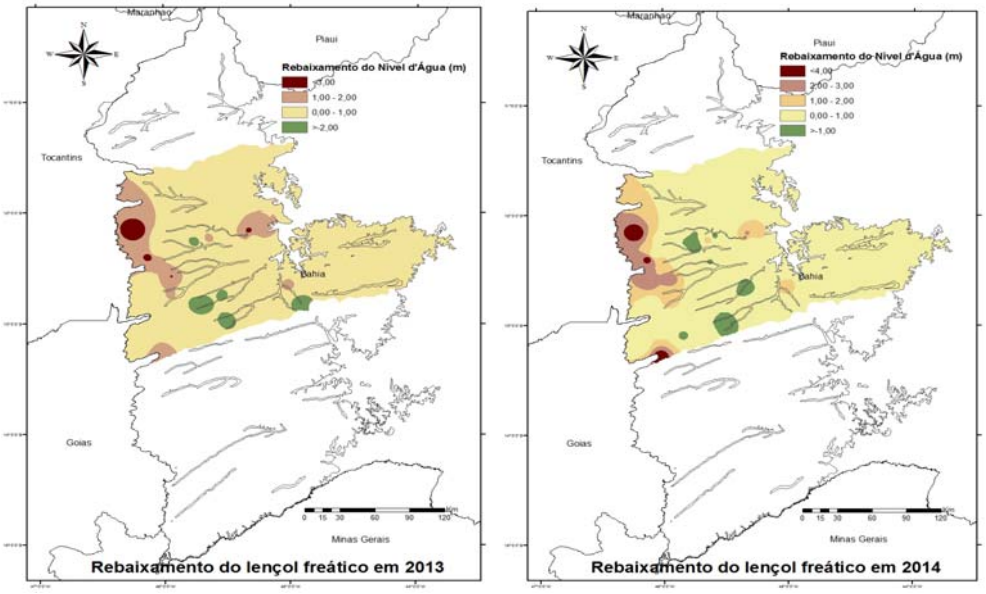


Figura 7 – Rebaixamento do lençol freático observado na sub-bacia dos rios Correntes e Alto rio Grande, para o período 2015 a 2018.

Já para a sub-bacia do alto Rio Grande, os dados de monitoramento permitem a análise em um período de tempo mais longo, entre 2011 e 2018, conforme se observa na Figura 7 (porção superior) e na *Figura 8*. Os dados de monitoramento mostram que no período de 2011 a 2013 houve pouca variação do NA. De 2014 a 2018, entretanto, um aumento progressivo do NA, em especial na porção oeste da sub-bacia, resultando, em 2018, em um rebaixamento de 6 m nas proximidades do limite oeste do SAU. Esse efeito é efeito do aumento do bombeamento de água devido ao aumento do número de pivôs de irrigação implantados na bacia no período considerado e, também, de mudanças climáticas, já que se observou uma redução da intensidade de chuvas nessa região em anos recentes, conforme detalhado no capítulo referente à análise de uso do solo no Oeste da Bahia.



(a) *(b)*



(a) *(b)*

Figura 8 - Rebaixamento do lençol freático observado na sub-bacia alto Rio Grande entre 2011 e 2014

2.6 Apresentação de todos os dados existentes

Os dados coletados em bancos públicos (SIAGAS, INEMA, CERB, CNARH) totalizaram 2305 poços. Contudo, foi necessário levar em consideração que as informações poderiam ter duplicidade, ou seja, alguns poços poderiam estar cadastrados em mais de um banco.

Com o intuito de remover os dados duplicados, a etapa subsequente do trabalho foi sua análise detalhada. As informações foram unificadas em uma única planilha e, em seguida, foram ordenadas com base nas coordenadas de localização de cada ponto, para facilitar a busca por poços ambíguos. Considerou-se que as coordenadas do mesmo poço poderiam variar alguns metros de uma base para outra, de acordo com a precisão de cada método de aquisição. Ciente disso, a busca não foi feita apenas por coordenadas exatamente iguais, mas também pelas próximas, tornando necessário observar os outros parâmetros.

Durante a verificação foram encontradas falhas, como divergência de informações entre as diferentes fontes e eventuais erros de digitação; e lacunas nas informações hidrogeológicas disponibilizadas. Os poços duplicados foram eliminados e as informações consolidadas.

Após a consolidação e consistência dos dados, foram contabilizados 1616 poços cadastrados. Desse total, apenas 259 poços têm informações completas, incluindo: profundidade, vazão requerida, vazão de estabilização, níveis estático e dinâmico. Para uma avaliação quantitativa e qualitativa dos dados foram gerados gráficos, quadros e mapas que possibilitaram melhor visualização e interpretação. O Quadro 2 informa o total do número de dados disponíveis de cada parâmetro.

Quadro 2 - Quantificação de dados disponíveis de cada parâmetro, para o conjunto de dados do SIAGAS, do INEMA, da CERB e do CNARH

TOTAL DE PONTOS UTILIZADOS	**1616**
FINALIDADE DO USO	1141
PROFUNDIDADE	1116
NÍVEL ESTÁTICO	907
NÍVEL DINÂMICO	708
VAZÃO APÓS ESTABILIZAÇÃO	767
VAZÃO REQUERIDA	841

Foram localizados 1116 registros sobre profundidade dos poços. Esses valores atingem, em casos extraordinários, até 400 metros. Entretanto, como pode ser observado no gráfico da Figura 9, predominam poços com profundidade entre 80 e 120 metros.

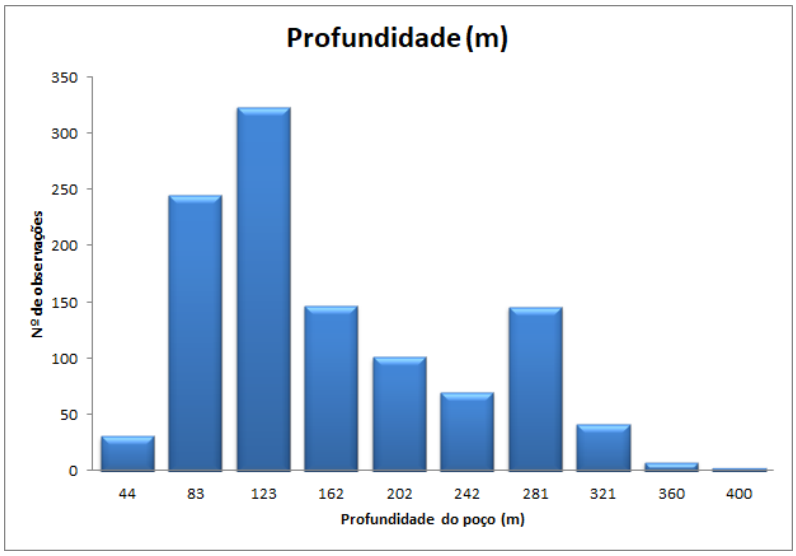


Figura 9 – Gráfico de frequência com a distribuição da variável profundidade.

A finalidade de uso da água subterrânea foi outro parâmetro analisado e, dos 1616 poços cadastrados, apenas 1141 (70%) especificam o tipo de uso da água. O gráfico da *Figura 10* representa a distribuição percentual do uso declarado.

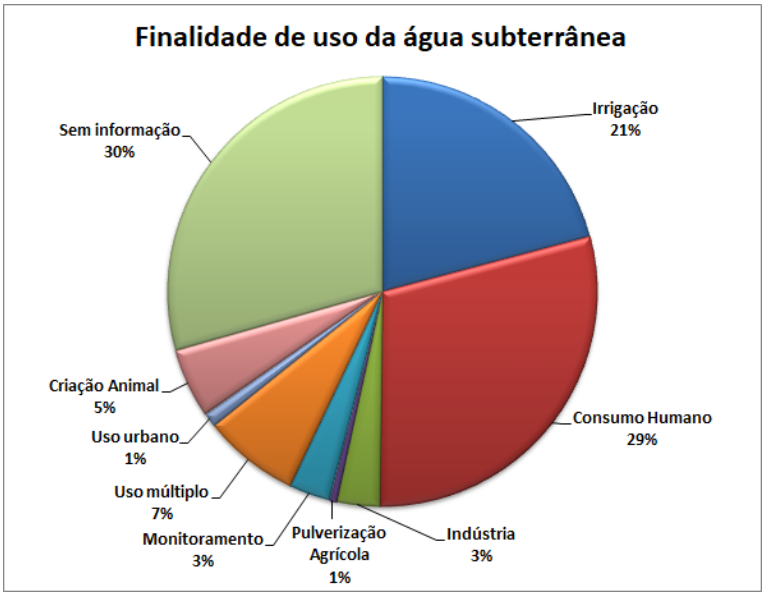


Figura 10 – Gráfico de setores representando a finalidade de uso da água.

Outros atributos coletados foram os níveis estáticos e dinâmicos e as vazões de estabilização e requerida dos poços. Dos 841 dados coletados referentes à vazão requerida, mais de 500 apresentavam valores inferiores a 100 m³/dia e apenas 250 ultrapassavam esse valor. Os poços com vazões de até 100 m³/dia foram representados no gráfico da *Figura 11*. Já a frequência de poços nos quais foram requeridas vazões maiores que 100 m³/dia, pode ser observada no gráfico da *Figura 12*.

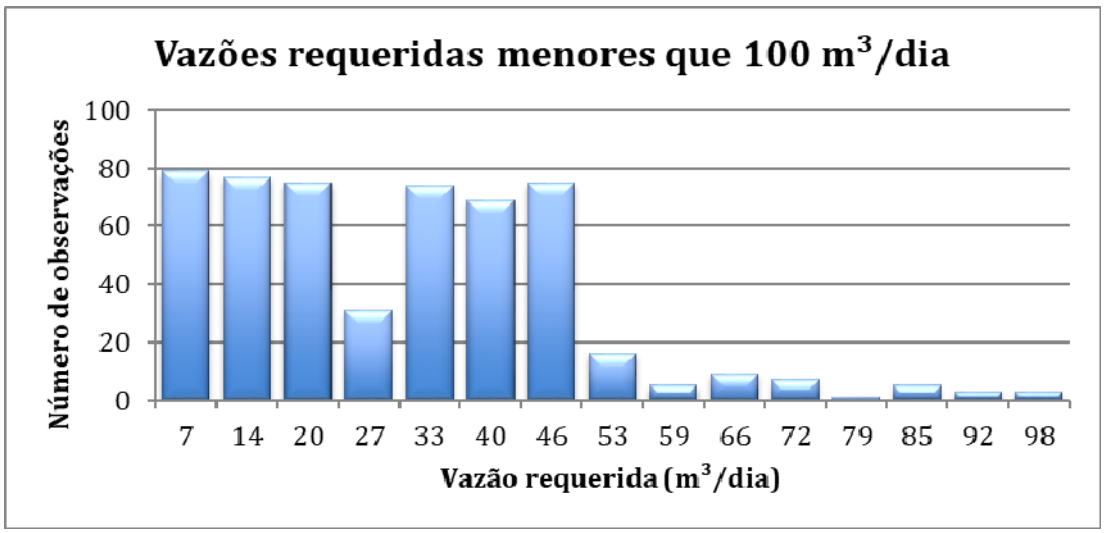


Figura 11 – Número de poços com vazão requerida inferior à 100 m^3/dia.

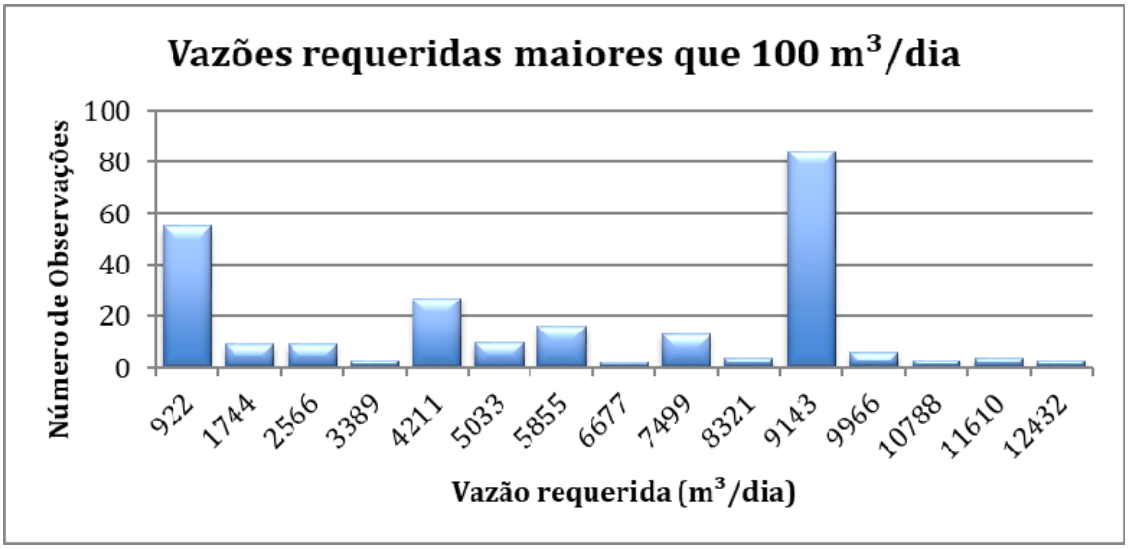


Figura 12 – Número de poços com vazão superior à 100m^3/dia.

As informações dos níveis estáticos estão disponíveis em 907 pontos e os valores chegam a 250 metros, no entanto a maioria dos registros ocorre na faixa de 50 metros de profundidade. A correlação desses dados com o Modelo Digital de Elevação, obtido a partir do SRTM, permitiu a elaboração do mapa potenciométrico, mostrado na *Figura 13*, no *Software* ArcGIS, através da *krigagem*, um método de interpolação de dados geoespaciais.

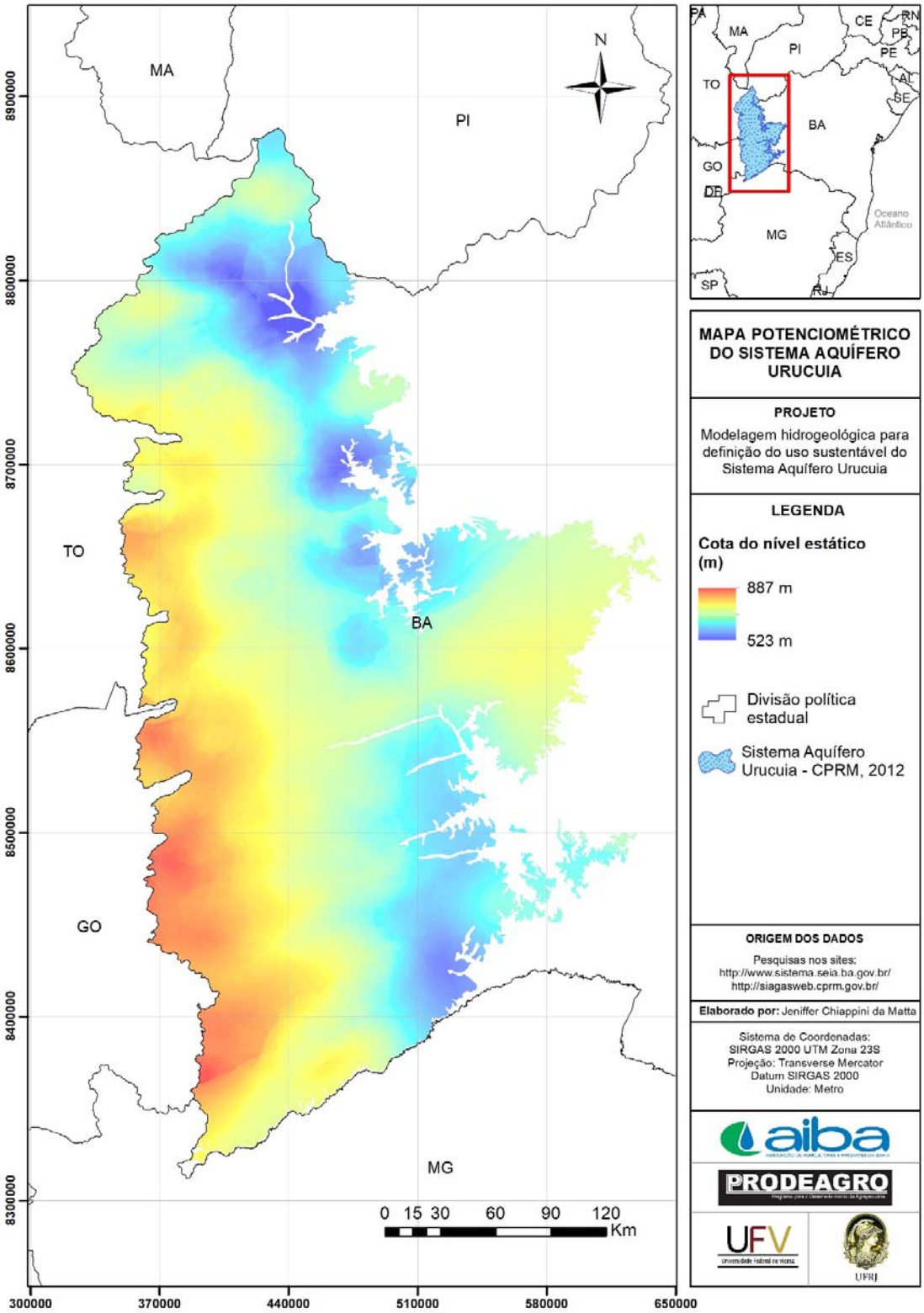


Figura 13 – Mapa potenciométrico do SAU na Bahia.

2.7 Discussão dos resultados

A confecção do banco de dados e o acesso obtido nas bases de dados públicas complementadas pelo trabalho de campo da equipe de geologia e hidrogeologia expôs as deficiências de dados sobre águas subterrâneas existentes na área do estudo, em que pese os importantes esforços realizados recentemente pelos entes governamentais e seus representantes, particularmente o Serviço Geológico Brasileiro (CPRM) e, no estado da Bahia, o INEMA.

A distribuição dos pontos de medições de nível piezométrico (potenciometria) é relativamente regular na maior parte da área do SAU na Bahia, ainda que com a presença de áreas bastante importantes com notória escassez de informações na bacia do Carinhanha e no Médio Grande, principalmente nesta última. Desse modo, a elaboração de mapas com informações potenciométricas do SAU foi possível com razoável resolução.

O estabelecimento da espessura do SAU e de suas subunidades, contudo, foi muito mais difícil de estabelecer. Isso ocorreu devido a dois motivos:

1. com relação à base do SAU, às escassas informações disponíveis sobre a base das unidades, devido à grande profundidade desse corpo hídrico, já que raramente os poços atingem o embasamento do aquífero; e
2. ao fato de que os limites entre a Fm. Serra das Araras e a Fm. Posse serem de difícil estabelecimento em poços de água particulares, nos quais não há uma preocupação maior em estabelecer a estratigrafia regional. Assim, contou-se com os escassos poços estratigráficos existentes e os levantamentos geofísicos realizados nos últimos anos no sistema aquífero.

Não obstante, algumas informações novas – com relação ao último informe mais abrangente sobre o SAU (ANA, 2017) - serviram para aperfeiçoar o modelo conceitual do Sistema. Ressalta-se, entretanto, que ainda há muitas incertezas associadas à espessura do SAU.

3 Características Geológicas e Modelo Geológico Conceitual

A área de estudo compreende duas sequências geológicas principais: a sequência meso a neoproterozoica do Supergrupo São Francisco (Neoproterozoico); e a designada como Bacia Sanfranciscana, sequência de sedimentos fanerozoicos da Sub-bacia Urucuia que sobrepõe a sequência anterior (Campos e Dardenne, 1997).

Os sedimentos cretáceos da Sub-bacia Urucuia, designados como Grupos Urucuia (Neocretáceo) e Areado (Eocretáceo), distribuem-se amplamente pelos Estados da Bahia (53%) e Minas Gerais (29%) e também em Tocantins (12%), Piauí (3%), Maranhão (2%) e Goiás (1%). A bacia como um todo possui um comprimento com eixo aproximadamente Norte-Sul de mais de 1000 km e largura de até 250 km (ANA, 2017).

Os sedimentos da Bacia Sanfranciscana estão assentados principalmente sobre rochas do embasamento proterozoico do Supergrupo Espinhaço e dos Grupos Arai, Paranoá, Macaúbas e Bambuí, sobre faixas atribuídas ao embasamento granito-gnáissico na porção centro-norte da bacia e sobre sedimentos paleozoicos (grupo Balsas e Serra Grande) e mesozoicos (formações Sambaíba e Mosquito) da Bacia do Parnaíba na porção norte (ANA, 2017). Capeando a sequência há sedimentos cenozoicos constituídos por coberturas arenosas

inconsolidadas da Formação Chapadão, composta por material eluvionar, coluvionar e aluvionar (Campos e Dardenne, 1997a).

Desse modo, as unidades litoestratigráficas que compõem o SAU são, da base para o topo:

- ✓ Embasamento Cristalino, formado por rochas granito-gnáissicas;
- ✓ Grupo Bambuí, formados por calcários cinza escuros a negros;
- ✓ Grupo Urucuia, composto por duas formações: Posse (inferior), constituída por arenitos eólicos, finos a médios, com grãos de quartzo subarredondados a arredondados e estratificações cruzadas de grande porte; e Serra das Araras (superior), composta arenitos brancos, amarelados e avermelhados, argilitos e conglomerados, de origem fluvial, silicificada, com espessura entre 80-150m (Schuster, 2002);
- ✓ Coberturas Aluvionares, de idade Quaternária, compostas por areias, cascalho, silte e argila, de coloração cinza escuro e claro, que ocorrem ocupando as calhas das drenagens principais.

O SAU limita-se a Leste com o Grupo Bambuí e à Oeste com rochas do Complexo Cristalino (Embasamento). Na *Figura 14* são apresentadas duas seções geológicas esquemáticas produzidas por Bonfim e Gomes (2004), mostrando a variação de espessura e do substrato do aquífero Urucuia; enquanto na *Figura 15*, elaborada por Barbosa (2016), apresenta-se um bloco-diagrama geológico típico do Grupo Urucuia.

Da observação da *Figura 14* e da *Figura 15* e com base em dados bibliográficos obtidos no âmbito do presente estudo, um importante aspecto a ser destacado refere-se à elevada variação considerada por diversos autores em relação à espessura do SAU. No estudo realizado pela ANA (2017), e que foram utilizados na elaboração do modelo numérico por essa agência, as espessuras definidas foram sempre inferiores àquelas encontradas e descritas por diversos outros autores (*Figura 16*).

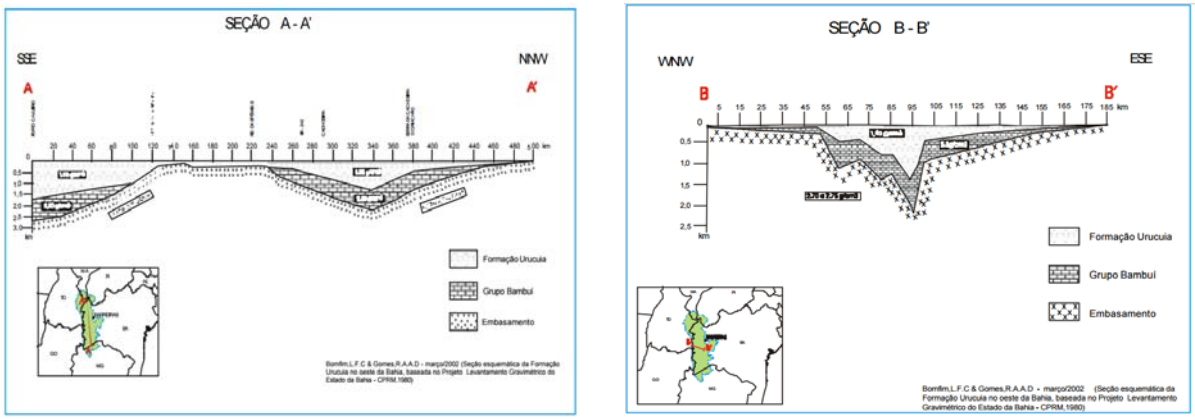


Figura 14 – Seções esquemáticas N-S (A-A') e WNW – ESE (B-B') do Aquífero Urucuia (Bonfim e Gomes, 2004).

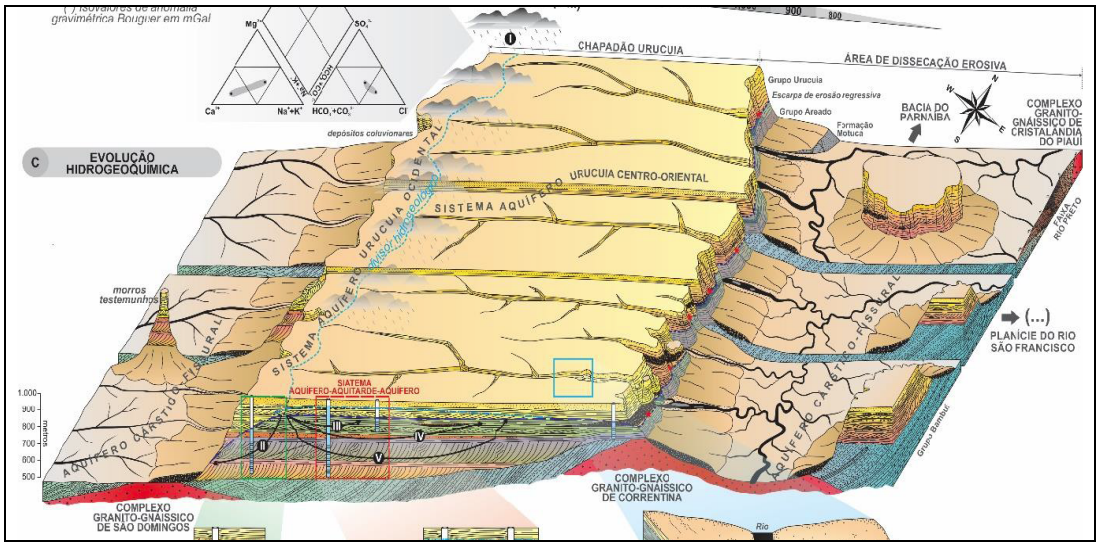


Figura 15 – Modelo hidrogeológico esquemático da região de ocorrência do SAU no estado da Bahia elaborado por Barbosa (2016).

Além da diferença dos resultados em função do uso de diferentes métodos geofísicos, deve-se considerar que vários estudos anteriores obtiveram valores de espessura do SAU maiores do que aqueles obtidos no estudo da ANA (2017).

Lima (2000) realizou um estudo da bacia do rio do Cachorro, no qual foram executadas 50 sondagens elétricas verticais (SEV) e ensaios de polarização induzida no domínio do tempo (IP) e que permitiram definir uma espessura saturada do SAU variável entre 180 e 400 metros. Tschiedel (2004), em estudo relacionado à tectônica na sub-bacia do Urucuia utilizou dados de sondagem eletromagnética no domínio do tempo (TDEM) para levantamento de dois perfis regionais no Oeste Baiano. Os resultados obtidos mostraram espessuras do Grupo Urucuia variando entre 300 e 720 metros.

Amorim Jr (2003) e Amorim Jr e Lima (2007), utilizando-se das mesmas técnicas geofísicas utilizadas por Lima (2000) na bacia do rio das Fêmeas, encontraram valores de espessura não saturada superiores a 200 m, além de terem observado uma redução da zona saturada, no sentido oeste-leste, de 450 a pouco mais de 100 metros. Gaspar (2006), também com base em técnicas geofísicas (TDEM) encontrou espessuras do Grupo Urucuia, também variando no sentido leste-oeste, de 50-100 metros até 600 metros na porção sul da sub-bacia do Urucuia.

O estudo patrocinado pela ANA (2017), com base em dados TDEM encontrou espessuras predominantemente entre < 50m e 150m para a maior parte do SAU, com espessuras de até 350m nas proximidades de Luís Eduardo Magalhães. As SEVs realizadas no mesmo estudo da ANA também resultaram em espessuras semelhantes (*Figura 16*).

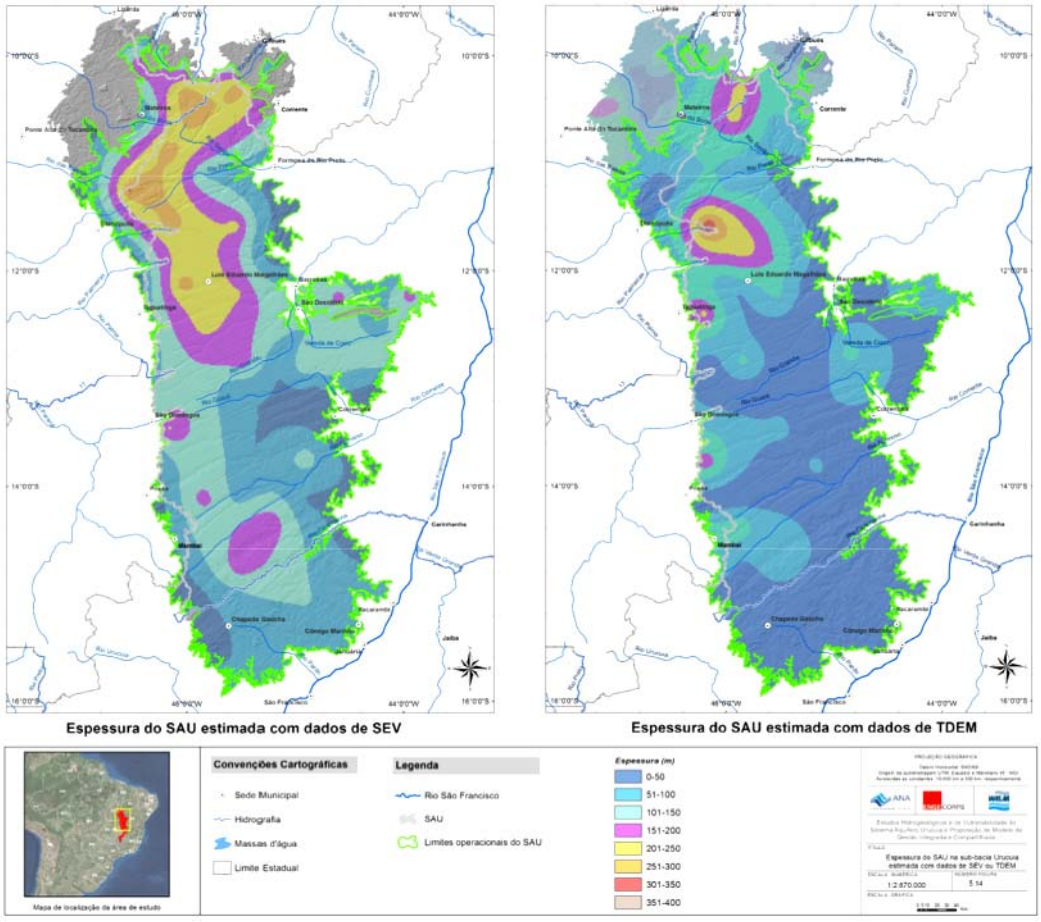


Figura 16 – Espessura estimada do SAU na sub-bacia Urucuia com base em dados geofísicos (SEV e TDEM) (ANA, 2017).

3.1 Aspectos Geológicos

O SAU é composto por rochas sedimentares clásticas granulares, definidos definidas como arenitos. Sendo assim, a formação geológica do Grupo Urucuia é subdividida em duas unidades areníticas: Formação Posse e Serra das Araras, cuja área de afloramento é mostrada na *Figura 17*.

Inicialmente, alguns autores, como Rego (1926), Domingues (1947) e Silva (1987) sugeriram o Grupo Urucuia como sendo formado por apenas uma formação composta por arenitos vermelhos de ambiente eólico seco. Portanto, a parte superior (Fm. Serra das Araras) seria apenas uma fácies de ambiente fluvial e não uma unidade a parte. Posteriormente, houve uma divisão em duas unidades litoestratigráficas: a inferior, Formação Posse e a superior, Formação Serra das Araras (Campos e Dardenne, 1997a; Campos e Dardenne, 1999). A evolução da sedimentação foi subdividida em dois estágios deposicionais: sistema eólico seco e sistema fluvial entrelaçado.

Segundo Barbosa (2016), a depressão onde acumularam-se os sedimentos é reflexo da propagação dos esforços originados na abertura do Oceano Atlântico, durante a inversão nos campos de tensão no Albiano-Cenomaniano (i.e., distensivo-compressivo, mudança rifte-drifte). Os arenitos são encontrados em toda a bacia e consistem em grãos de quartzo essencialmente, com evidências de estruturas sedimentares deposicionais. Há presença de arenitos muito finos, finos, médios e grossos. As duas formações exibem essa litologia ao

olho nu (no afloramento e amostra de mão). Contudo, os arenitos apresentam uma certa peculiaridade tanto nos grãos quanto na própria matriz, nesse caso o arcabouço da matriz em amostras e afloramentos. Essas duas características, associadas às estruturas sedimentares são fundamentais na identificação das duas unidades que compõem o grupo Urucuia. O fator cor não é suficiente para distinguir ou separar uma formação da outra, posto que essas unidades apresentam comumente as mesmas cores, com predomínio de vermelho.

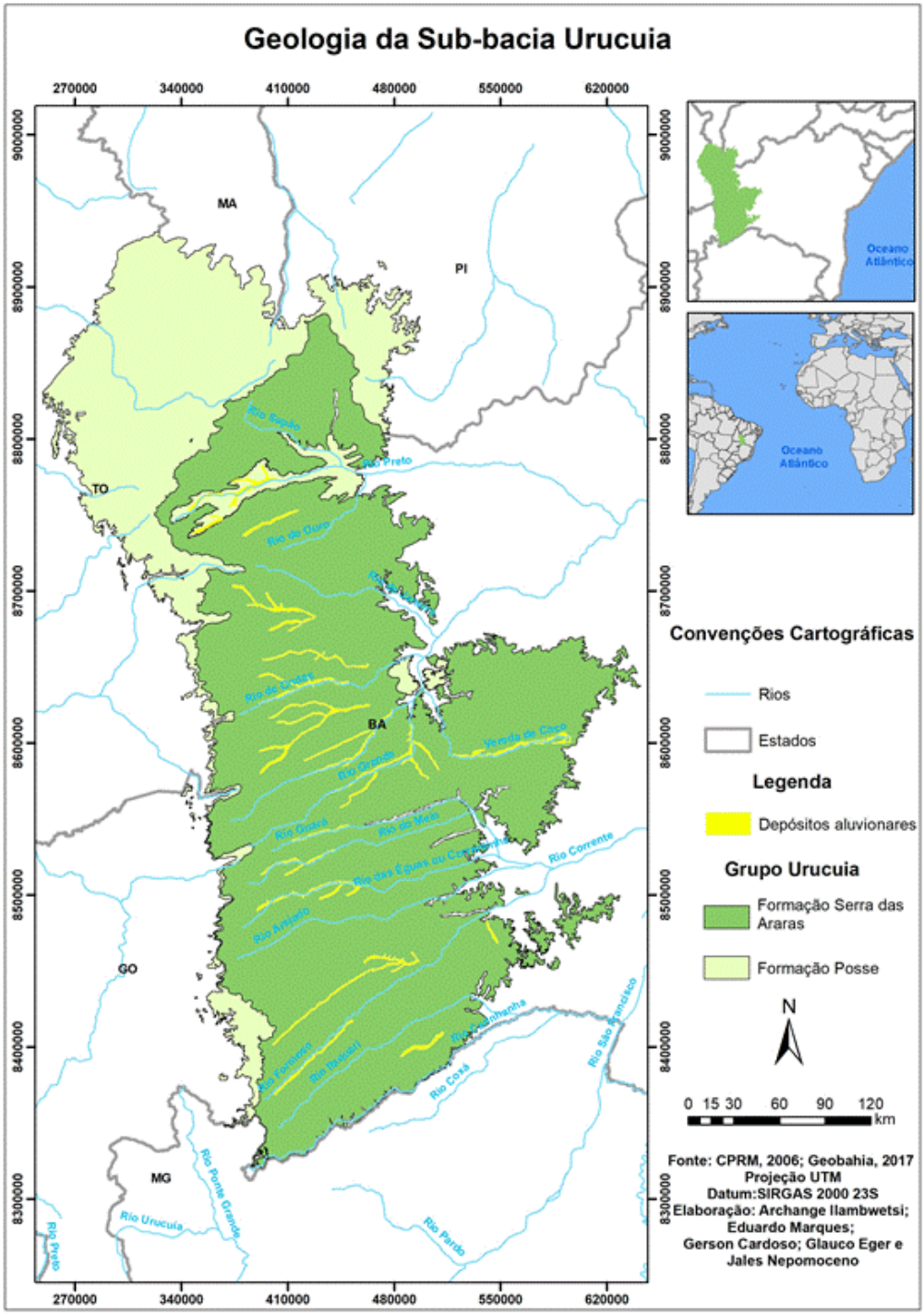


Figura 17 – Mapa de localização das unidades constituintes do Grupo Urucuia.

A Formação Posse aflora com considerável espessura nas escarpas localizadas na parte oeste da bacia e moderadamente em algumas serras nas proximidades de Barreiras. Consiste em arenitos finos a médios (porosos), bem selecionados e arredondados com presença de finas lâminas claras (argilas/silte) intercaladas. Foram observadas apenas duas fácies em campo; dunas e interdunas (*Figura 18* e *Figura 19*C e E). Esses arenitos mergulham para leste com uma inclinação variando em torno de 20°. Apresentam coloração de tom variando de vermelho a amarelo ocre. Observou-se nitidamente um bimodalismo nos afloramentos das escarpas (*Figura 19*A, B e D) sustentando, desse modo, que a Formação Posse é constituída por arenitos eólicos. Esses arenitos exibem estruturas sedimentares a saber, estratificação cruzada de médio à grande porte e laminação plana paralela, caracterizando assim o seu paleoambiente deposicional (*Figura 19*F e H). Ainda, foi possível observar e delimitar, nas regiões de escarpas, das duas unidades, como se ilustra na *Figura 19*G.

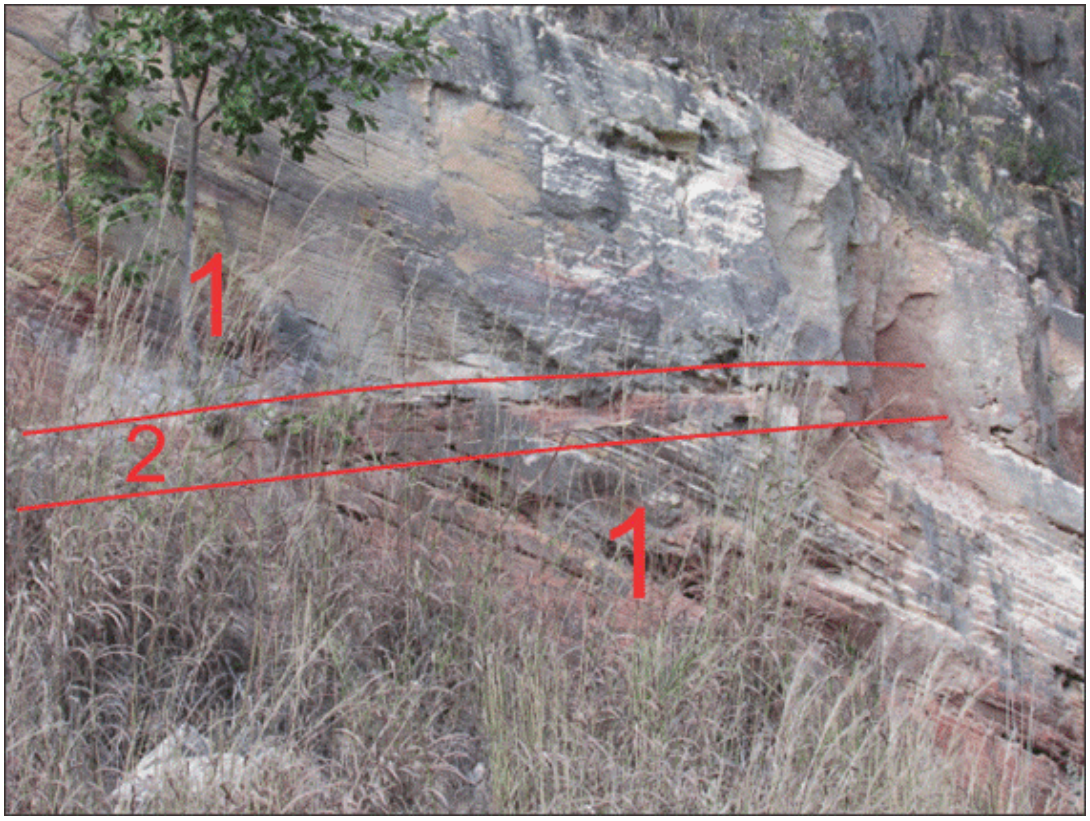


Figura 18 – Estruturas de estratificação cruzada acanalada de grande porte (dunas) e laminação plano-paralelo (interdunas) no afloramento da Formação Posse na BR – 242 em Tocantins.

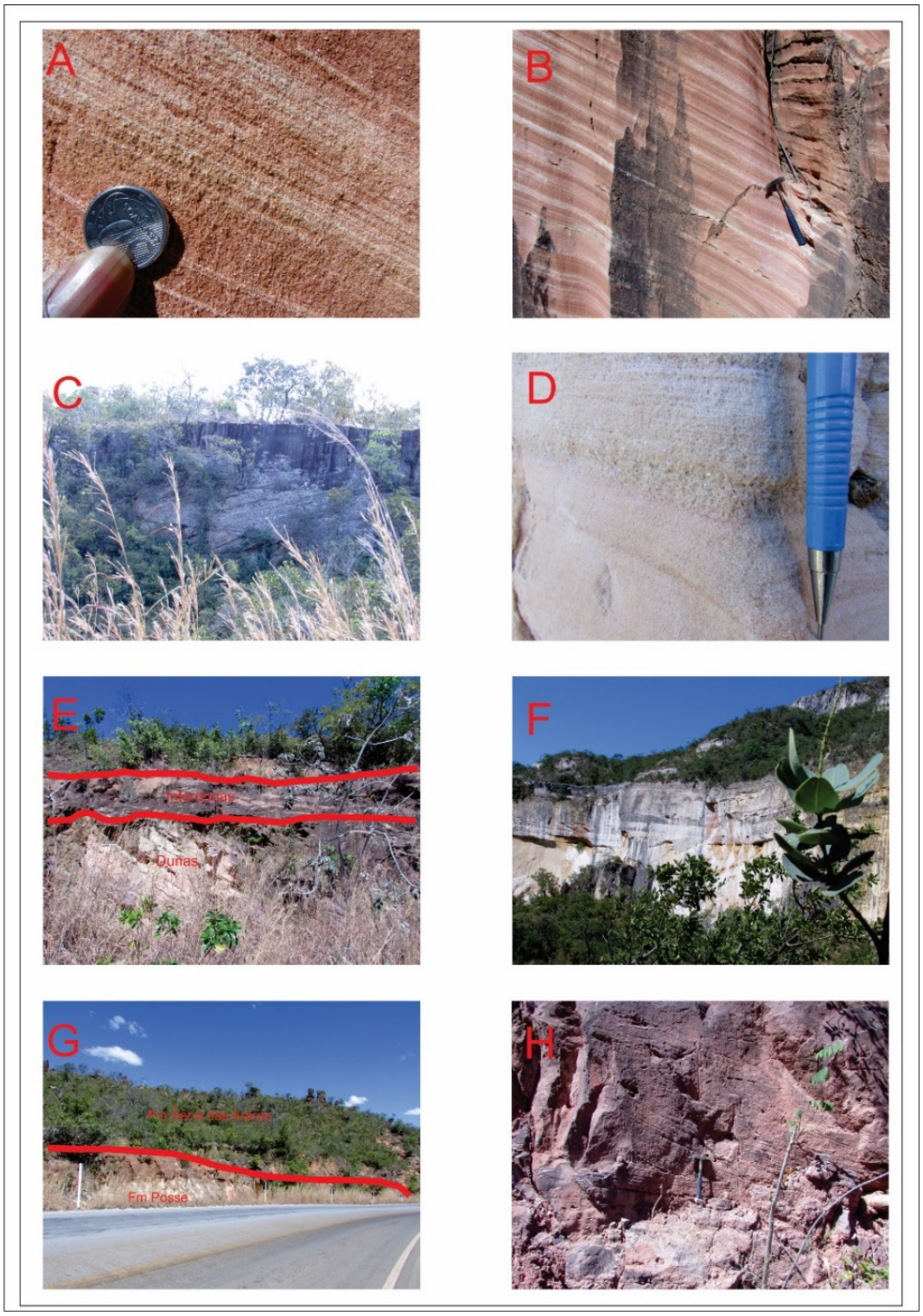


Figura 19 – Em (A) e (B) notar a ritmicidade e o bidomalismo do arenito da Fm. Posse na BR 242 no TO. Em (C) e (F) estratificação cruzada de grande porte e estruturas de campos de dunas características da Fm. Posse. Em (E) estruturas de dunas e interdunas na Fm. Posse. Em (G) delimitação litológica entre as formações Posse e Serra das Araras; (H) estruturas de dunas de porte médio na região da Garganta (Formoso do Rio Preto).

A Formação Serra das Araras compõe a unidade superior do Grupo Urucuia e aflora em todas as bacias do SAU. Consiste em arenitos médios a grossos, com seleção relativamente boa a moderada e grãos arredondados, por vezes recristalizados (silicificados). A laminação horizontal varia de incipiente a marcante, de porte regularmente pequeno (*Figura 20*C e F), originando-se por rápidos eventos de inundações regionais. Por muitas vezes, esses arenitos são friáveis devido à ação do intemperismo.

Os conglomerados, que apresentam formato lenticular com matriz areno-ferruginosa e clastos polimíticos, são fácies características e exclusivas da Fm. Serra das Araras. Exibem clastos sustentados e matriz sustentada com clastos angulares a arredondados variando de 5 mm a 10 cm (*Figura 20*A e B). São polimíticos e consistem essencialmente em clastos de arenitos, pelitos, alterações de feldspatos e óxidos de ferro (*Figura 20*H) em grande quantidade, conferindo-lhes uma coloração roxa e vermelha.

Os arenitos de matriz má selecionada são encontrados em quase toda bacia, principalmente nos topos das serras e nas quebras abruptas de relevo. Por vezes apresentam uma laminação horizontal e aspecto botrioidal, além de estratificação cruzada de pequeno porte. Os seus clastos consistem em quartzo, quartzito, óxidos de ferro, pelitos e carbonatos (raramente) (*Figura 20*G). Essas fácies variam de conglomerado mal selecionado clasto-suportado a matriz-suportado, que podem ser interpretadas como uma sedimentação de alta energia de canais efêmeros rasos (*wadis*) e até mesmo como retrabalhamento das litofácies subjacentes de arenitos médios a grossos (*Figura 20*A, B e G).

Os arenitos dessa formação exibem, por vezes, um comportamento maciço a laminado de areia fina, média e grossa com alguns contornos silicificados (*Figura 20*D). Essa unidade ocorre por completo na região de garganta (*Figura 20*E), no norte da área, onde é possível observar escarpas e seu contato com a Fm. Posses.

Alguns conglomerados são silicificados, ou seja, apresentam clastos de quartzos, arenitos a pelitos, porém observa-se que a matriz também é silicificada, como ilustra a *Figura 21*. Existem casos em que a rocha apresenta uma matriz arenítica variando de grossa, média e até fina apresentando, desse modo, uma laminação horizontal incipiente com clastos silicificados, como mostra a *Figura 22*.

Figura 20 – Em (A) e (B) fácies conglomeráticos ferruginosos, mal selecionados de clasto e matriz sustentados da Fm. Serra das Araras; em (C) arenitos variando de médios a grossos aproximadamente bem selecionados, com estratificação cruzada de pequeno porte, indicativo de um ambiente fluvial (Pedra da Baliza); (D) arenito grosso maciço de seleção regular com contornos silicificados; (E) escarpas vista da estrada que leva até Dionópolis (TO); (F) estratificação cruzada de pequeno porte em arenitos médios próximo ao aeroporto de Barreiras; (G) Conglomerado polimítico com cobertura ferruginosa e alteração por intemperismo; (H) lente de quartzo e pelito envolvidos por uma película de óxido de ferro.

Figura 21 – Conglomerado polimítico de matriz silicificada composto por clastos de quartzo, arenitos e pelitos.

Figura 22 – Arenito conglomerático constituído por clastos silicificados (silexito).

A silicificação é notada em várias posições estratigráficas e em níveis tabulares (de até 8 m) extensos e descontínuos. Inicialmente acreditava-se que estes níveis pudessem confinar a porção inferior da Fm. Serra das Araras e a Fm. Posse, mas, em função da sua não continuidade, há apenas porções localmente confinadas. Ocorre devido às condições ambientais pretéritas, que possibilitavam a dissolução da sílica na zona vadosa, dadas por: (i) baixa precipitação pluviométrica; (ii) pequena circulação das águas conatas; (iii) baixo pH (<4) e; (iv) temperaturas elevadas (>40°C). Já as condições de precipitação na zona saturada foram resultado da saturação das águas em sílica e das rápidas modificações do nível freático, o que proporcionou bruscas diminuições no Eh e na temperatura (Smale, 1973; Williams e Crerar, 1985; Williams *et al.*, 1985; Campos e Dardenne, 1999; in Barbosa, 2016).

Os arenitos silicificados ocorrem principalmente na Formação Serra das Araras (Figura 23), porém há registro (de acordo com algumas fichas técnicas de perfuração de poços) de alguns centímetros de arenitos silicificados na Formação Posse que, entretanto, não foram encontrados nos afloramentos dessa unidade em nenhum lugar da bacia.

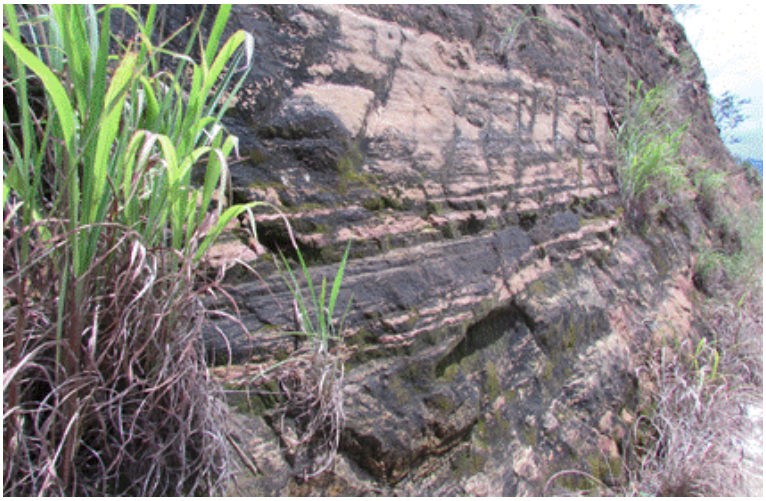


Figura 23 – Afloramento de arenito maciço da Formação Serra das Araras com bandas descontinuas de arenito vermelho silicificado (em vermelho).

Como produto final do levantamento dos aspectos geológicos do Sistema Aquífero Urucuia, elaborou-se um modelo geológico 3D, mostrado na qual é possível observar as principais unidades geológicas que ocorrem na região. Ressalta-se que o contato entre o Grupo Urucuia e o Grupo Bambuí, apresentado na *Figura 24*, foi inferido, já que não se tem informações precisas sobre o mesmo.

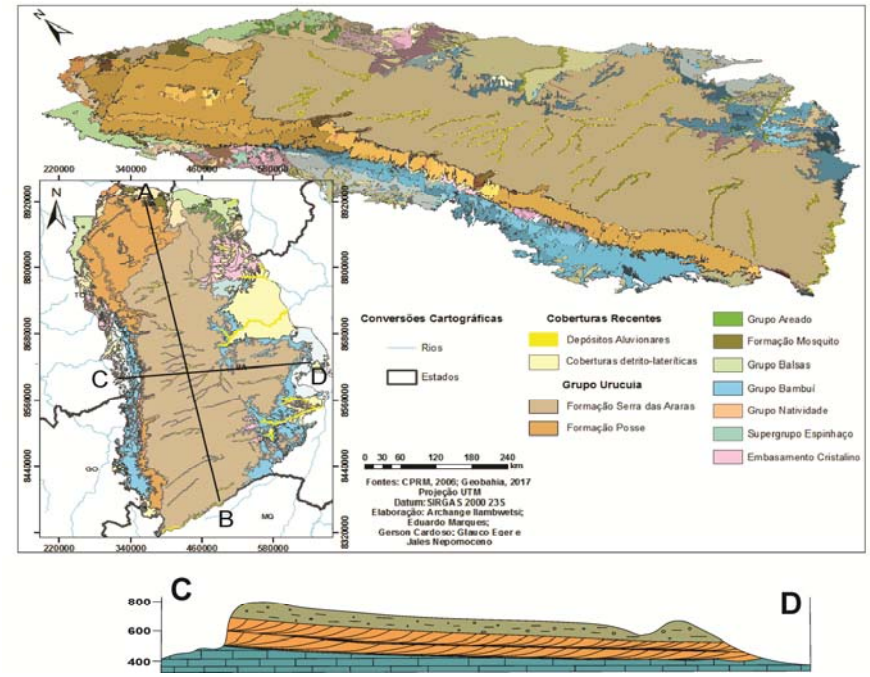


Figura 24 – Modelo geológico 3D da Bacia Urucuia (com base em CPRM, 2003).

3.2 Paleoambiente do SAU

A reconstrução do paleoambiente da Bacia Urucuia, ilustrada na *Figura 25*, caracteriza duas categorias de fácies que são registros fiéis das condições ambientais e geoclimáticas da região durante a formação das unidades geológicas, ou seja, os seus processos de deposição.

Na *Figura 25*A observam-se estruturas sedimentares de grande porte (estratificação cruzada de grande porte) geradas pela movimentação intensa do vento com formação de dunas, interdunas e lençóis arenosos secos. A configuração dessa fácies é governada por sedimentação eólica com estruturas sedimentares de grande porte conhecidas como estratificação cruzada acanalada (marcas de dunas); e uma zona entre dunas ou lençóis arenosos (interdunas).

A mudança no clima, com uma pequena contribuição de sedimentos aquosos e uma sensível elevação do nível de base é caracterizada na *Figura 25*B, que apresenta estratificação cruzada acanalada de médio porte devido à destruição de faces frontais de dunas por erosão. Essa fácies apresenta uma redução de espaço para acumulação de sedimentos.

A neutralidade da taxa de sedimentação eólica e a elevação considerável do nível de base dos oceanos favorecem uma erosão superficial do substrato que outrora era arenoso de ambiente eólico. A *Figura 25*C ilustra uma mudança climática de ambiente seco para úmido implicando numa deposição por desenvolvimento de leito (fluvial entrelaçado) com fácies arenosos de estruturas maciças de alta energia de fluxo, multiepisódicos e multilaterais.

Observa-se, nos afloramentos encontrados, que o contato entre o Grupo Urucuia e o Grupo Bambuí é do tipo erosivo discordante. Este fato exclui possibilidade de que essas duas unidades tenham sido depositadas e sedimentadas por processos e agentes de transporte absolutamente distintos. Sendo a primeira unidade, eólica (Grupo Urucuia) e sobreposta a uma unidade formada essencialmente por carbonatos (Grupo Bambuí), originária de ambiente seco de temperatura elevada com amplas áreas de acumulação de sedimentos causado pela abertura do Oceano Atlântico-sul com paleocorrentes de ventos indicando a direção NE – SW, como ilustra a *Figura 26*. Os campos de dunas formados erodiram-se em presença de umidades que caracterizaram uma eventual mudança climática. A franja capilar e nível freático que, até então, estavam abaixo da superfície deposicional; com o aumento de umidade e das erosões constantes, essas zonas tendem aproximar-se ou mesmo ultrapassar a superfície deposicional, caso de sedimentação em leito fluvial. Os sedimentos de fácies eólicos são totalmente permeáveis, incoesos, bem selecionados e esféricos.

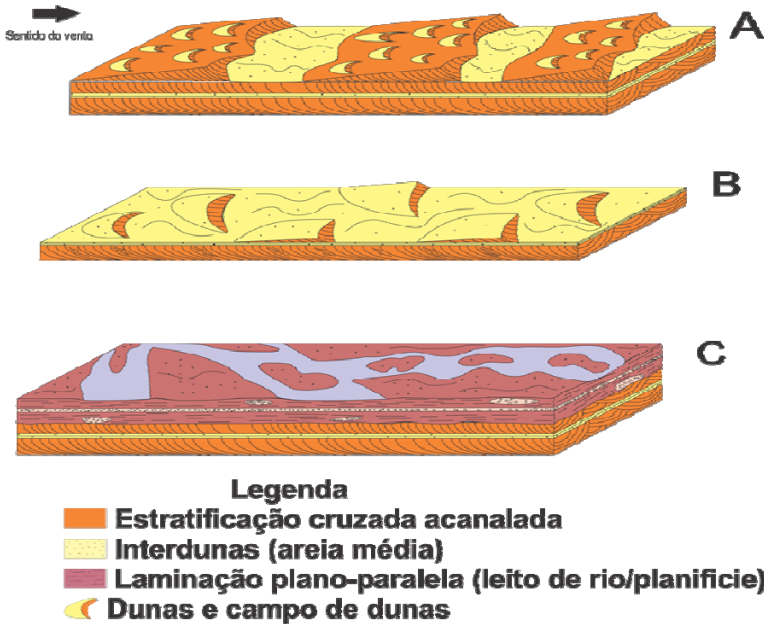


Figura 25 – Paleoambiente das duas unidades do Grupo Urucuia. A) campo de dunas, interdunas em sistema eólico seco; B) redução da área de acumulação sedimentar e mudança climática; c) ambiente fluvial entrelaçado, aumento da taxa de soerguimento.

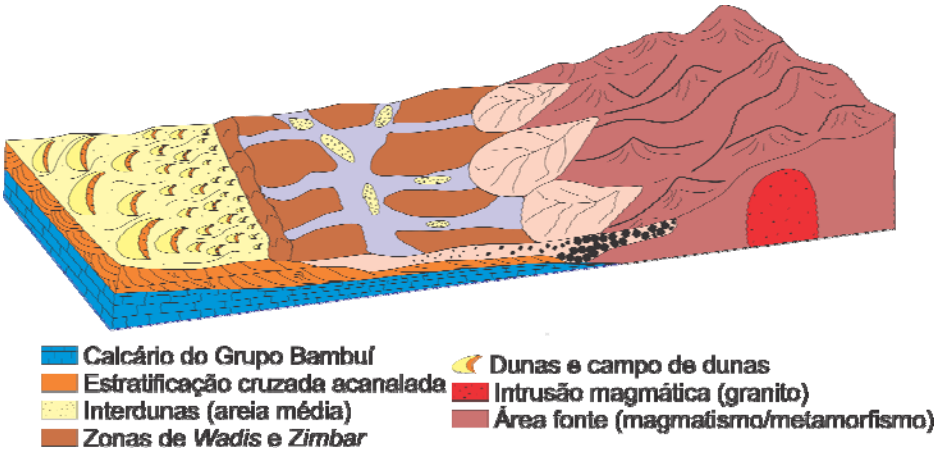


Figura 26 – Modelo deposicional conceitual da sedimentação da Bacia Urucuia.

3.3 Geologia estrutural

A bacia sedimentar Urucuia não apresenta nenhuma estrutura de evento tectônico deformacional aflorante, sendo que as únicas estruturas nela registradas, são sindeposicionais. Entretanto, as drenagens principais e secundárias apresentam um destacado padrão geométrico, o que sugere algum controle estrutural sobre as mesmas, através de sistemas de falhas e fraturas associados, de direção predominantemente NE-SW, provavelmente originadas por reativação de falhas do Grupo Bambuí, ocorrida no Terciário, que definiu esse padrão de drenagem retangular observado nos rios (Schuster, 2002).

As principais estruturas encontradas nos arenitos Urucuia são as estratificações acanaladas e/ou tabulares e alguns *slump*, que são estruturas de carga causadas por deslizamento de sedimentos relativamente úmidos A *Figura 27* ilustra melhor uma estrutura de *slump* em depósito eólico da Formação Posse.

Figura 27 – Estrutura do tipo slump no depósito eólico da Formação Posse em Tocantins (TO).

Geologicamente, as porções Norte e Oeste do aquífero são regiões com maiores concentrações de escarpas em que se pode, facilmente, observar uma diferenciação entre as unidades Posse e Serra das Araras. A Formação Posse, nessas regiões da bacia, aflora em grande proporção, gerando paredões de rochas que se estendem do Piauí ao extremo norte de Minas Gerais, bordeando todo o limite oeste do Estado da Bahia. Na *Figura 28* e *Figura 29* ilustram-se as estruturas sedimentares que foram registradas em afloramentos. Com os dados obtidos em campo das estruturas sedimentares, pode-se definir que os ventos que eram agentes de transporte dos sedimentos atuaram de nordeste (NE) para sudoeste (SW).

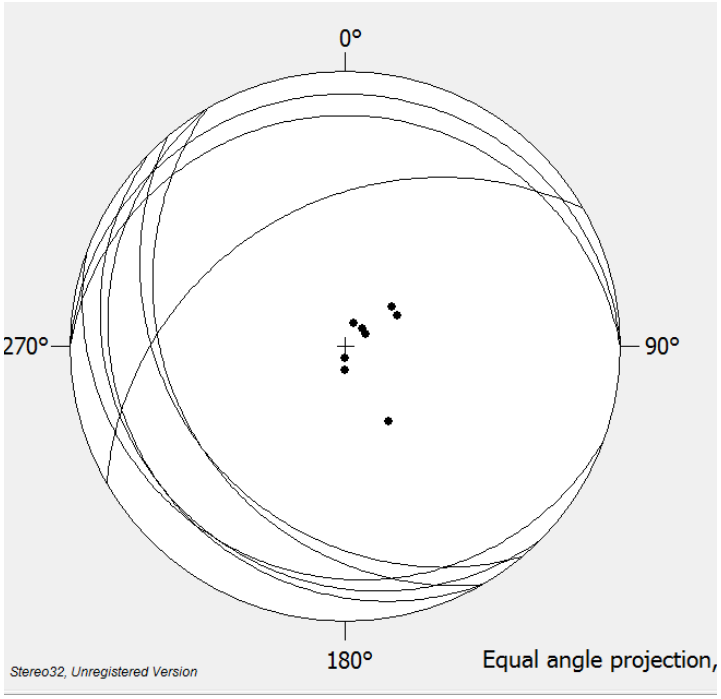


Figura 28 – Planos de estratificações cruzadas de grande porte (marcas de dunas) da Formação Posse nas regiões de escarpas (leste da bacia) e na região de Garganta (norte da bacia).

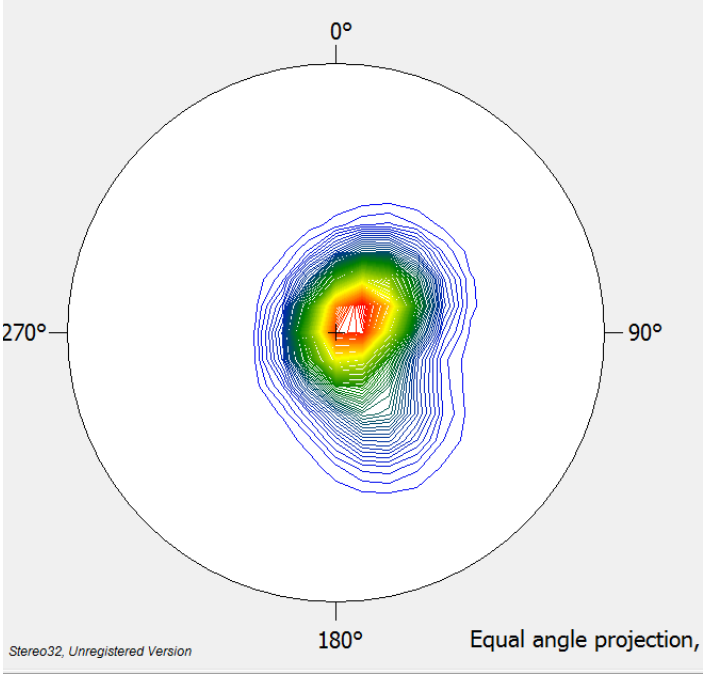


Figura 29 – Densidade das atitudes de cada estrutura de marca de ondas utilizada para indicar a tendência da direção do vento na época de sedimentação.

Faz-se necessário lembrar que a rede hidrográfica superficial do SAU tem uma direção aproximadamente WSW – ENE, sendo considerada como um dos mais importantes sistemas afluentes da margem esquerda do Rio São Francisco. Contudo, essa rede hidrográfica nem sempre manteve essa orientação, segundo Silva (1987), já que, antes do Terciário inferior, a Bacia Urucuia apresentava uma orientação para oeste e, portanto, a rede hidrográfica fluía para a bacia do Rio Tocantins.

Após o Terciário Inferior houve uma inversão dessa inclinação e desde então, as nascentes dos rios estão principalmente localizadas na porção oeste do SAU, próximo do limite da borda do "Chapadão do Urucuia", e os rios passaram a correr para a para parte leste da bacia (*Figura 30*), gerando um elevado entalhamento das drenagens.

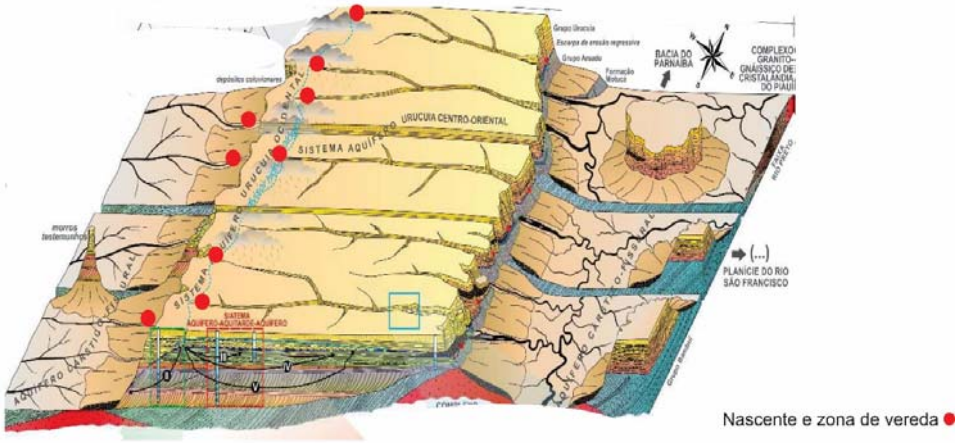


Figura 30 – Configuração e evolução estratigráfica da Bacia Urucuia associada às suas nascentes (Barbosa, 2016).

As nascentes são, muitas vezes, caracterizadas por veredas de vegetações completamente fechadas (*Figura 31*A, B, C, D, E, F e G) e bem preservadas em que os solos são úmidos. A vegetação fechada é dominada por palmeiras do tipo Buritis que, em conjunto com zonas de elevada umidade relativa do solo, são ótimas indicadoras de zona de veredas e, por consequência, de nascentes. A *Figura 31*F e a *Figura 32* ilustram nascentes com disponibilidade elevada de água.

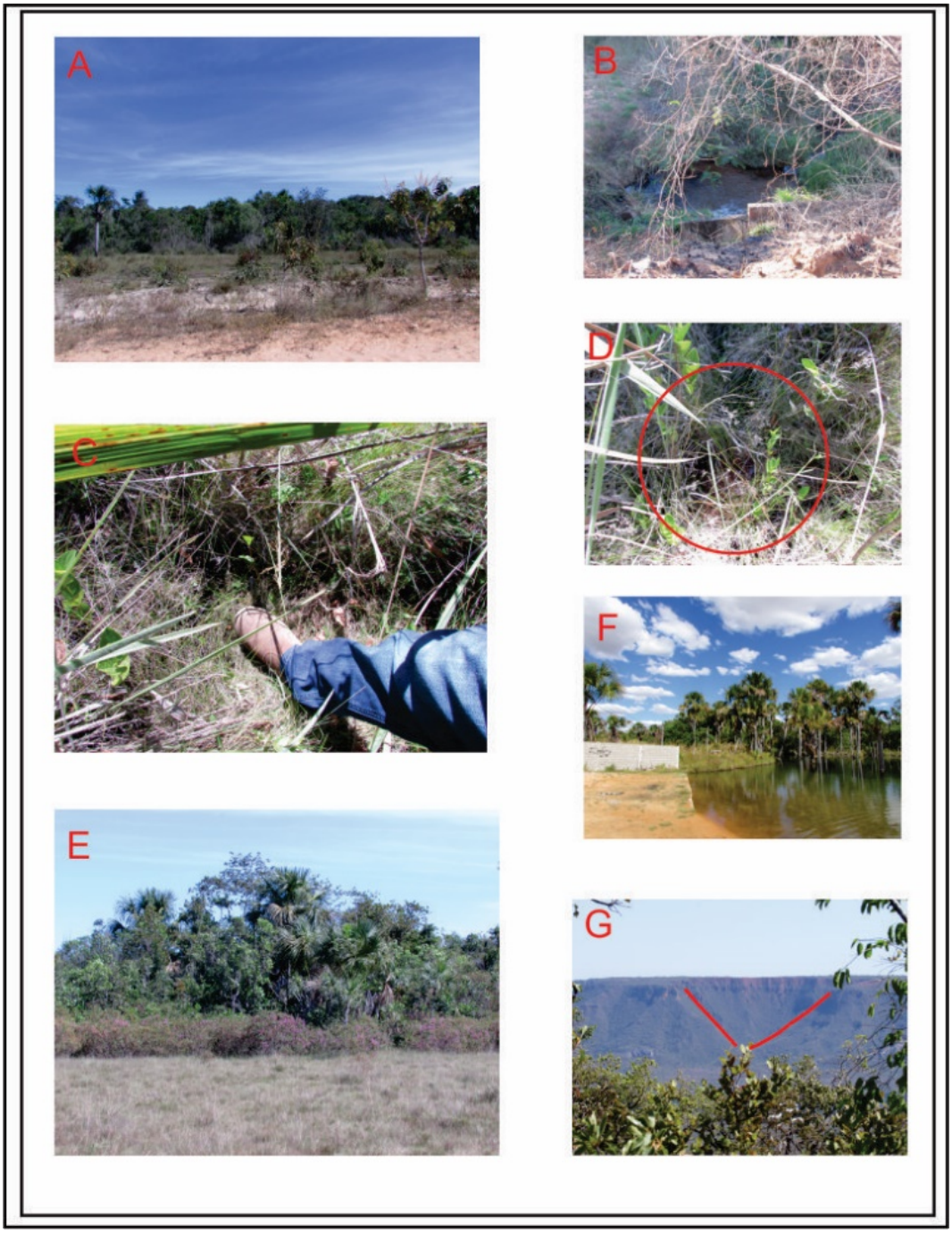


Figura 31 – Em (A), (B), (C), (D) e (E) detalhes da vegetação fechada e bem preservada dominada por palmeiras do tipo buritis e com uma elevada umidade relativa do solo; (F) presença claramente observável de água na nascente do Rio das Águas Quentes (GO); (G) caminho preferencial de água na região de Barreiras.

Figura 32 – Nascente do Rio Preto na região da "Garganta".

Durante o levantamento de campo, foi possível observar as nascentes dos rios e principais afluentes dos rios Preto (*Figura 32*), das Ondas, de Água Quente, Sapão, Grande e Mosquito. Os rios que fluíam no sentido da bacia do Rio Tocantins têm as suas nascentes na base das escarpas que fazem divisa entre os estados de Tocantins e Bahia e apresentam as mesmas configurações que as nascentes observadas na Bahia, mudando-se apenas o sentido de fluxo e as cotas altimétricas (*Figura 30*).

Na *Figura 33* apresenta-se uma representação esquemática da relação água superficial x água subterrânea, com base no que foi observado em campo. Na foto da *Figura 33* apresenta-se um exemplo real dessa interação.

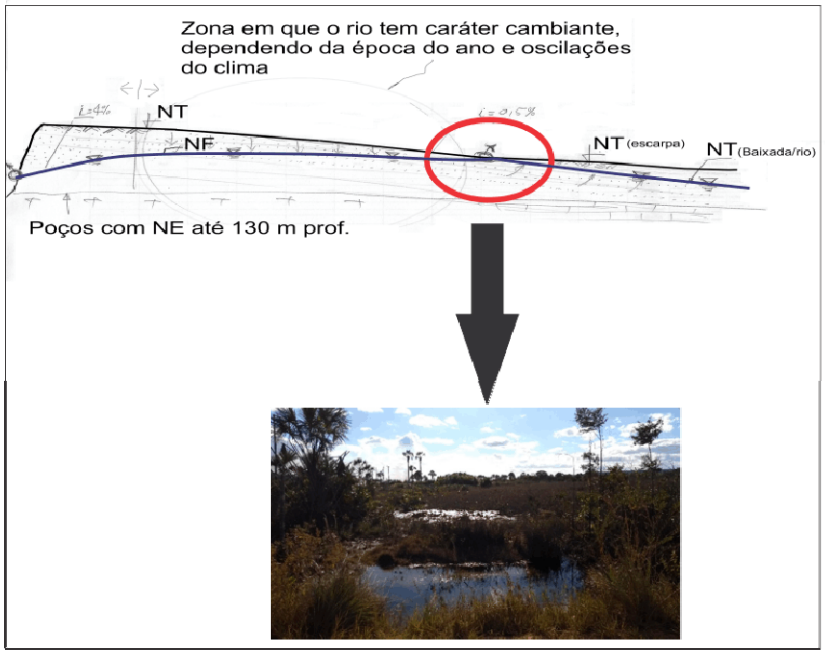


Figura 33 – Relação água aquífero e água superficial.

4 Análise e Discussão de Parâmetros Hidráulicos do SAU

4.1 Resultados de Testes de Bombeamento Realizados no Estudo

Visando o levantamento de parâmetros hidrogeológicos do aquífero Urucuia (transmissividade, condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento) para subsidiar o modelo hidrogeológico numérico, foram executados testes de bombeamento e testes de aquífero em poços distribuídos em diferentes regiões do SAU.

Há alguns requisitos básicos para executar um teste de aquífero que possibilite a obtenção mais fidedigna dos parâmetros hidráulicos. Assim, são necessários ao menos dois poços, um de bombeamento (PB) e um ou mais poços de observação, ou piezômetro (PO), disposto(s) a uma distância conhecida do PB. O teste consiste em bombear o PB à uma vazão constante e acompanhar o rebaixamento produzido no(s) PO(s), por um período que pode variar de 12h à 72h (Figura 34). Nos testes executados durante as campanhas de campo na área de estudo, o período máximo de bombeamento variou de acordo com as possibilidades operacionais das fazendas e unidades de produção, pelos motivos que serão expostos a seguir.

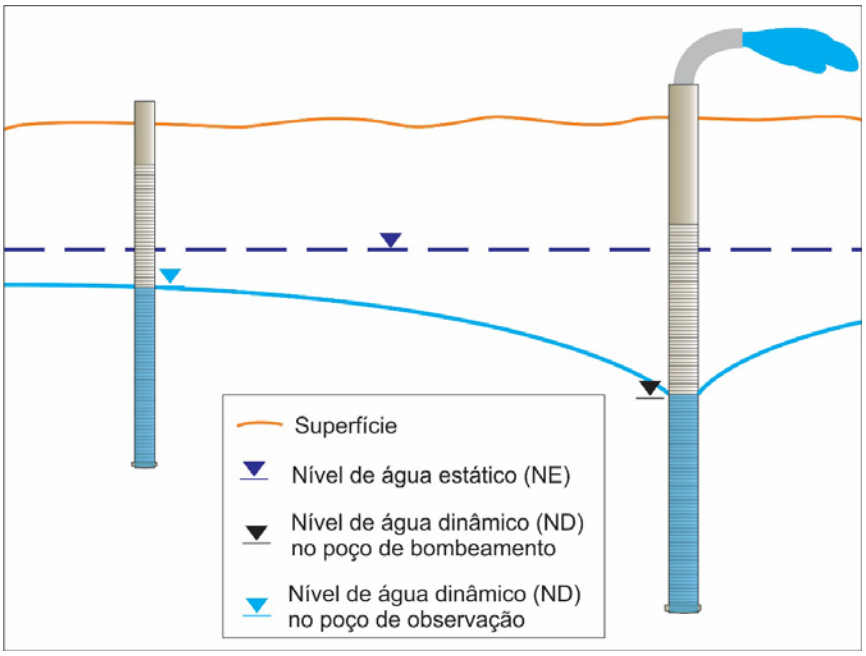


Figura 34 – Croqui esquemático do teste de aquífero.

Para as campanhas de campo foi feita uma seleção de áreas de interesse e de fazendas com potencial para realização dos testes, com base nos seguintes critérios:

1) Distribuição de pontos de forma mais abrangente possível nas bacias estudadas (Rio Grande, Corrente e Carinhanha);
2) Fazendas que possuíam poços com vazões mais elevadas (>100m^3); e
3) Pontos que priorizassem áreas mais carentes de informações.

A comunicação inicial com as fazendas foi realizada pelos técnicos da AIBA (Associação dos Agricultores e Irrigantes da Bahia). Ressalta-se que, durante as tentativas de contato, foram encontrados alguns problemas, como: ausência de poços piezométricos

instalados nas proximidades dos poços de bombeamento; ausência de variação do nível de água no poço de monitoramento durante a execução de todo o teste; e até a não autorização de alguns proprietários para a execução do teste em algumas propriedades, em função dos elevados custos de energia elétrica para manter as bombas ligadas durante a época de chuvas ou fora dos períodos de menor preço, ou em função da necessidade de se desligar as bombas durante a fase de recuperação do teste de bombeamento, no período de irrigação (seca).

Durante a campanha de campo outros empecilhos prejudicaram a realização dos testes em vários pontos selecionados, tais como: poços de observação distantes dos poços de bombeamento (>300m de distância entre poços); poços de observação obstruídos e fatores climáticos, já que em razão das intensas chuvas que caíram na região durante o período em que as campanhas foram realizadas, alguns produtores não autorizaram o uso dos poços para bombeamento em função dos elevados custos de energia.

Pelos problemas supracitados, em apenas 14 pontos distribuídos pela região do estudo foi possível realizar os testes e em apenas 9 foi possível verificar a interferência do bombeamento no piezômetro (*Figura 35*). A ausência de interferência pode ter sido causada por problemas construtivos ou de manutenção dos piezômetros.

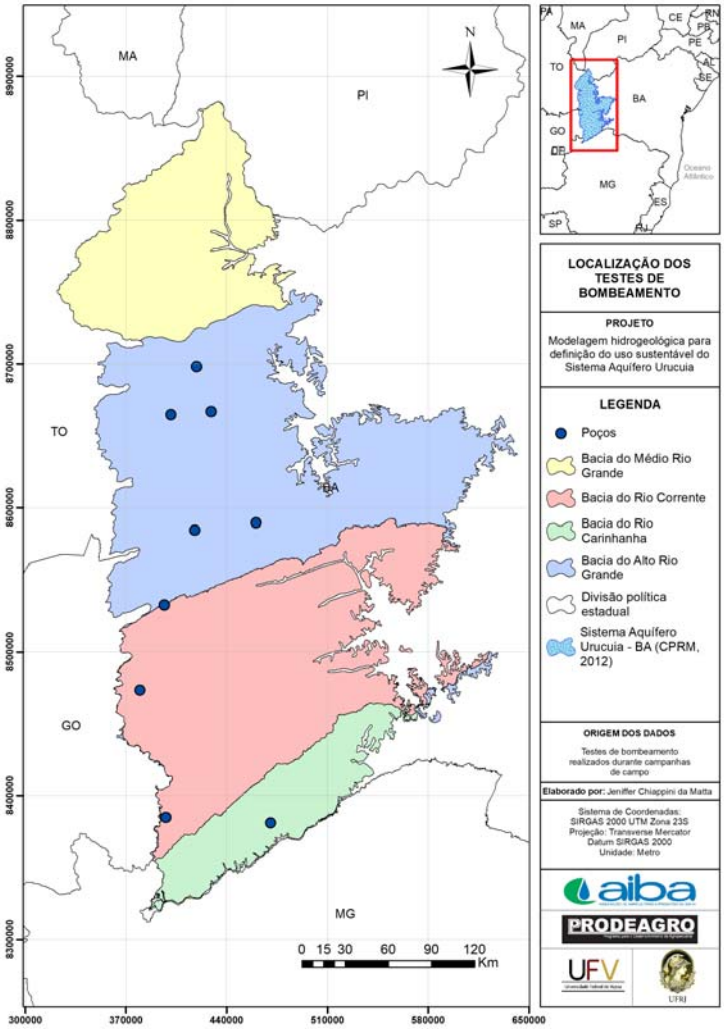


Figura 35 – Mapa com a localização dos poços nos quais foram realizados testes de aquífero pela equipe executora do presente estudo.

Durante os testes, para a medição da variação do nível de água, foi utilizado um *Micro-Diver*® da marca *Van Essen Instruments* (*Figura 36*), com o intervalo de medida adotado de 1 minuto e a duração dos testes variando de 7 h à 32 h. A vazão dos testes foi declarada pelos responsáveis pelos poços e variou de 250 m^3/h a 500 m^3/h (*Quadro 3*).

Figura 36 – Micro-Diver® na base de programação antes de ser inserido no poço de teste (PO).

Quadro 3 – Informações básicas dos testes de bombeamento executados.

BOMBARDA	370 m^3/h	7h	SIM
GRATO	500 m^3/h	32h	SIM
MORENA	580 m^3/h	11:40h	SIM
NE FLORESTAL	500 m^3/h	08:25h	SIM
PEROLA	250 m^3/h	-	NÃO
TERRA NORTE	500 m^3/h	-	NÃO
DON LAURINDO	300 m^3/h	13h	SIM
SANTA COLOMBA	250 m^3/h	3h	SIM
BOA VISTA	20 m^3/h	4h	SIM
XANXERE	500 m^3/h	11h	SIM
FLOR	500 m^3/h	11:30h	SIM
AGROBASSO	500 m^3/h	12h	SIM

Com base nos resultados dos rebaixamentos e de recuperação observados durantes os testes de bombeamento, é possível fazer as seguintes observações:

1. No teste executado na Fazenda Nordeste Florestal foi observado uma estabilização do nível dinâmico (ND) após 6,6h de bombeamento (*Figura 37*);
2. No teste de 36 horas, realizado na Faz. Grato (*Figura 40*) foi possível observar uma tendência de estabilidade do ND (em aproximadamente 34h de teste);
3. Nos demais testes não houve estabilização do ND no tempo observado;
4. A observação da recuperação do nível de água demonstrou que o retorno ao nível estático (NE) ocorre após repouso de 16h a 20h, como observado na *Figura 38* e na *Figura 39*, Figura 41 e *Figura 43*.

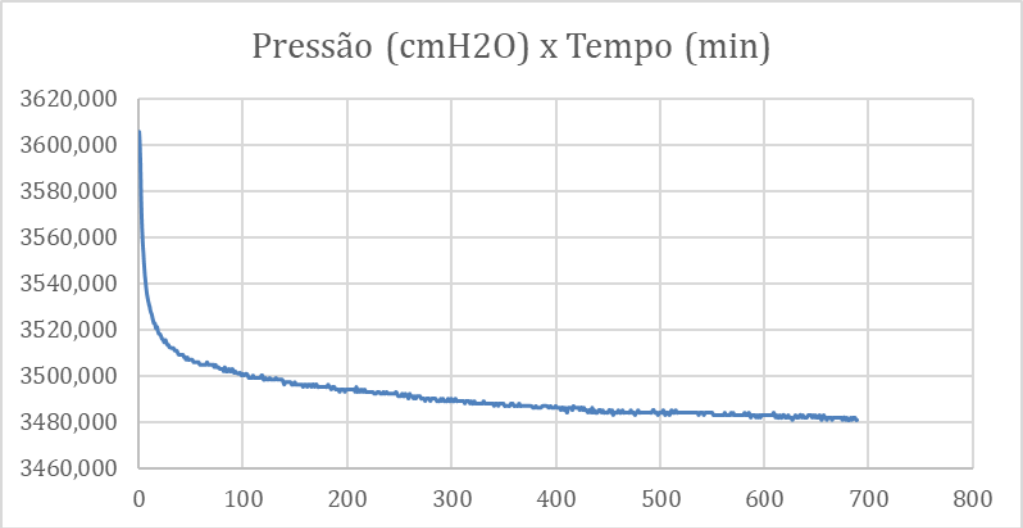


Figura 37 – Gráfico do rebaixamento de nível x tempo no teste da Fazenda Morena.

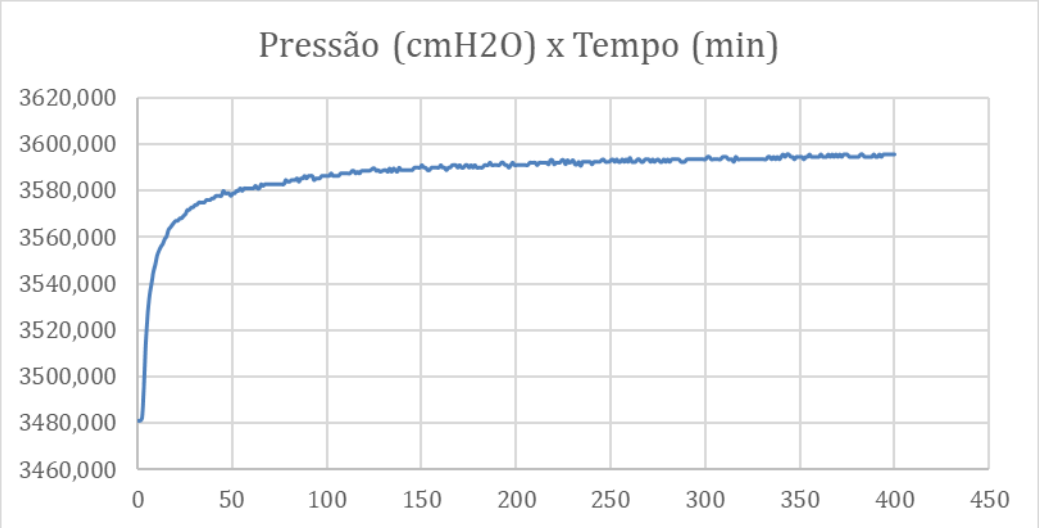


Figura 38 – Gráfico de recuperação do nível de água x tempo da Fazenda Morena.

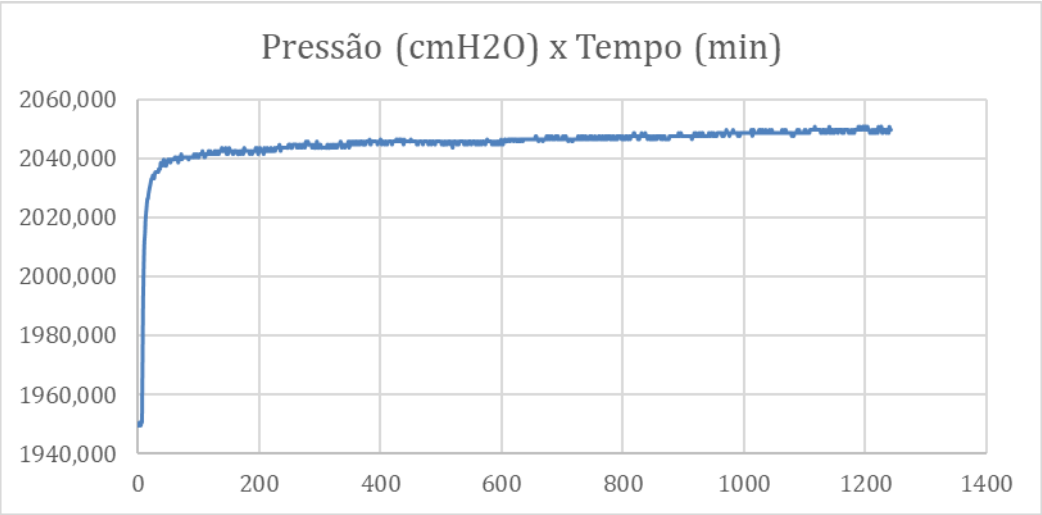


Figura 39 – Gráfico da Recuperação do nível de água na Faz. NE Florestal.

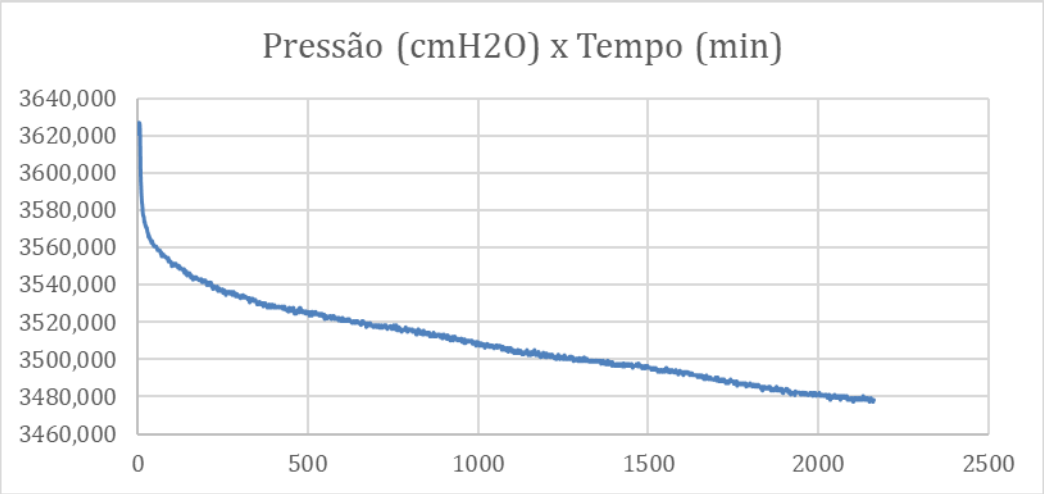


Figura 40 – Gráfico do Rebaixamento do nível de água no teste da Faz. Grato.

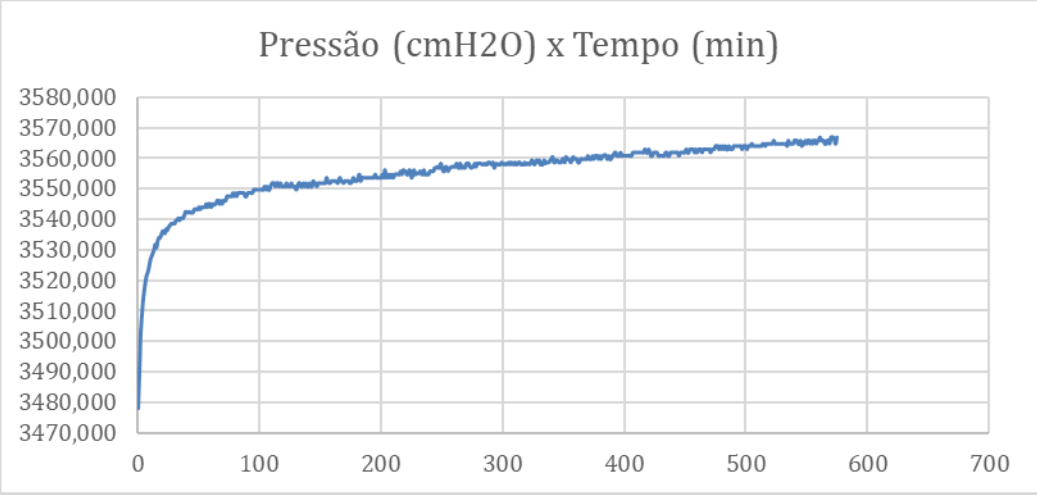


Figura 41 – Gráfico da Recuperação do nível de água na Faz. Grato.

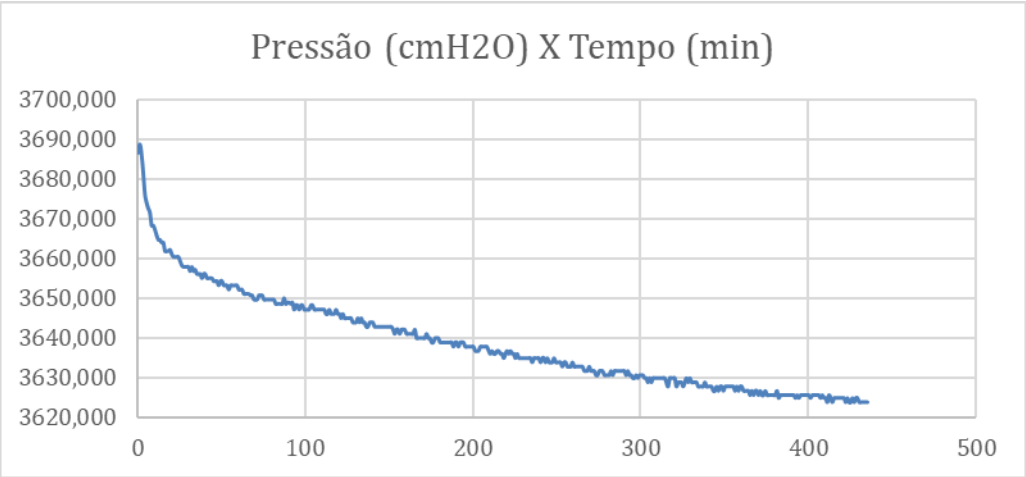


Figura 42 – Gráfico de Rebaixamento do nível de água x tempo no teste na Faz. Bombarda.

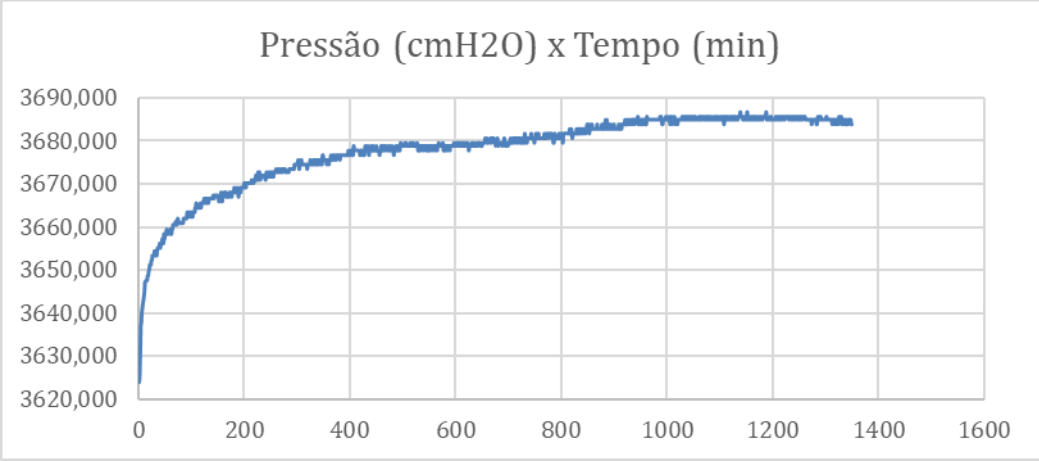


Figura 43 – Gráfico da Recuperação do nível de água x tempo na Faz. Bombarda.

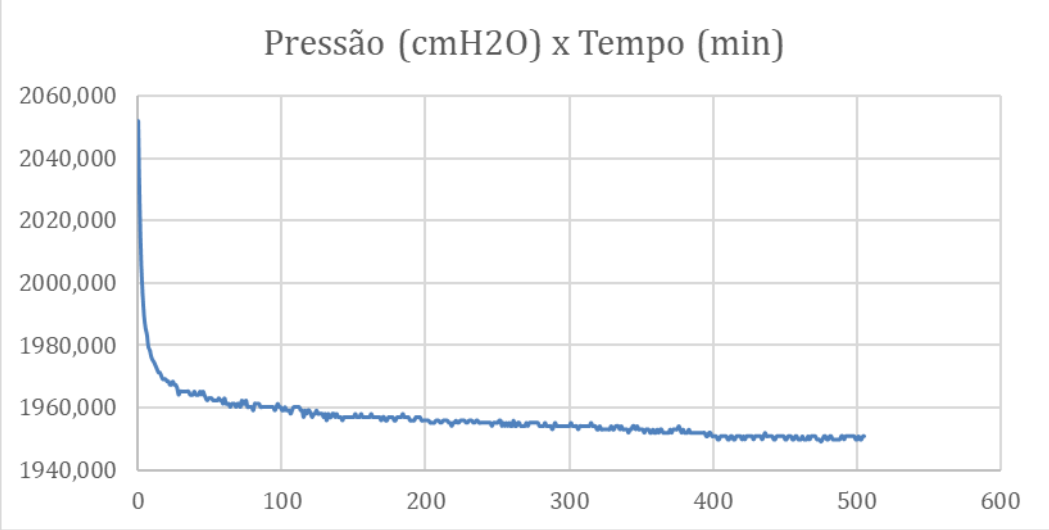


Figura 44 – Gráfico de rebaixamento x Tempo do teste na Faz. Nordeste Florestal.

As informações coletadas durante os testes foram processadas nos *softwares AQTESOLV* e *AquiferTest* com o objetivo de calcular os parâmetros hidráulicos do aquífero. A seguir serão apresentados os gráficos obtidos com o processamento dos rebaixamentos e os parâmetros hidráulicos obtidos. Os métodos de análise adotados para o processamento foram Hantush e Jacob (1955) para aquíferos confinados drenantes e Neuman (1974) para aquíferos livres.

Os resultados dos testes de bombeamento executados durante as campanhas de campo deste estudo, indicam uma transmissividade da ordem de 10^{-2} m^2/s. A condutividade hidráulica horizontal variou na ordem de 10^{-4} a 10^{-5} m/s e o coeficiente de armazenamento foi da ordem de 10^{-3}.

No Quadro 4 são apresentados os valores das propriedades hidráulicas obtidas em cada um dos pontos em que os testes de bombeamento foram executados.

Quadro 4 – Propriedades hidráulicas obtidas nos testes de aquífero realizados no presente estudo

Dom Laurindo	4.4E-05	4.4E-05	4.4E-06	0.0014	0.012363
Faz. Santa Colomba	2.4E-05	2.4E-05	2.4E-06	0.00036	0.006821
Faz. Bombarda	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-06	4.57E-03	0.037118
Faz. Morena	9.7E-05	9.7E-05	9.7E-06	-	0.025
Faz. Grato	1.8E-04	1.8E-04	1.8E-05	-	0.0385
Faz. NE Florestal	1.20E-04	1.20E-04	0.000012	0.0031	0.031
Agrobasso	0.00012	0.00012	0.000012	0.0071	0.03408
Faz. Flor	3.8E-04	3.8E-04	3.8E-05	0.011	0.092
Faz. Xanxerê	~1.0E-04	~1.0E-04	~1.0E-05	-	-

Devido à dificuldade de execução de testes de aquíferos com longas durações, dados de transmissividade são geralmente escassos. Buscando minimizar as lacunas de informações, foi realizado um levantamento de dados secundários, disponíveis em artigos, teses e outros trabalhos desenvolvidos na região, além de testes de bombeamentos disponibilizados por produtores. Barbosa (2016) realizou uma compilação de resultados de testes de bombeamento apresentados em outros trabalhos (p. ex. Santos, 2002; Schuster *et al.*, 2003; Gaspar, 2006; Pompeu e Rodrigues, 2002; Campos *et al.*, 2010) que contribuem para a teoria da existência de trechos com características de semiconfinado/confinado. Este estudo aponta uma variação da transmissividade (T) na ordem de 10^{-2} a 10^{-3} m^2/s, condutividade hidráulica (K) da variando de 10^{-4} a 10^{-6} m/s e coeficiente de armazenamento (S) entre 10^{-3} a 10^{-5} para o aquífero confinado. Para o aquífero livre os valores de T variaram entre 10^{-2} a 10^{-5} m^2/s, K de 10^{-4} a 10^{-7} m/s e porosidade efetiva (S_y) da ordem de 10^{-2}, segundo as informações publicadas. No

Quadro *5* e nos quadros seguintes até o Quadro 8 apresentam-se os dados obtidos nesta pesquisa bibliográfica.

Quadro 5 – Resumo dos valores dos parâmetros hidrodinâmicos da Formação Posse (SAU), com base em dados coletados por Schuster et al. (2002), Nascimento (2003) e Rodrigues et al. (2009)

Campo Aberto O_{1A}	1.391	---	$3,1 \times 10^{-4}$	-------	Hantush	Rio de Janeiro
Campo Aberto O_4	1.794	---	$5,4 \times 10^{-4}$	-------	Hantush	Rio de Janeiro
Fazenda Poletto **Iris Basso**	1.973 2.956	0,303 0,439	---------	-------	Jacob	Rio do Cachorro
Fazenda Poletto P4 B P3 O	1.397	0,360	$2,6 \times 10^{-4}$	-------	Jacob	Rio do Cachorro
Fazenda Poletto P4 B P3 O	1.728	0,468	---------	-------	Jacob	Rio do Cachorro
Fazenda Poletto P4 B P3 O	1.411	0,390	$1,5 \times 10^{-4}$	-------	Jacob	Rio do Cachorro
Fazenda Poletto P4 B P3 O	1.137	0,316	----------	-------	Jacob	Rio do Cachorro
Faz. Campinas P250 O **P B** **P90 O**	1.321 1.542 1.467	0,243 0,284 0,247	$7,5 \times 10^{-4}$ ---------- $3,0 \times 10^{-4}$	 $1,25 \times 10^{-2}$	Neuman Jacob Neuman	Rio das Fêmeas
Faz. Santo Antônio	1.506	1,580	$5,9 \times 10^{-4}$	$1,43 \times 10^{-2}$	Neuman	Rio das Fêmeas

Obs.: B = bombeado e O = observado.

Quadro 6 – Resumo dos valores dos parâmetros hidrodinâmicos da Formação Serra das Araras (SAU), com base em dados coletados por Rodrigues (2009)

Roda Velha de Baixo	348	$K_h = 5 \times 10^{-5}$ $K_V = 8 \times 10^{-5}$	$9,1 \times 10^{-4}$	$4,7 \times 10^{-2}$	Neuman	Rio das Fêmeas

* Para uma espessura de aproximadamente 80m.

Quadro 7 – Resumo dos resultados dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero semiconfinado do SAU, com base em dados coletados por Gaspar (2006)

Poço No. 1 Faz. Mal. Rondon	$3,23 \times 10^{-3}$	$8,08 \times 10^{-6}$	$1,48 \times 10^{-4}$	Theis	Rio de Janeiro
Poço No. 2 Faz. Espírito Santo	$3,00 \times 10^{-3}$	$7,49 \times 10^{-6}$	$1,17 \times 10^{-4}$	Theis	Rio de Janeiro
Poço No. 3 Faz. Hirata	$2,59 \times 10^{-3}$	$7,39 \times 10^{-6}$	$1,01 \times 10^{-4}$	Theis	Rio das Fêmeas
Poço Sede No. 2 LEM	$4,69 \times 10^{-3}$	$9,38 \times 10^{-6}$	$1,87 \times 10^{-4}$	Theis	Rio de Janeiro
Poço No. 1 Faz. Mal. Rondon	$6,46 \times 10^{-5}$	$2,59 \times 10^{-2}$	--------	Cooper e Jacob	Cooper e Jacob
Poço No. 2 Faz. Espírito Santo	$6,49 \times 10^{-5}$	$2,59 \times 10^{-2}$	--------	Cooper e Jacob	Cooper e Jacob
Poço No. 3 Faz. Hirata	$2,55 \times 10^{-5}$	$8,91 \times 10^{-3}$	--------	Cooper e Jacob	Cooper e Jacob
Poço Sede No. 2 LEM	$3,89 \times 10^{-5}$	$1,95 \times 10^{-2}$	--------	Cooper e Jacob	Cooper e Jacob

Quadro 8 - Resumo dos resultados dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero livre, obtidos por Gaspar (2006).

Poço CERB No. 2	124,42	$3,92 \times 10^{-6}$	Neuman	Correntina

Como exemplo da utilização de dados secundários de ensaios de bombeamento na caracterização das variações de comportamento do aquífero, a seguir é apresentado um gráfico obtido com informações de rebaixamento retiradas do relatório de um poço instalado na região de Correntina. Este poço, diferentemente do teste anterior, apresenta melhor ajuste à curva de Hantush-Jacob, que caracteriza aquíferos semiconfinados (*Figura 45*).

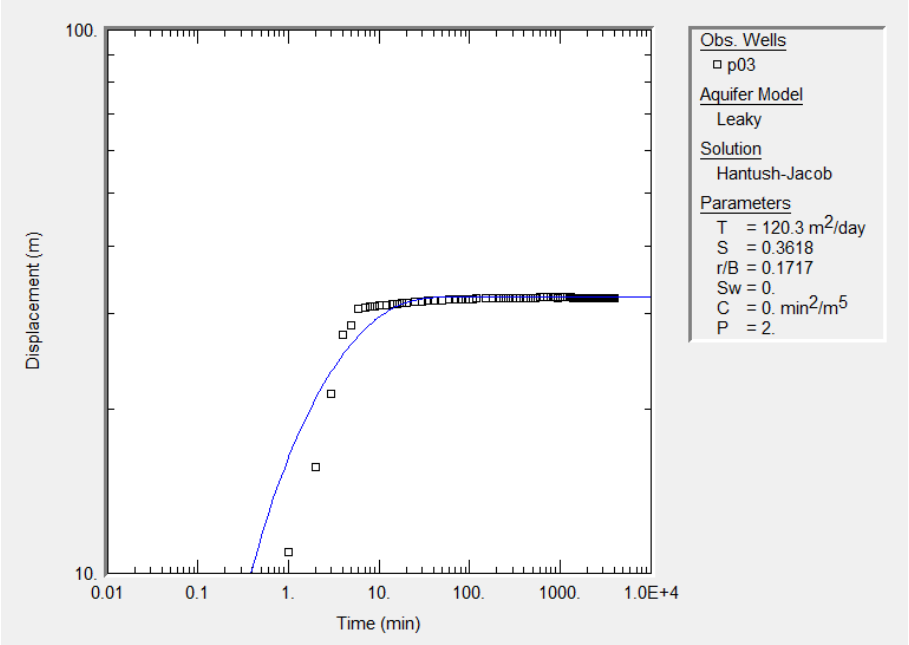


Figura 45 – Ajuste das mediadas de rebaixamento do teste bombeamento a curva tipo de Hantush-Jacob (linha azul) no processamento do teste no AQTESOLV.

Gaspar e Campos (2007) e Schuster *et al.* (2002) já haviam observado poços com características de confinamento e semiconfinamento na região do Urucuia. Estas ocorrências são descritas como comuns na região de Luís Eduardo Magalhães (BA), nas bacias dos rios Grande e Arrojado, e no município de Formosa do Rio Preto. Na Figura 46 apresenta-se a localização do poço utilizado no teste acima e compara-se com as áreas delimitadas por Gaspar e Campos (2007). É possível fazer uma correlação da localização do poço com a área delimitada pelos autores citados na região do Rio das Éguas.

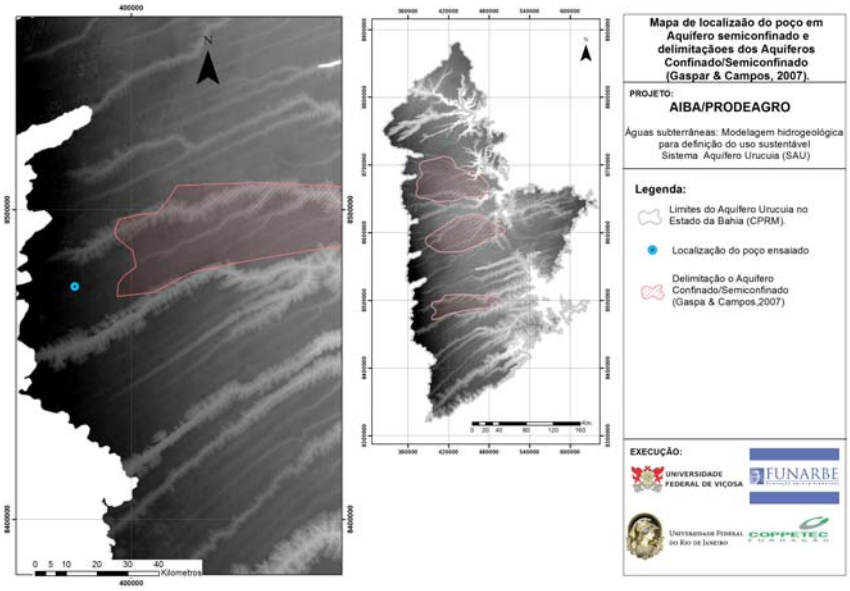


Figura 46 – Mapa de localização do poço com características de aquífero semiconfinado correlacionável com as áreas propostas por Gaspar e Campos (2007).

Outra forma de maximizar o volume de dados de transmissividade é o seu cálculo empírico a partir da capacidade específica, parâmetro mais simples de ser adquirido e geralmente mais abundante (Mace, 1997; Galofré, 1966). Esta metodologia foi aplicada em aproximadamente 380 poços obtidos do SIAGAS que possuíam as variáveis necessárias para o cálculo do parâmetro hidráulico.

Os resultados indicaram uma variação da transmissividade entre 10^{-2} a 10^{-5} m^2/s e da condutividade hidráulica entre 10^{-4} a 10^{-6} m/s, apresentando similaridade com os resultados obtidos nos estudos anteriores no SAU.

5 Análise e discussão de dados hidrogeoquímicos secundários

5.1 Análise e discussão de dados hidrogeoquímicos (SIAGAS)

Quanto aos aspectos hidroquímicos da região de estudo, a base de dados foi constituída de 948 pontos nos quais foram realizadas medições, amostragens e análises, todos pertencentes à base SIAGAS. Dessas mais de nove centenas de dados porém, apenas 490 estão situados na área de afloramento do Arenito Urucuia (sem que necessariamente o poço tenha filtros, totalmente ou parcialmente, abertos no SAU) (Figura 47). Desses, porém, foram extraídos dados para as elaborações de análises e mapas de somente 229 pontos.

Pontos da base SIAGAS com análises balanceadas totalizam 99 análises, das quais 34 na área de ocorrência do SAU *stricto sensu* e com as quais foi possível elaborar alguns diagramas e simular alguns aspectos do funcionamento do aquífero. Há também algumas dezenas de pontos em que foram tomadas medidas *in situ* de propriedades físico-químicas (condutividade elétrica, temperatura, pH e Eh), durante os trabalhos de campo do presente projeto. Do mesmo modo que ocorreu em relação aos dados hidrodinâmicos, observa-se que há grandes áreas com pouca ou nenhuma informação.

Os dados químicos presentes na base SIAGAS e também no SEIA raramente são, como é possível observar, ionicamente balanceados. Os poucos dados disponíveis situam-se quase todos em áreas próximas à fronteira leste do sistema, onde a espessura do aquífero é pequena e frequentemente os poços têm seção mista, com parte da captação ocorrendo no Aquífero Bambuí. Desse modo, o caráter bicarbonatado-cálcico e razoável grau de mineralização que predomina nas águas analisadas na base do SIAGAS não deve ser representativo da realidade do aquífero. De fato, o relatório elaborado pela ANA (2017) aponta para o predomínio de águas bicarbonatadas-sódicas em geral com baixa a muito baixa mineralização para todos os tipos de águas subterrâneas (poços rasos, poços profundos e nascentes do SAU).

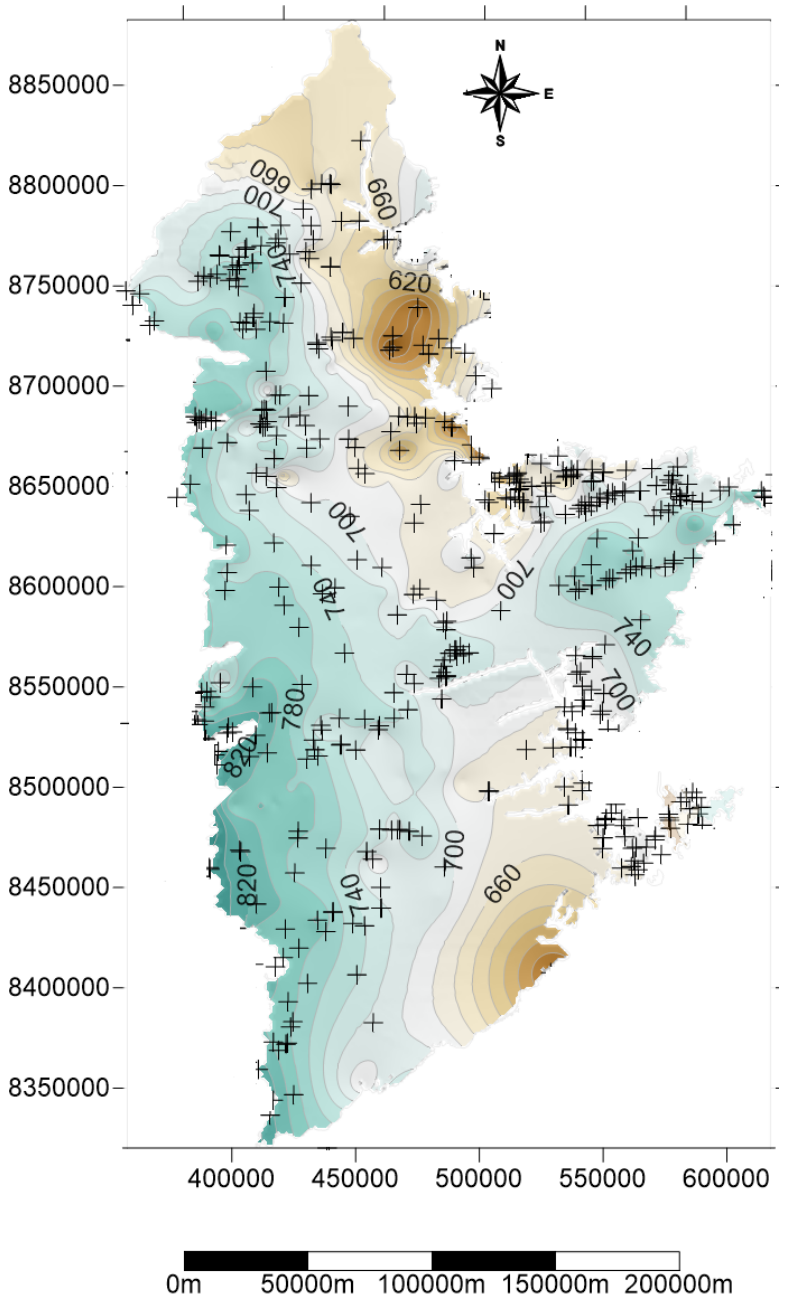


Figura 47 – Indicação de pontos (cruzes pretas) de medições hidroquímicas da base do SIAGAS e outras fontes onde foram obtidos os dados comentados e utilizados no presente item. Coordenadas UTM, fuso 23S; curvas isopiezométricas em m.

Os resultados obtidos até o momento com a análise dos parâmetros químicos da base do SIAGAS podem ser visualizados da Figura 48 até a Figura 56. A observação dos dados hidroquímicos do SIAGAS de toda a área de ocorrência do Aquífero Urucuia na Bahia, ainda que prejudicada pela inconsistência da base de dados, permite verificar que são águas doces, com leve predomínio de águas bicarbonatadas cálcicas e sódicas, mas predominantemente mistas em seu caráter geoquímico (Figura 48).

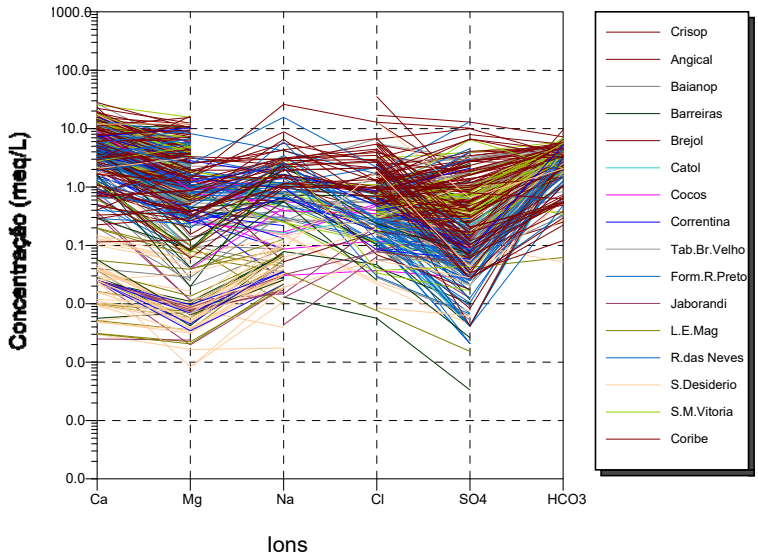


Figura 48 – Diagrama logarítmico com a representação de 490 dados com análises não balanceadas obtidas na área de estudo, a partir da base de dados SIAGAS.

Uma forma conveniente de interpretação inicial são os diagramas triangulares de Piper-Langelier, que permitem a rápida visualização das fácies hidrogeoquímicas. Observando-se a Figura 49 notam-se dois conjuntos principais de dados, que correspondem a áreas do embasamento do SAU – Grupo Bambuí (águas cloretadas-sódicas Fm. Rio Paraopeba, Serra de Santa Helena e outras) e as do Grupo Urucuia, que, nas amostras obtidas no SIAGAS, indicam um caráter bicarbonatado-cálcico. Conforme comentado a literatura indica águas bem mais heterogêneas quimicamente, com um caráter misto para o SAU. Provavelmente o resultado pode derivar de poços com influência dos calcários do Bambuí, sotopostos. Conforme os dados obtidos em campo e a literatura demonstram, em particular o extenso trabalho realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), as águas do SAU *stricto sensu* têm um caráter predominantemente bicarbonatado-sódico.

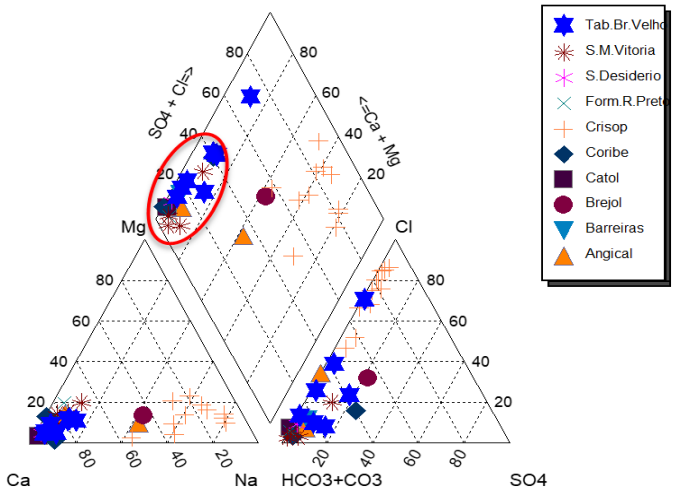


Figura 49 – Diagrama de Piper com a representação de dados com análises balanceadas obtidas na área de estudo, a partir da base de dados SIAGAS e outras complementares. Note-se que as amostras de Cristópolis (Crisop, cruzes alaranjadas) por exemplo, encontram-se fora da área de ocorrência do SAU, que estão concentradas dentro da elipse vermelha.

Há bastante heterogeneidade na distribuição geográfica dos parâmetros químicos e concentrações iônicas, o que foi objeto de uma interpretação conjunta com os dados de hidrodinâmica, geológicos e de geometria, a partir da interpretação geofísica e que, espera-se, possa evoluir nas próximas etapas do trabalho. A Figura 50 e a Figura 51 dão uma medida da distribuição da salinidade no SAU baiano. Observa-se que o extremo leste da área de ocorrência do aquífero, particularmente no saliente central do SAU na região de Baianópolis, entre Barreiras e Correntina, mormente em sua porção norte, apresenta valores relativamente elevados de salinidade, quase certamente devido à influência do Grupo Bambuí. De modo geral, como já dito, há uma baixa mineralização.

Observando-se a Figura 52, com a distribuição de valores de pH, verifica-se notável correlação entre a salinidade das águas do aquífero e seu pH. Em geral este é ácido, variando ao redor de 4,5 a 5,5 pontos, com discreta tendência de aumento ao leste e extremo sul da área, chegando próximo à neutralidade. Esse padrão pode variar um pouco, com ocorrência de pH's mais altos mesmo em locais centrais da área do aquífero.

Na Figura 53 verifica-se que o ferro dissolvido pode chegar a ter concentração considerável, em grande número de casos acima do valor de potabilidade determinado pela ANVISA (Portaria de Consolidação PRC n° 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX) em alguns setores do SAU baiano, particularmente no setor centro-sul, próximo à cidade de Correntina. Coincidentemente, nesse mesmo setor é onde ocorrem comparativamente as maiores concentrações do íon cloreto do SAU baiano, ainda assim bastante baixas com relação aos Valores Máximo Permitidos (VMP) da legislação brasileira (Figura 54). A origem desses valores relativamente elevados de cloretos e ferro é controversa, podendo estar ligada a processos biogênicos, evaporativos ou mesmo antrópicos, embora esta última hipótese seja pouco provável.

Os teores de sódio e a alcalinidade das águas do SAU (Figura 55 e Figura 56) seguem um padrão similar ao da salinidade e condutividade elétrica o que sugere, no caso do sódio, que essa salinização tem origem predominantemente litogênica.

Quanto aos elementos obtidos e discutidos nesse item, conclui-se que seria interessante ampliar essa base de dados, seja com análises próprias ou com acesso a dados das agências e órgãos de governo. A hidrogeoquímica é uma ferramenta importante como coadjuvante na interpretação do modelo de funcionamento hidrogeológico do SAU. A equipe do projeto realizou gestões para o estabelecimento de convênio com a CPRM, já concretizado, e que no futuro próximo permitirão aperfeiçoar a ampliar a base de dados.

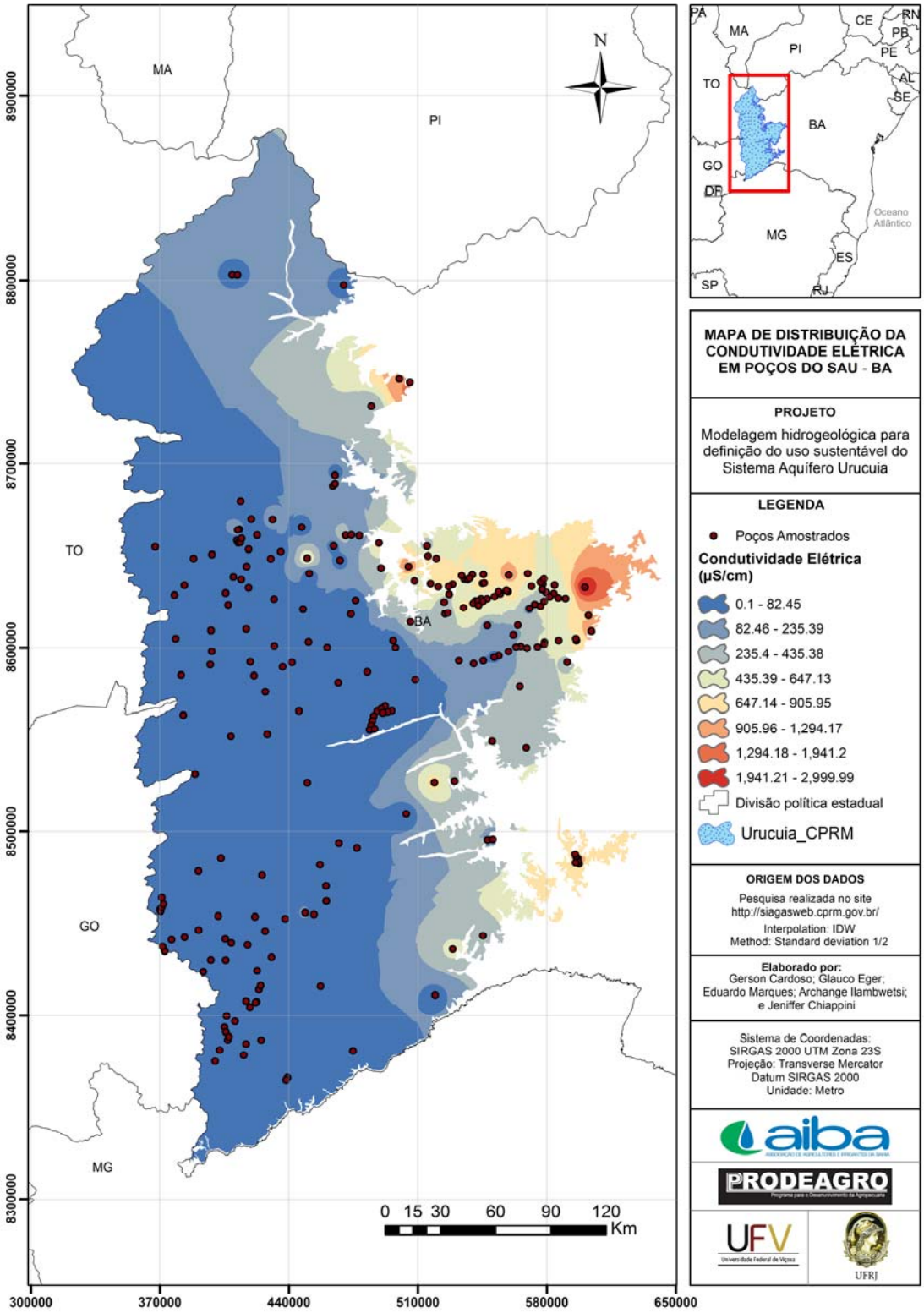


Figura 50 – Mapa de isovalores de condutividade elétrica na área de ocorrência do SAU.

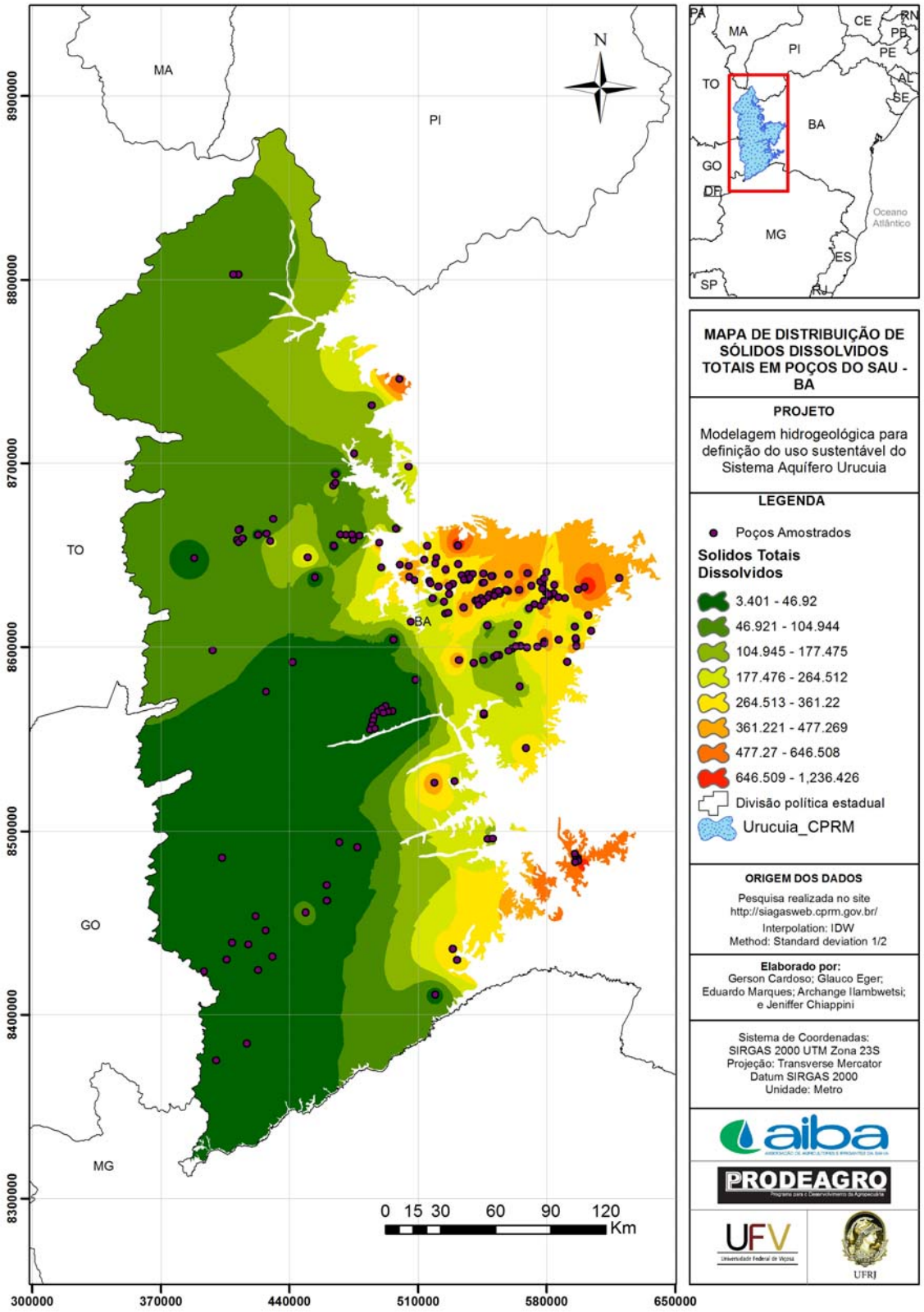


Figura 51 – Mapa de isoteores de sólidos totais dissolvidos na área de ocorrência do SAU.

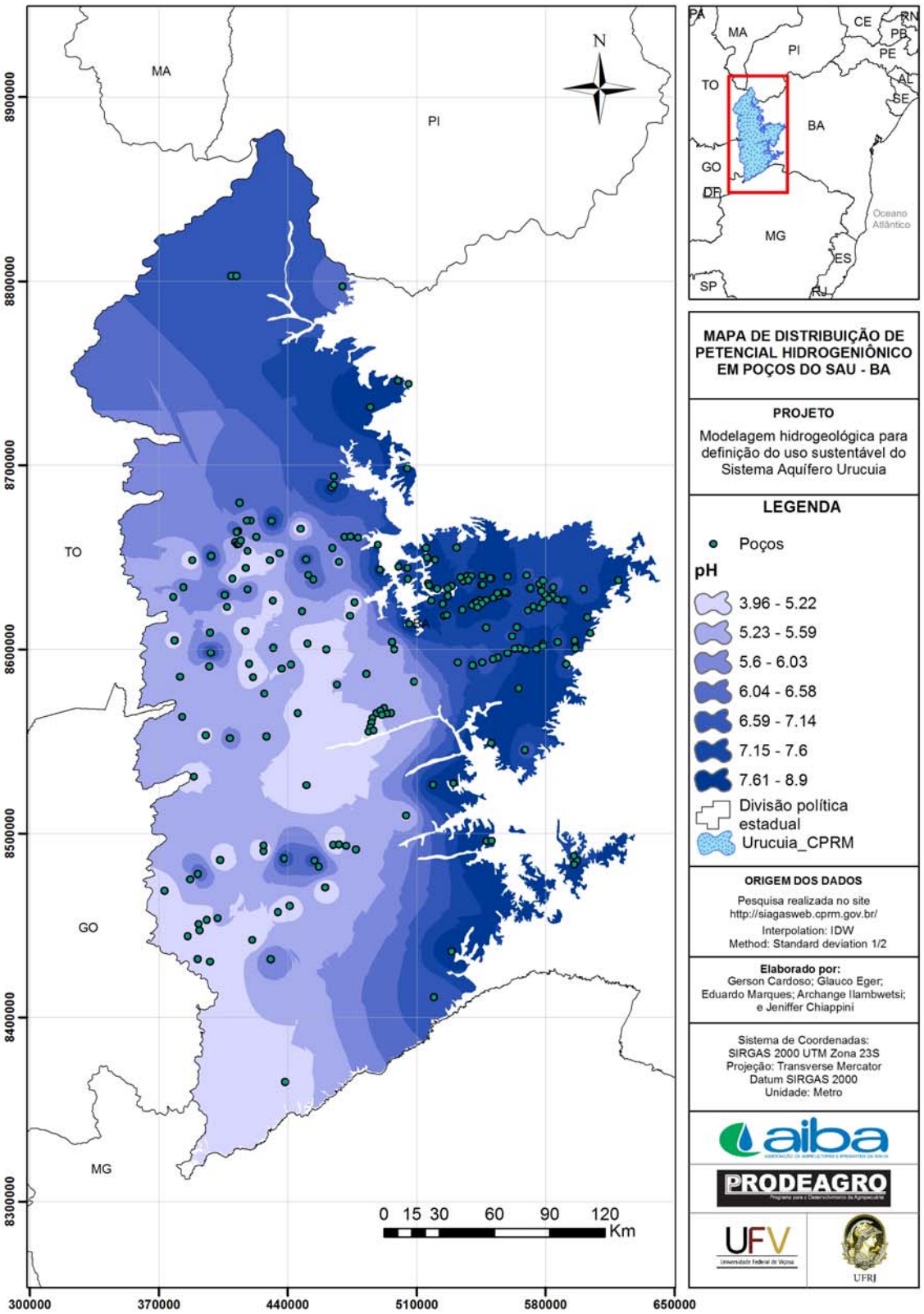


Figura 52 – Mapa de isovalores de pH na área de ocorrência do SAU.

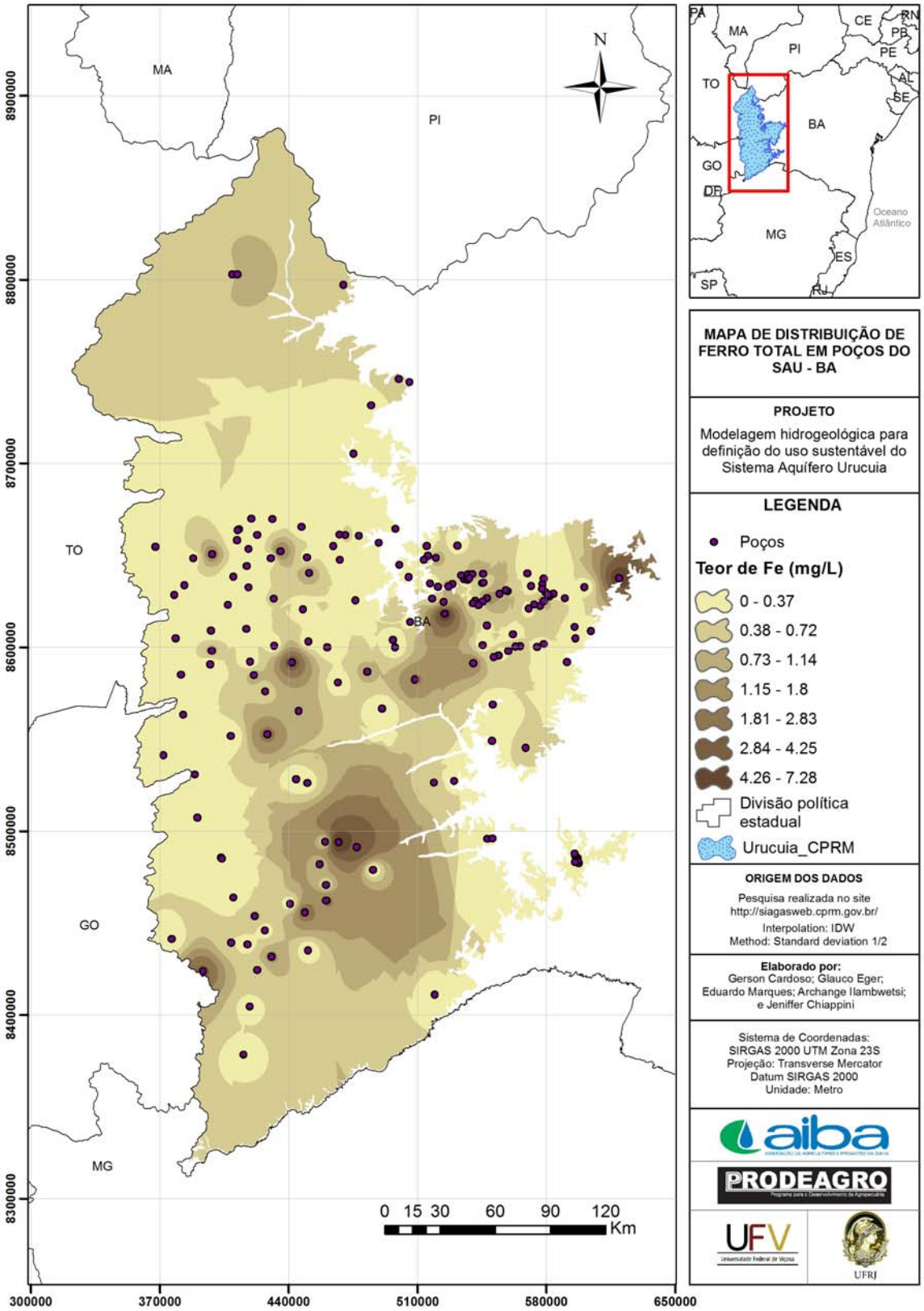


Figura 53 – Mapa de isoteores de ferro total na área de ocorrência do SAU.

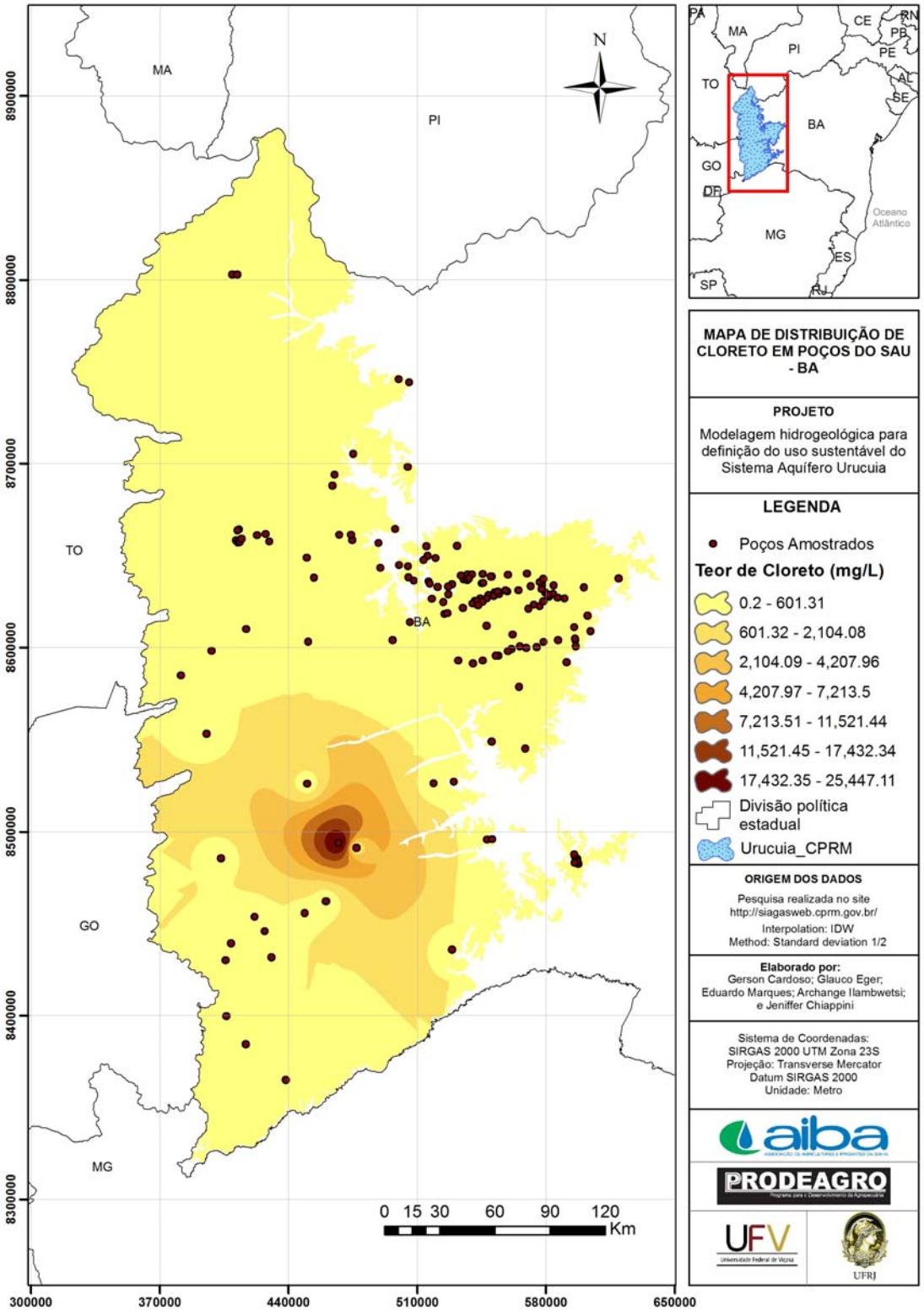


Figura 54 – Mapa de isoteores de cloreto na área de ocorrência do SAU.

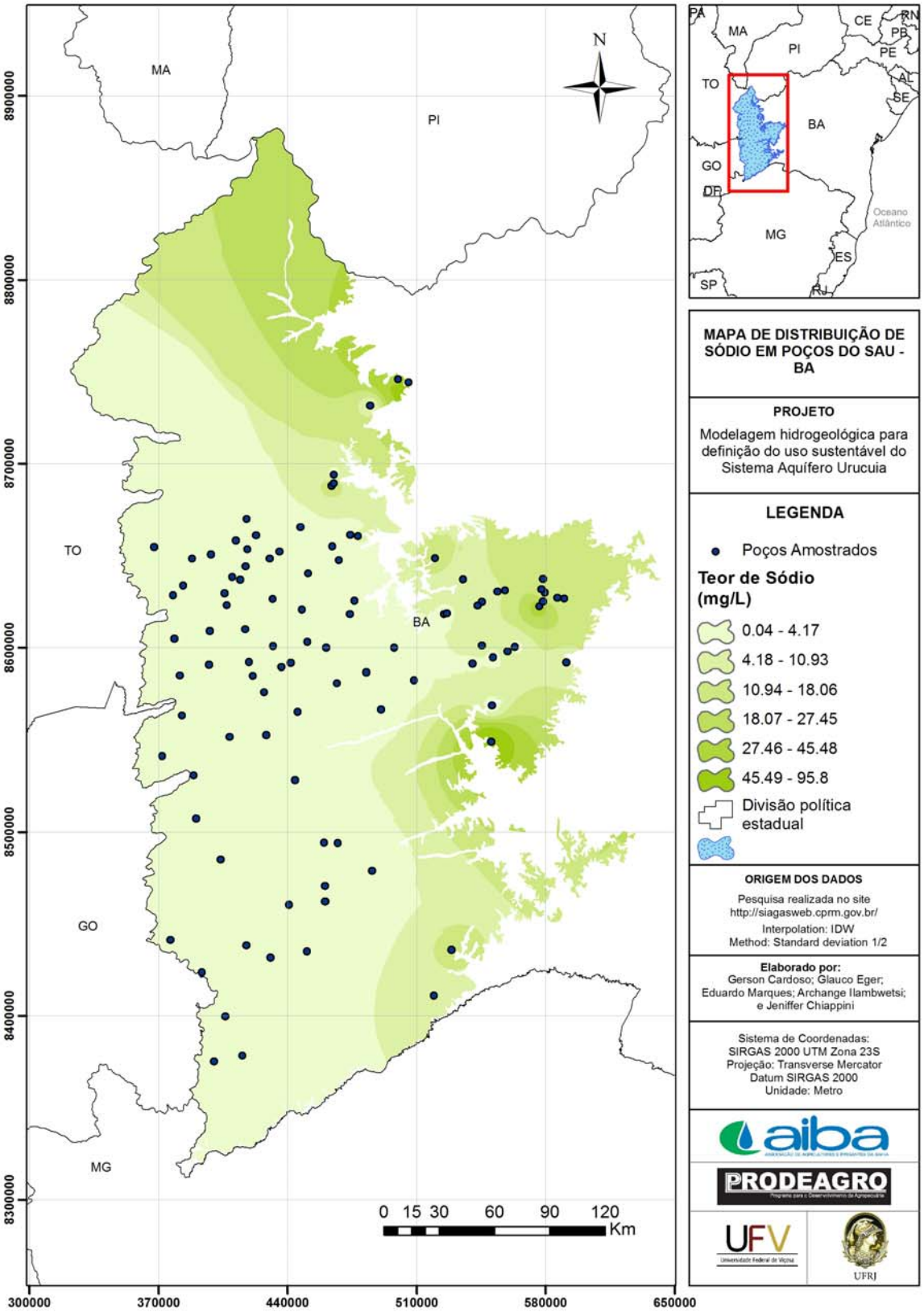


Figura 55 – Mapa de isoteores de sódio na área de ocorrência do SAU.

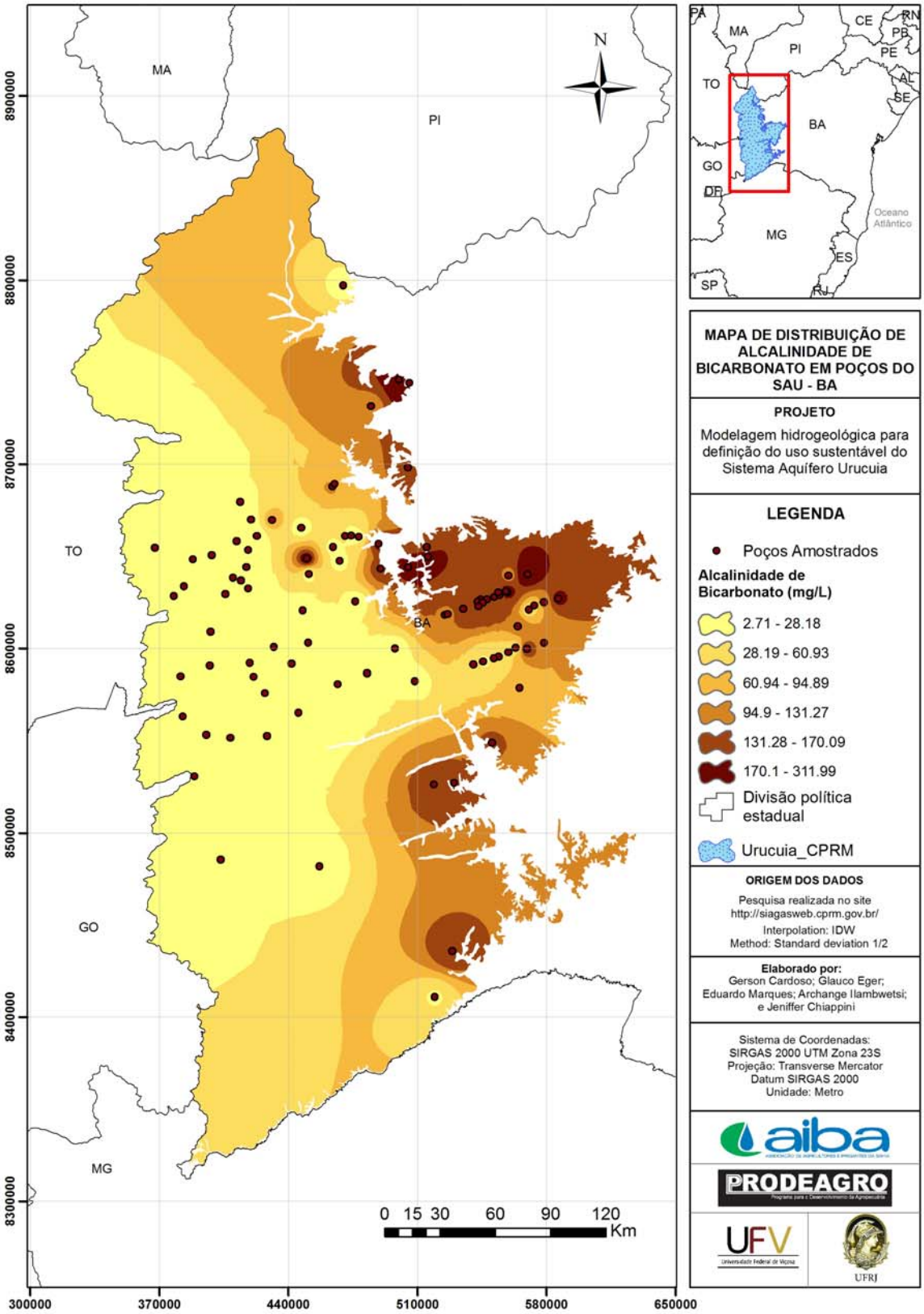


Figura 56 – Mapa de isoteores de alcalinidade na área de ocorrência do SAU.

A observação dos dados hidroquímicos do SIAGAS em toda a área de ocorrência do Aquífero Urucuia na Bahia, ainda que prejudicada pela inconsistência e escassez de dados, permite apontar alguns aspectos gerais:

- são águas pouco mineralizadas, com leve predomínio de águas bicarbonatadas sódicas e cálcicas, mas em geral com caráter geoquímico de natureza mistas.

- em geral quanto mais a leste maior a mineralização das águas subterrâneas, não se podendo descartar a mescla com águas do Gp. Bambuí e embasamento cristalino, devido a adelgaçamento das camadas geológicas do Urucuia;

- o pH do SAU é em geral ácido, variando ao redor de 5 a 6 pontos, com discreta tendência de aumento ao leste e extremo sul da área. Esse padrão pode variar um pouco, com ocorrência de pH's próximos a neutralidade em locais no centro da área do aquífero;

- a interação com o arcabouço aquífero parece ser o processo predominante da mineralização no SAU da Bahia, embora a origem do cloreto e íon de ferro seja provavelmente ligada a outros processos ainda a investigar.

6 Modelo Hidrogeológico Numérico

Modelos são representações simplificadas da complexa realidade da natureza, neste caso, do complexo sistema hidrogeológico. Os modelos podem ser conceituais, como o descrito na seção anterior; físicos, em representações em laboratório (por exemplo: tanques e colunas com material poroso para avaliar o fluxo e as cargas diretamente no modelo); e matemáticos ou numéricos, através de equações que descrevem os processos físicos e as variáveis de campo.

No caso de modelos hidrogeológicos numéricos a equação geral de fluxo, baseada na lei da conservação de massa e na lei de Darcy, representando o escoamento da água no meio aquífero saturado, tridimensional, é dada por (Equação 1):

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z \frac{\partial h}{\partial z}\right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} - R^* \qquad \text{Eq. 1}$$

Na qual:

K_x, K_y e K_z são os componentes do tensor de condutividade hidráulica nas dimensões *x, y* e *z*; *h* é a carga hidráulica; *t* é o tempo; S_s representa o armazenamento específico no meio poroso; e R^* representa um ponto onde a água é retirada (sumidouro) ou introduzida (fonte) ao sistema por unidade de volume do meio, com valor positivo se for referente à introdução e negativo se for referente à retirada.

Os códigos de simulações numéricas são importantes ferramentas no auxílio à gestão de recursos hídricos, pois permitem uma série de avalições em sistemas aquíferos, tais como:

a) a análise dos padrões e taxas de fluxo de água subterrânea;
b) estimar a interação da água subterrânea e superficial;
c) calcular gradientes hidráulicos regionais da água subterrânea;
d) simular as alterações nas direções de fluxo causadas por bombeamento de longo prazo;
e) calcular as flutuações do nível da água em resposta a mudanças nas taxas de bombeamento, variações na recarga, extração sazonal de água subterrânea por vegetação; e

f) avaliar os efeitos do transporte de contaminantes de uma área de origem (Anderson *et al.*, 2015).

Na porção baiana do Sistema Aquífero Urucuia, que compreende as bacias dos rios Grande (Alto e Médio), Corrente e Carinhanha, foram realizadas simulações de fluxo em regime estacionário para todas as bacias acima mencionadas e em regime transiente para as bacias do Alto Grande e Corrente. Os modelos em regime transiente ficaram limitados a estas duas bacias devido ao fato de que as informações em série temporal de monitoramento de nível de água subterrânea não estavam disponíveis na bacia do Carinhanha e no Médio Grande até o momento de realização das simulações. Com o tempo, espera-se contar com uma base de dados de variação temporal da piezometria das citadas bacias para realizar simulações transientes também nesses corpos hídricos.

Todas as simulações foram executadas com o uso do *software* comercial *Visual MODFLOW*, uma interface gráfica do programa MODFLOW (McDonald e Harbaugh, 2003*)* da *Waterloo Hydrogeologic*. O MODFLOW é um código de diferenças finitas usado para solução de problemas de fluxo de águas subterrâneas. Embora hoje haja uma grande variedade de códigos disponíveis para simulações de fluxo em aquíferos, o MODFLOW tem como incontestáveis vantagens (Moeeni e Ahsan, 2017):

a) a facilidade de configurar os arquivos de pré e pós processamento;
b) constitui hoje o padrão da indústria, sendo largamente empregado no mundo inteiro por empresas, órgãos públicos e na academia;
c) embora se tenha utilizado a versão *Visual Modflow*, que é um software proprietário, há inúmeras interfaces gráficas baratas para executar, visualizar e processar o modelo de processo;
d) é um sistema modular, com novos pacotes adicionados com frequência. Neste sentido, como exemplo as versões / módulos USG e NWT/SURFACT são muito úteis quando, por exemplo, necessita-se simular com mais detalhe a interface entre rios e aquíferos (caso do NWT em Nebraska, por exemplo, ver Gomez Peña (2017) e Peterson *et al.* (2015)).

A principal vantagem oferecida pelo *Visual MODFLOW* é a visualização gráfica do modelo, permitindo maior interatividade com o usuário e possibilitando a elaboração e simulação de problemas em tempo reduzido. Permite também acelerado ajuste dos parâmetros do modelo, inclusive com a utilização de ajustes automáticos destes parâmetros, visando a calibração pelo método da inversão (Hariharan e Uma Shankar, 2017).

Para resolução da equação de fluxo é necessário o estabelecimento de condições de contorno, que podem ser físicas ou hidráulicas. As condições de contorno físicas podem ser caracterizadas como barreiras geológicas (p.ex.: rochas de baixa permeabilidade, falhas geológicas selantes) ou corpos de água superficiais como rios, lagos e mares que possam influenciar no fluxo subterrâneo. Os contornos hidráulicos são formados por condições do escoamento, como divisores de água superficiais ou linhas de fluxo, por exemplo. Matematicamente as condições de contorno podem ser classificadas em três tipos (Cabral e Demétrio, 2008):

- Tipo 1 – Carga Hidráulica Especificada (Condição de *Dirichlet*), quando a carga hidráulica ao longo de uma fronteira possui um valor conhecido.
- Tipo 2 – Fluxo Especificado (Condição de *Neuman*), quando o fluxo ao longo de um contorno é um valor especificado, derivado de um gradiente hidráulico conhecido. O fluxo ao longo de uma fronteira pode ser nulo (*No Flow*) quando presente um contorno impermeável ou linha de simetria.

- Tipo 3 - Condição de fluxo dependente da carga hidráulica (Condição de *Cauchy*), quando o fluxo no limite do modelo é calculado com a lei de Darcy. Para essa solução, é aplicado um gradiente hidráulico calculado pela diferença entre uma carga hidráulica especificada fora do limite modelado e uma carga hidráulica calculada pelo modelo no "nó" localizado no limite da simulação ou perto dele.

Para a construção dos modelos foram adotados e empregados os seguintes elementos, dentre outros:

- As feições topográficas foram obtidas através de modelo digital de elevação do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*; ver Farr e Kobrick, 2000);
- Dados de pluviometria das estações do HidroWeb (ANA);
- Devido à divergência de informações sobre a espessura do SAU adotaram-se, de forma conservadora, as profundidades dos poços listadas nos bancos de dados públicos disponíveis (embora dados recentes, ainda inéditos, apontem para profundidades maiores do aquífero);
- Os parâmetros hidráulicos adotados nos modelos foram obtidos dos testes de bombeamento executados pela própria equipe do projeto e também dos dados secundários existentes na – escassa – literatura disponível sobre a área (ANA, 2017).

Os arquivos magnéticos com os resultados de todas as simulações estão disponíveis para acesso e utilização da AIBA e serão disponibilizados oportunamente.

6.1 Modelo Hidrogeológico Numérico em Fluxo Permanente

As simulações em estado permanente ou estacionário ocorrem quando, dado um ponto no espaço, a carga hidráulica e o fluxo são constantes em função do tempo, ou seja, em qualquer ponto na rede fluxo a direção e a magnitude da velocidade de fluxo serão as mesmas no decorrer do tempo.

Neste caso a razão $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$, ou seja, as cargas hidráulicas e os fluxos calculados são constantes no tempo, segundo a Equação 2.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z \frac{\partial h}{\partial z}\right) = 0 \qquad \text{Eq. 2}$$

Seguindo a legislação brasileira, a unidade de gestão dos recursos hídricos é a bacia hidrográfica. Com o objetivo de melhorar a resolução do modelo, otimizar o aproveitamento da maior concentração de dados existentes nas bacias Alto Grande e Corrente, bem como permitir uma gestão modular das áreas do estudo, acordou-se que os resultados da modelagem seriam apresentados a partir das bacias hidrográficas da região de estudo, o que é apresentado nos itens a seguir.

6.1.1 Bacia do Médio Rio Grande – Porção Norte

A bacia do Médio Rio Grande ocupa uma área de aproximadamente 14.541 km^2, compreendendo a porção norte do SAU baiano, representada principalmente pelos rios Sapão, Preto, do Ouro e São José. Esta bacia é uma das mais carentes de informações hidrogeológicas de todo o SAU, já que o número de poços implantados na região ainda é baixo e os que existem têm predominantemente a finalidade de abastecimento humano e

dessedentação animal, com profundidade rasa e poucas informações disponíveis, em geral. Este baixo número de poços, segundo informações levantadas durante as campanhas de campo, se deve à predominância de agricultura de sequeiro, atrelada à indisponibilidade de energia elétrica na região. Outro fator a salientar é que a maior parte dessa área do Médio Grande baiano (cerca de 9000 km^2, 62% do total) faz parte da APA Estadual do Rio Preto. Para o embasamento do modelo utilizaram-se os dados disponíveis no SIAGAS.

A geologia desta bacia está sob influência do alto estrutural denominado Arco de São Francisco. Acredita-se que esta feição cause uma subdivisão no fluxo subterrâneo na área mas, devido à falta de informações hidrogeológicas que corroborem esta hipótese, adotou-se um modelo mais simplificado e conservador na bacia.

O modelo foi então elaborado com *grid* de 200 colunas x 200 linhas com três camadas (Figura 57 e Figura 58), em que cada célula apresentada tem dimensões de aproximadamente 992 m (em X) por 913 m (em Y). As condições de contorno adotadas foram de fluxo nulo nos limites e na base do modelo (Condição do Tipo 2 – Neuman), assumindo-se a premissa de que o SAU não possui conectividade com as formações inferiores (essa suposição não é de todo realista, mas não afeta os resultados finais do modelo de modo significativo, devido ao padrão de fluxo e longos tempos de circulação de água subterrânea, como se demonstrará posteriormente). Os rios foram caracterizados pela condição de contorno 'RIVER' do MODFLOW. A condutividade hidráulica nesta região varia na ordem de 10^{-3} m/s a 10^{-5} m/s conforme os dados disponíveis.

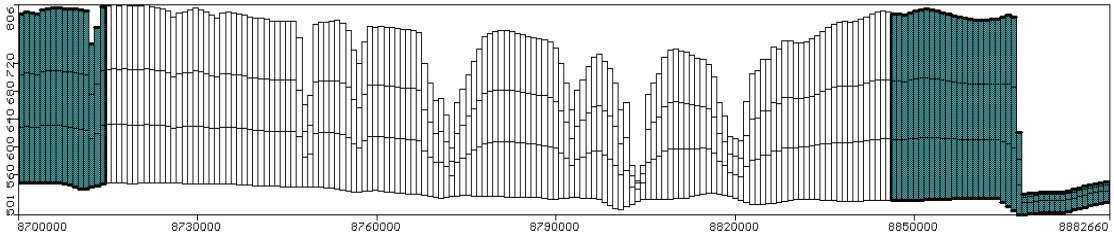


Figura 57 – Perfil N-S na poção central do domínio do modelo da bacia do médio rio Grande com três camadas.

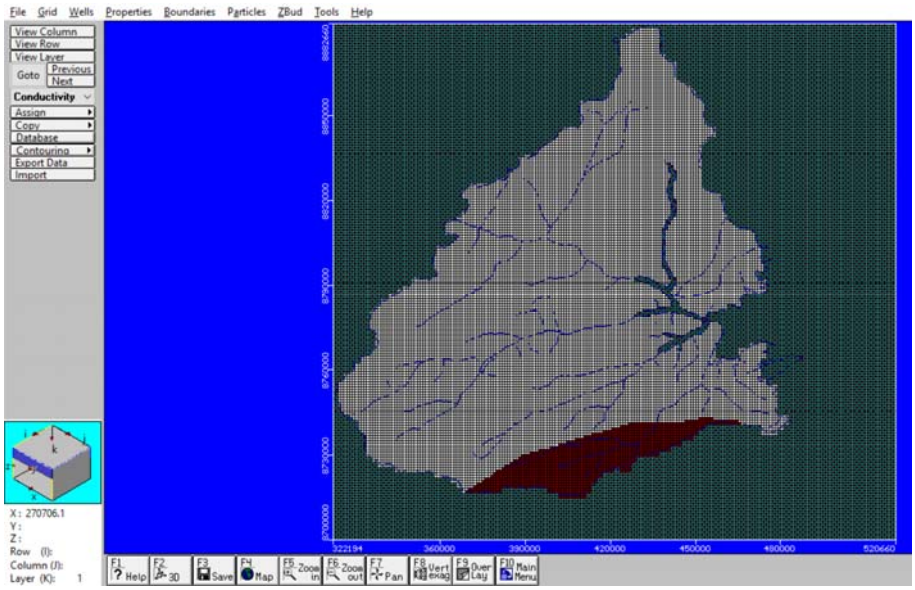


Figura 58 – Exemplo de tela de input de dados da bacia do médio Grande, com ilustração das zonas de diferentes condutividades hidráulicas (em branco e em vermelho) e a malha do modelo.

O balanço hídrico na bacia foi calculado a partir das simulações de fluxo para o Médio Rio Grande, sendo os valores obtidos de, aproximadamente, 14 milhões de m^3/dia de água circulante (Figura 59). Estes valores mostraram-se superiores aos valores de fluxo de base calculados por Gonçalves *et al.* (2018) com base na estação fluviométrica nº 46790000, localizada no Rio Preto, fora da chapada do SAU, que foi de aproximadamente 7,1 milhões de m^3/dia de descarga. O nível potenciométrico calculado na simulação de fluxo variou de 860 m a aproximadamente 540 m de altitude.

Segundo as simulações, embora a recarga ao aquífero seja oriunda, de modo equilibrado, de uma drenagem de rios em porções influentes e diretamente da chuva, a quase totalidade da água drenada do aquífero (saídas de água subterrânea do sistema) vem da drenagem pelos rios. Isso demostra o caráter duplo do papel das drenagens superficiais em sua relação com as águas subterrâneas na bacia, e corrobora o modelo conceitual de interação entre as águas subterrâneas e superficiais mostrado na Figura 33. Ao comparar o volume explotado por poços (volume detectado pelo levantamento da equipe do projeto, podendo não representar o volume total real captado) e o volume de recarga calculado para a bacia do médio rio Grande pela simulação de fluxo, observa-se que apenas 0,06% da taxa recarga é consumida pelo bombeamento (Figura 60).

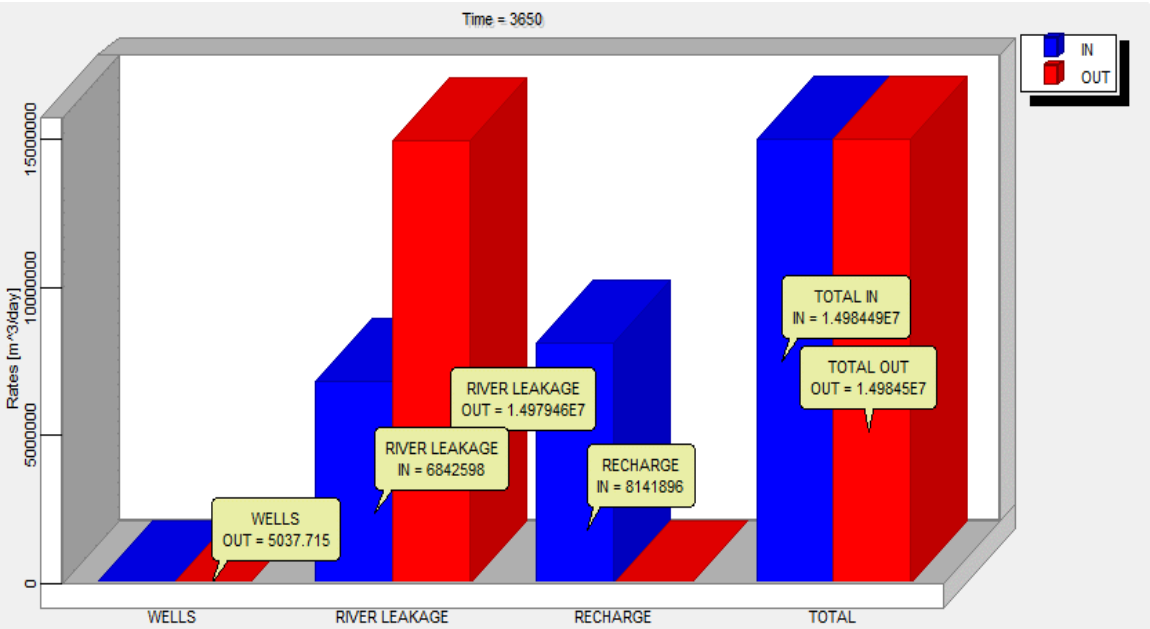


Figura 59 – Gráfico do balanço hídrico da simulação hidrogeológica da Bacia do Médio Grande.

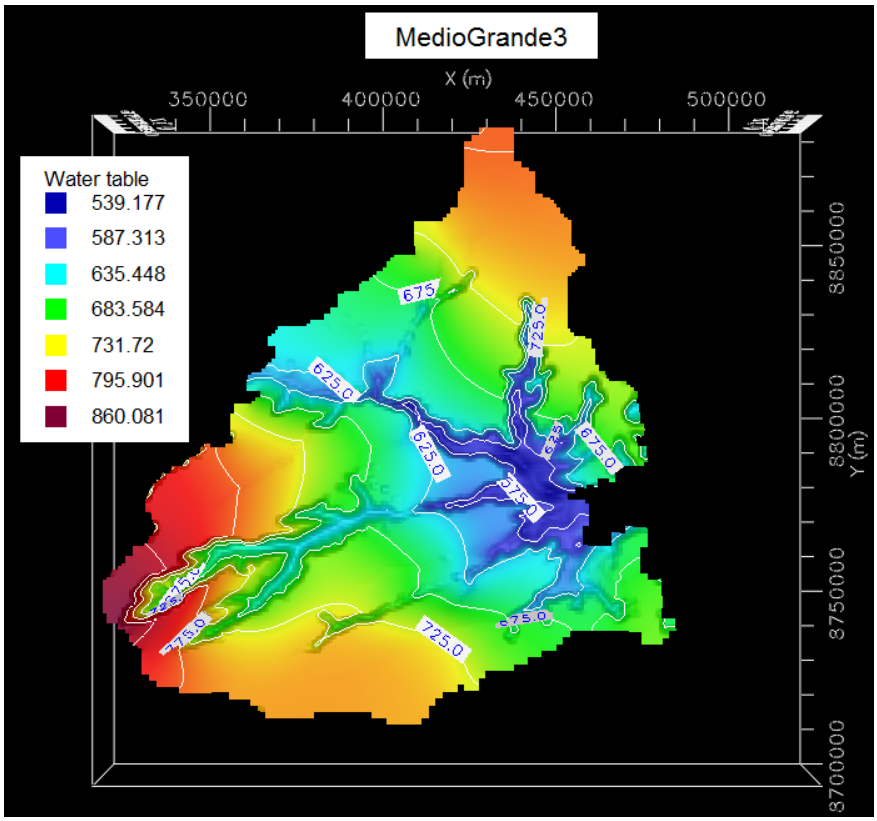


Figura 60 – Imagem 3D da Bacia do Médio Grande, com a representação da superfície potenciométrica.

As simulações de fluxo na bacia do médio rio Grande indicam que na região norte do SAU o fluxo parte das porções norte, oeste e sul (do divisor com a bacia do alto rio Grande) com a descarga na porção leste, com saída no rio Preto (o maior afluente do rio Grande) (Figura 61).

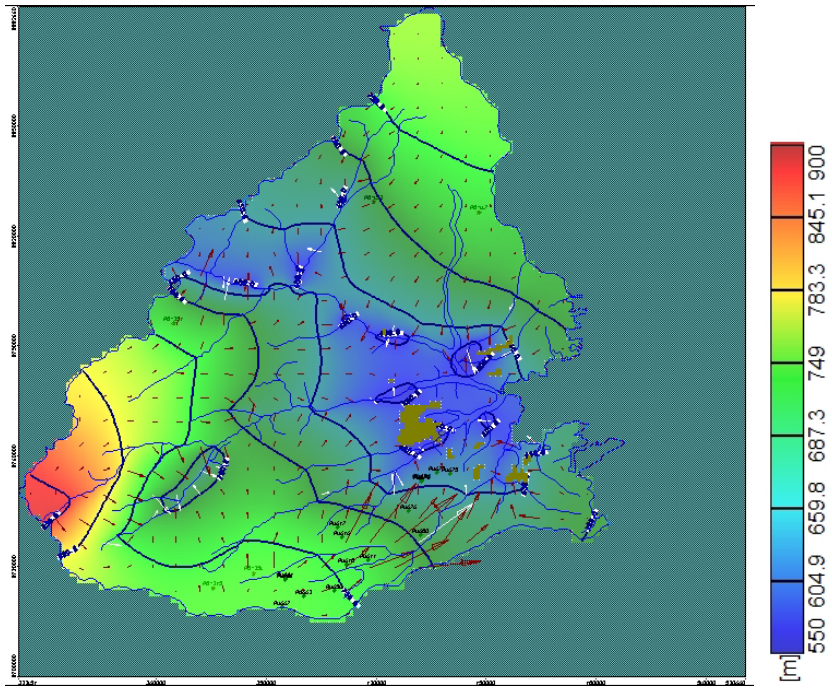


Figura 61 – Mapa potenciométrico da bacia do médio rio Grande com vetores de velocidade fluxo.

Na etapa de calibração, selecionam-se dados físicos para serem ajustados, comparando-se valores observados e preditos pelo modelo. Esses dados costumam ser os que possuem uma incerteza maior, ou seja, de mais difícil determinação e também que devem estar disponíveis em um número que permitam ao modelo um erro aceitável. No caso dos modelos de simulação de fluxo subterrâneo esses dados são em geral os níveis piezométricos representativos dos aquíferos medidos em poços de observação ou bombeamento. A calibração das simulações do estado estacionário para a bacia do Médio Rio Grande e para as demais bacias foi, portanto, realizada com base nos níveis piezométricos estacionários dos poços disponíveis nos bancos de dados públicos. Os valores dessa piezometria são então ajustados por um processo estatístico, objetivando-se a otimização de um indicador estatístico, frequentemente a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMS). Os erros médios quadráticos, ou erros médios residuais quadráticos (RMS) foram considerados satisfatórios quando inferiores a 10%, o que é usualmente considerado como o valor apropriado para uma boa simulação (Legates e McCabe, 1999).

Para esta simulação da bacia do Médio Rio Grande, o RMS obtido foi de 9,7% (Figura 62). Este valor pode ser justificado pela ausência de informações para elaboração do modelo conceitual e por uma alta concentração de poços utilizados na calibração na mesma região. A falta de dados em quantidade suficiente para a calibração espacial e temporal de todo o SAU é a tônica na região, porém nas bacias do médio rio Grande e Carinhanha a situação é ainda mais desfavorável.

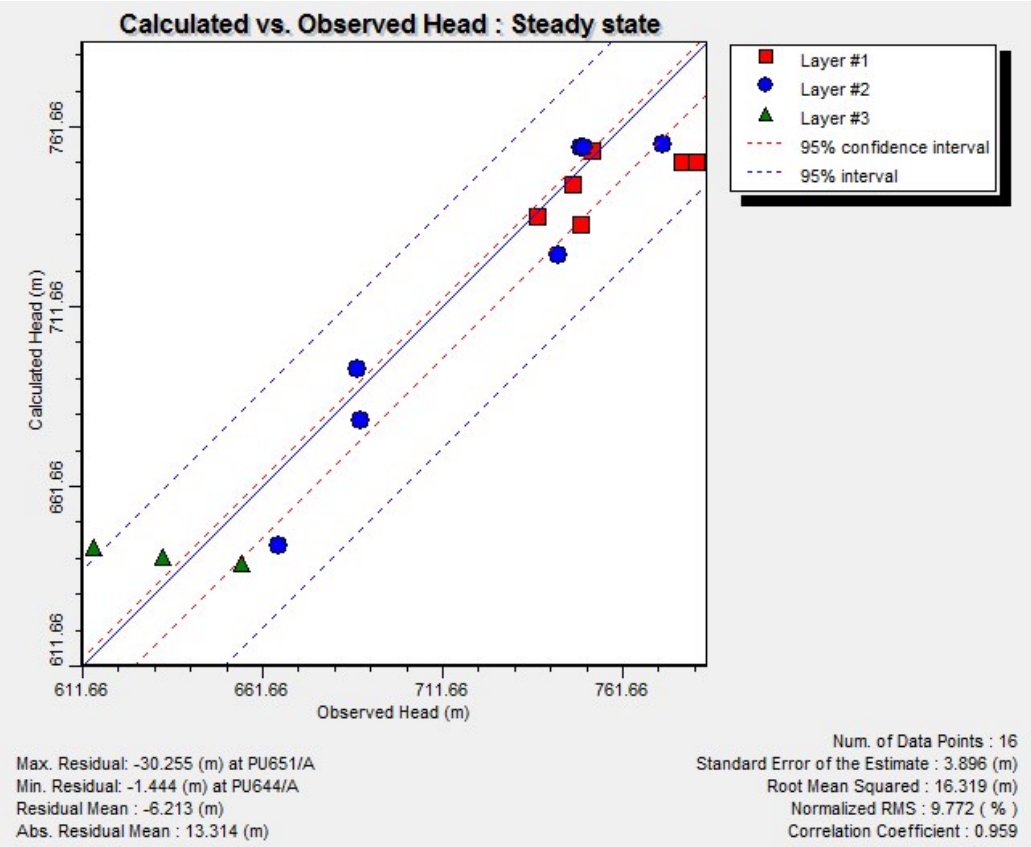


Figura 62 – Gráfico de calibração da simulação da bacia do médio rio Grande (carga hidráulica calculada vs. observada).

Como forma de elevar a confiabilidade do modelo e das simulações, recomenda-se um refinamento na aquisição de dados, principalmente nas áreas mais carentes de informações, uma melhor definição da espessura do aquífero e um ajuste nos parâmetros e nas condições de contorno.

A correta avaliação do potencial de acumulo e extração de água do SAU nessa bacia fica condicionada a um aporte de dados mais substancial, particularmente em áreas sem poços tubulares profundos. Não obstante, comparando-se a extração atual com o potencial da bacia do Médio Rio Preto a capacidade de utilização do recurso é ainda passível de desenvolvimento.

6.1.2 Bacia do Alto Rio Grande – Porção Sul

A bacia do alto Grande, caracterizada como a porção sul da bacia homônima no SAU, é representada principalmente pelos rios Branco, Rio de Janeiro, Ondas e Fêmeas, além do rio Grande. Esta bacia ocupa uma área de aproximadamente 33.208 km^2, e sobre ela está inserida a região de maior desenvolvimento urbano e agrícola do oeste baiano, os municípios de Barreiras, São Desidério e Luís Eduardo Magalhães.

Para esta região foi elaborada uma simulação de fluxo em regime estacionário, em malha de diferenças finitas com células de dimensões de 1668m (em X) e 1335m (em Y), com 3 camadas (Figura 63 e Figura 64).

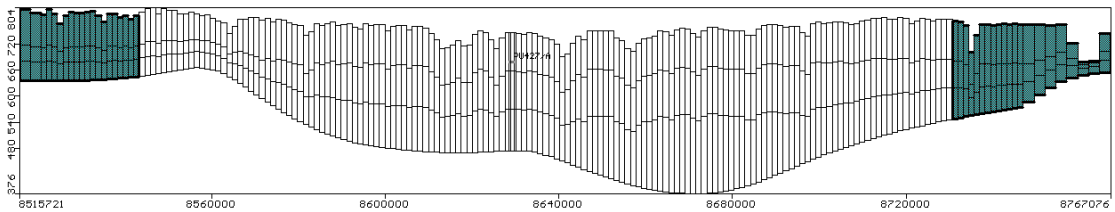


Figura 63 – Perfil (N-S) da porção central da bacia do alto rio Grande, com as três camadas do modelo.

As condições de contorno adotadas foram de fluxo nulo nos limites e no fundo do modelo (Condição 2), assumindo que o SAU não possui conectividade com as formações inferiores. Os rios foram caracterizados pelo contorno RIVER do MODFLOW. As condutividades hidráulicas nesta região variaram na ordem de 10^{-4} m/s a 10^{-7}m/s nas camadas 1 e 2, enquanto na camada 3 a condutividade variou na ordem de 10^{-3}m/s a 10^{-4}m/s (Figura 65). O nível potenciométrico calculado na simulação de fluxo variou de 892m a aproximadamente 524 m (Figura 66).

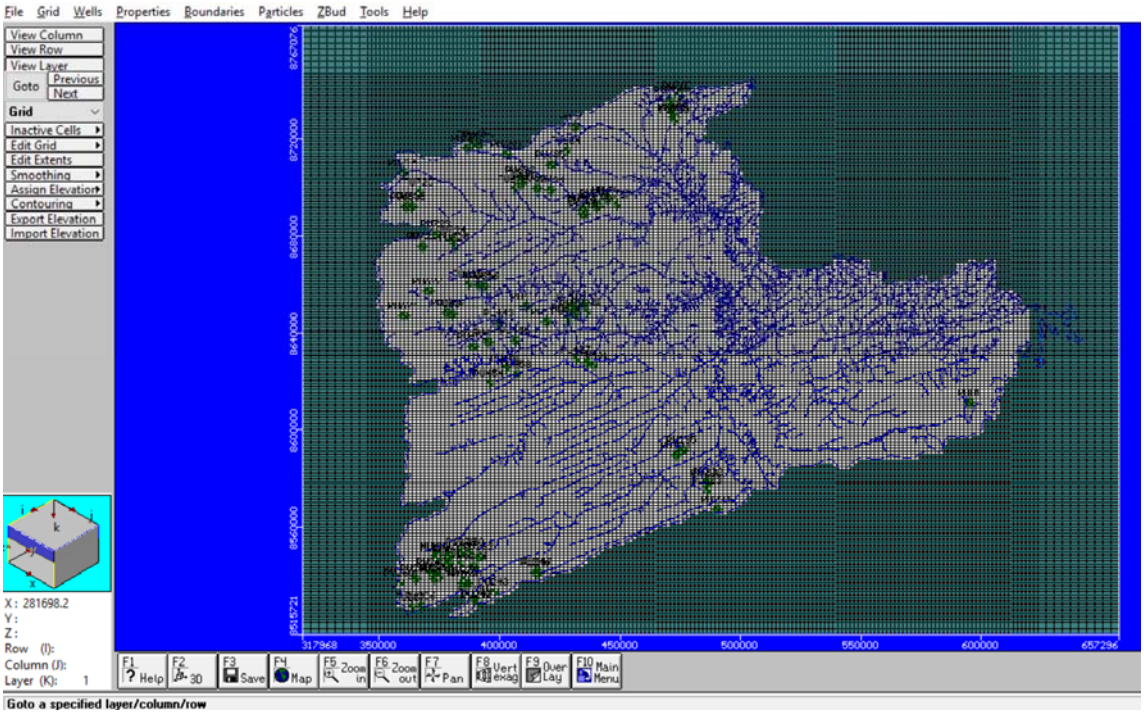


Figura 64 – Exemplo de tela com dimensão da malha na bacia do alto rio Grande, com os poços de monitoramento utilizados na calibração

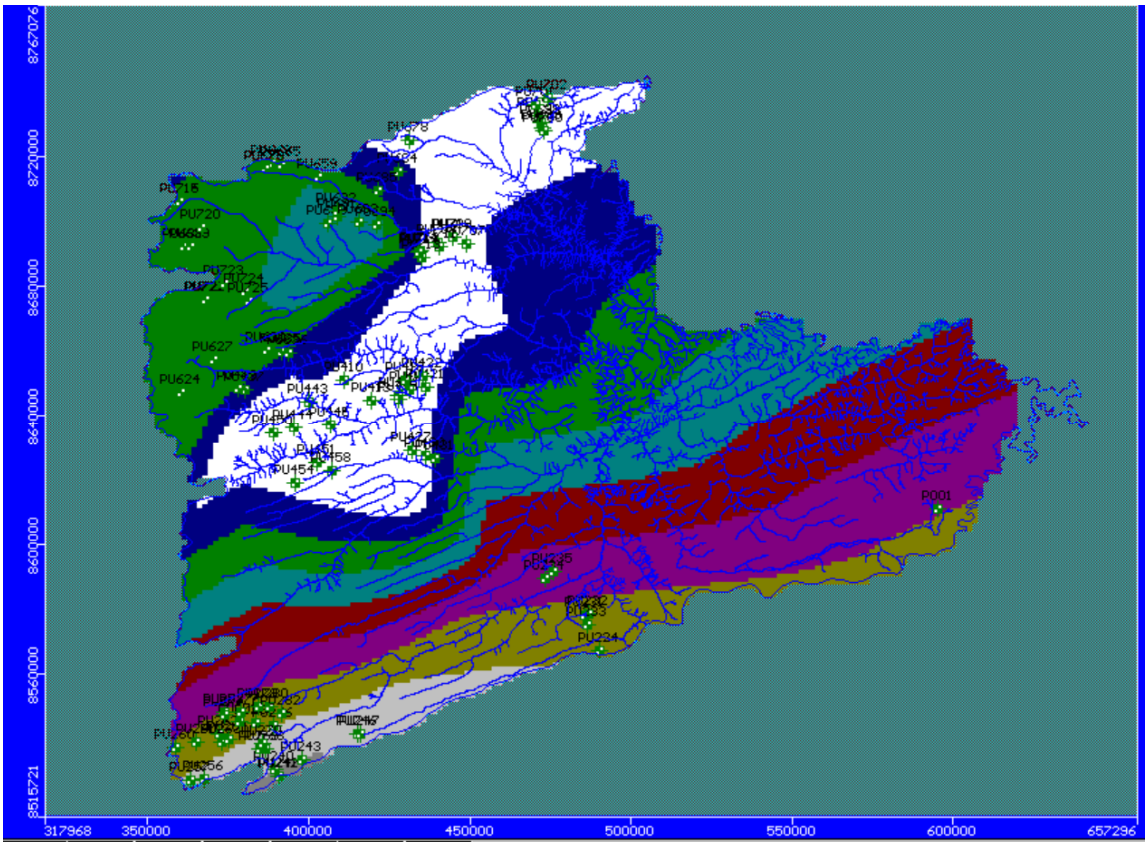


Figura 65 – Distribuição da condutividade hidráulica na bacia do alto rio Grande.

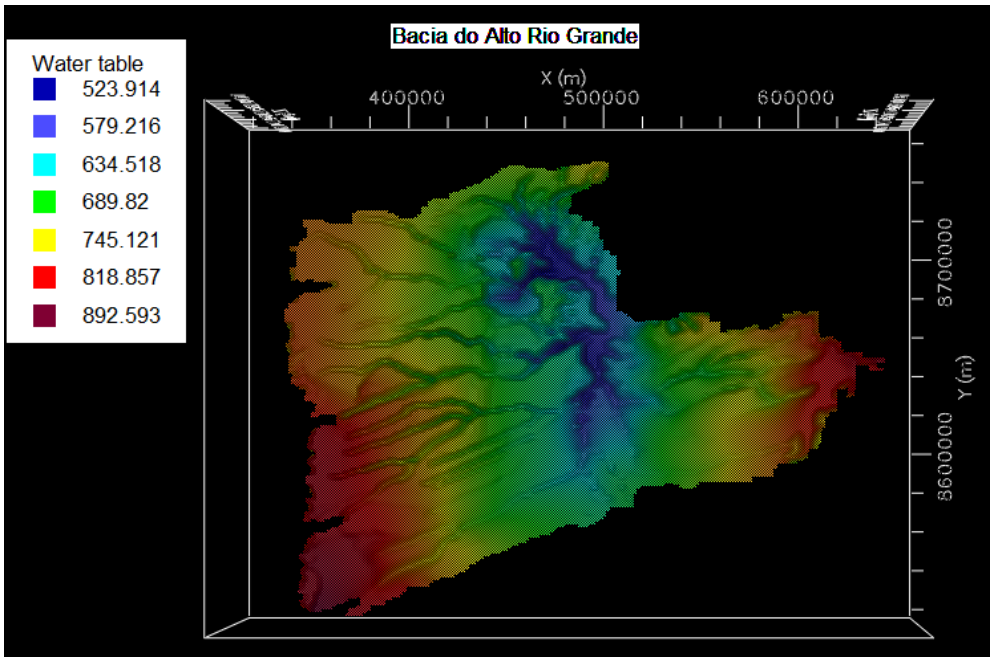


Figura 66 – Mapa 3D com a representação da superfície potenciométrica da Bacia do Alto Grande.

Para a bacia do alto Grande, com o balanço hídrico calculado a partir das simulações de fluxo em estado estacionário, obtiveram-se valores saídas totais de aproximadamente 26,3 milhões de m^3/dia (Figura 67). Grande parte das descargas, aproximadamente 98% do volume de fluxo segundo as simulações, foram para os rios. Para efeito de avaliação, estas vazões foram comparadas aos valores de fluxo de base calculados por Gonçalves *et al.* (2018), com base nas estações fluviométricas dos rios que compõem a bacia localizadas na saída da chapada do SAU. Esse volume foi de aproximadamente 15,52 milhões de m^3/dia de descarga. Identificou-se, portanto, uma discrepância na descarga entre os dois cálculos.

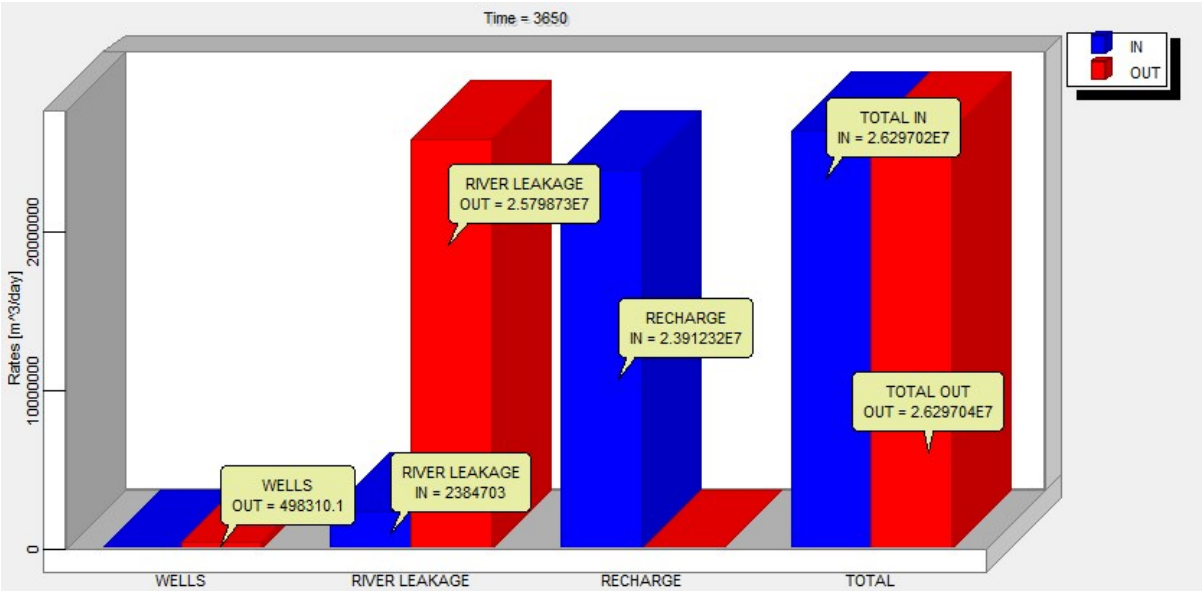


Figura 67 – Gráfico do balanço hídrico da simulação hidrogeológica da Bacia do Alto rio Grande.

A calibração das simulações do estado estacionário para a bacia alto Grande foi realizada com base nos níveis estacionários dos poços disponíveis nos bancos de dados públicos. O erro médio residual (RMS) obtido para esta simulação foi de 8,04%, melhor resultado, portanto, que no Médio Grande. Isso se deve à maior quantidade e qualidade de dados existentes nessa bacia (Figura 68).

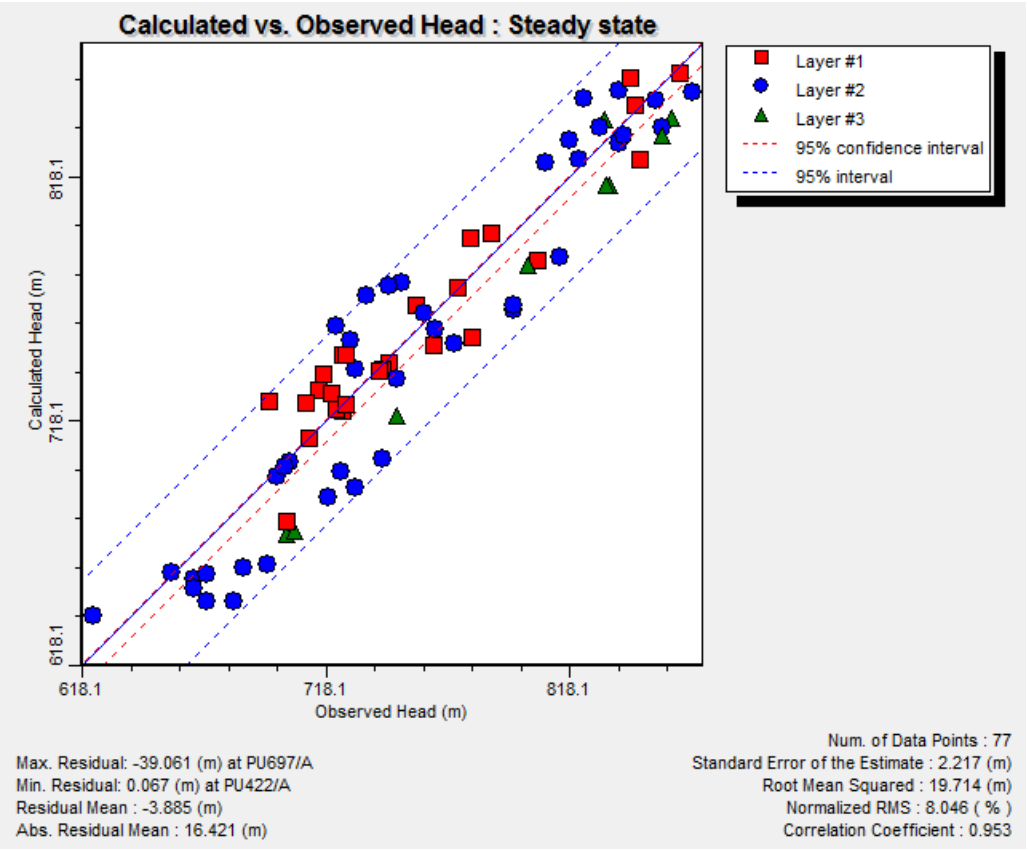


Figura 68 – Gráfico de calibração da simulação da bacia do Alto rio Grande (carga hidráulica calculada vs. observada).

O nível potenciométrico calculado na simulação estacionária da Bacia do Alto Grande foi aplicado como a carga inicial do modelo em estado transiente (descrito no item 6.2.2).

6.1.2.1 *Modelagem em área de detalhe na Bacia do alto Grande*

Na bacia do alto rio Grande selecionou-se uma área menor para a realização de um exercício de simulação que visou avaliar o efeito do bombeamento do aquífero sobre os cursos d'água superficiais, com atenção especial a dois aspectos em particular, o raio de influência dos poços e eventuais efeitos do bombeamento sobre os rios. Em seguida discutem-se os resultados obtidos nessas simulações.

A porção da bacia do alto rio Grande selecionada para o teste foi ao sul, na zona de cabeceira do próprio rio Grande, entre este e o rio Fervedouro ao norte. A razão da escolha desse local deveu-se a presença de um *cluster* de poços de bombeamento concentrado em uma pequena área, próximo a alguns rios (Figura 69 e Figura 70).

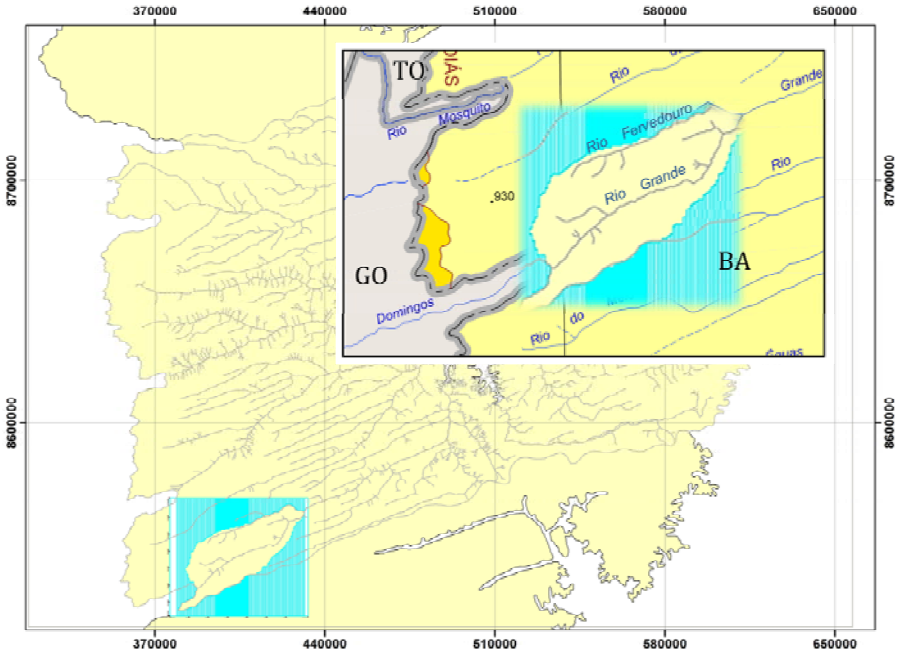


Figura 69 – Segmento da bacia do alto rio Grande, situada na zona de cabeceira do próprio rio Grande, entre este e o rio Fervedouro, selecionada para a simulação de detalhe visando o teste e exemplo de uso das ferramentas MODPATH e ZONEBUDGET.

Essa densidade de poços permitiu caracterizar o efeito do bombeamento citado sobre as condições simuladas nesse aquífero em toda a área da simulação da bacia do alto rio Grande. Esta microbacia ocupa uma área de aproximadamente 33,2 km^2, e sobre ela está inserida a região de maior desenvolvimento urbano e agrícola do oeste baiano, os municípios de Barreiras, São Desidério e Luís Eduardo Magalhães.

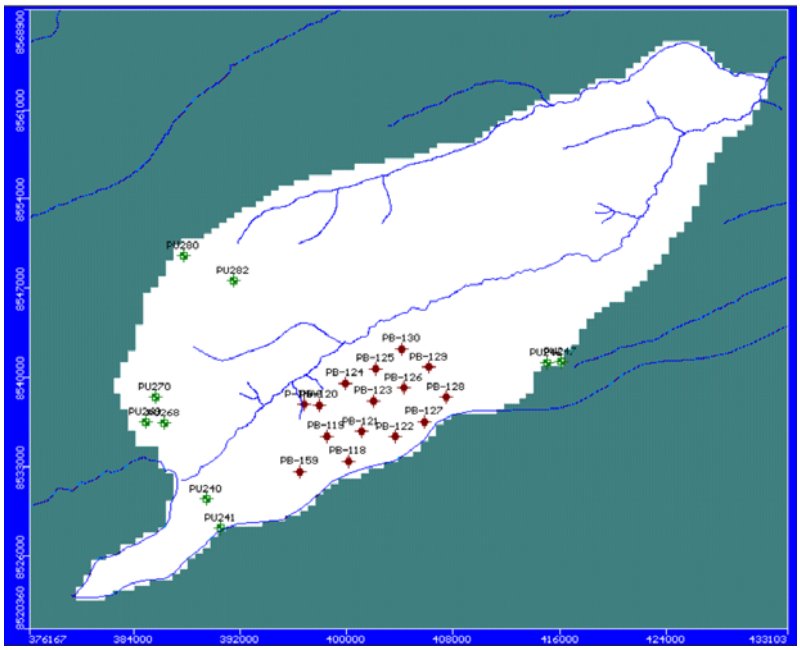


Figura 70 – Poços de bombeamento (PB - em marrom) e de observação (PU - quadrículas verdes e brancas) na área de detalhe da cabeceira da bacia do alto rio Grande.

Para esta região foi elaborada uma simulação de fluxo em regime estacionário, em malha de diferenças finitas, com células de dimensões de 580 m (em X) e 440 m (em Y), com três camadas e com um adensamento de cerca de três vezes da malha na área em que estão presentes os poços de bombeamento (Figura 71).

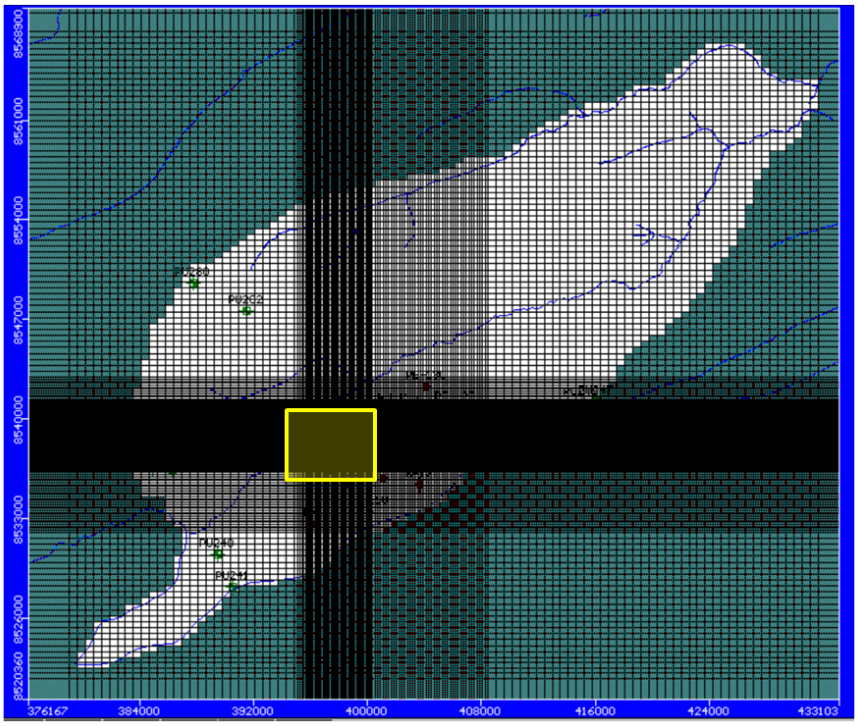


Figura 71 – Área de detalhe da bacia do alto rio Grande simulada no Visual MODFLOW, com a visualização da área com a malha mais adensada na zona do cluster de poços. O retângulo amarelo mostra a área de detalhe apresentada nos resultados da simulação.

As condições de contorno adotadas foram de fluxo nulo nos limites e na base do modelo, como no restante da bacia (Condição 2). Os dados aplicados foram os mesmos do restante da bacia. Para acompanhar a trajetória de fluxo aplicou-se a ferramenta MODPATH, *software* de rastreamento de partículas projetado para trabalhar com a saída do MODFLOW-2005. Para calcular os volumes envolvidos na transferência de água para o poço de e para os rios, utilizou-se a ferramenta ZONEBUDGET. Este é um programa de computador que calcula balanços de massa de água sub-regionais e locais usando os resultados do MODFLOW. O usuário designa as sub-regiões especificando os números das zonas. Um balanço de massas separado é calculado para cada zona.

Como resultado da aplicação das duas ferramentas supracitadas, pôde-se avaliar o efeito do bombeamento de um ou vários poços nas cercanias de rios que drenam a região do estudo. Observou-se, no exemplo selecionado, que os poços de bombeamento de altas vazões (superiores a 500 m^3/h) exercem uma influência – interferência – sobre os rios adjacentes limitada, com os parâmetros utilizados, a uma distância de cerca de 300 m. Na Figura 72 pode-se visualizar o resultado da simulação com a observação do fluxo nas porções mais superficiais do aquífero e o rastreio de partículas na porção com a malha refinada.

Em termos gerais, na bacia, observa-se que as linhas de fluxo estão direcionadas às calhas do alto rio Grande e do Fervedouro, mostrando o aspecto efluente desses rios.

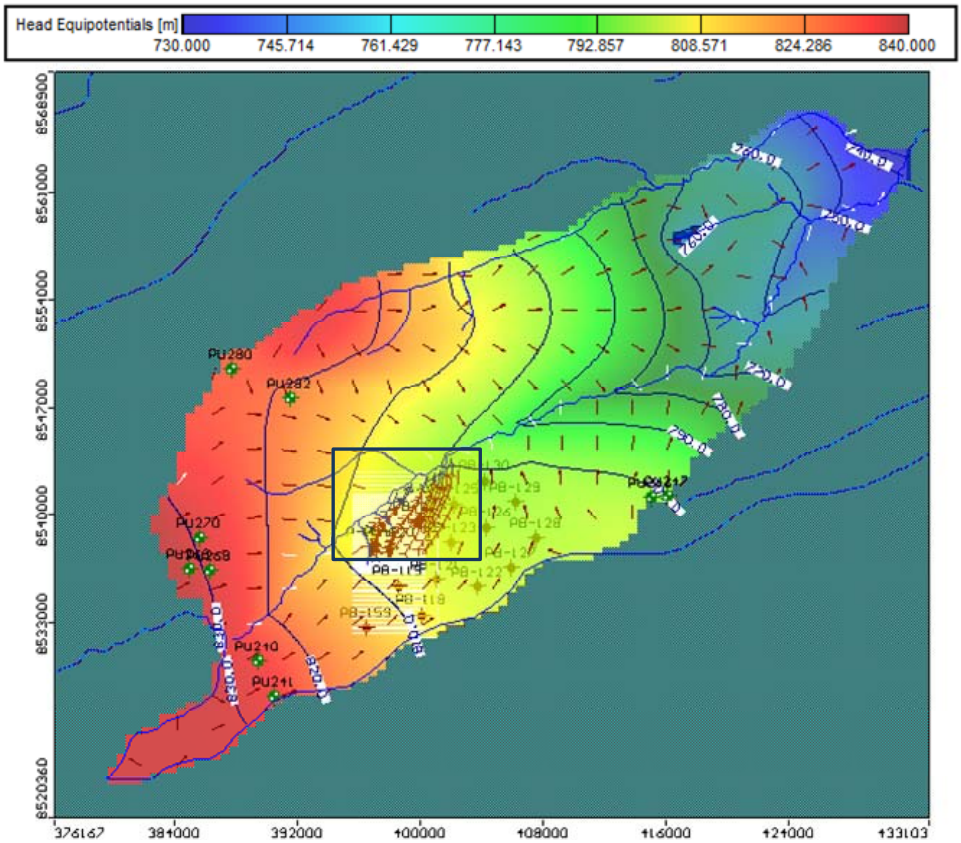


Figura 72 – Simulação do fluxo no detalhe da bacia do alto rio Grande. A figura mostra os vetores de fluxo nas porções mais superficiais do aquífero e o rastreio de partículas na porção com a malha refinada (retângulo do detalhe, ver na Figura 73 a seguir).

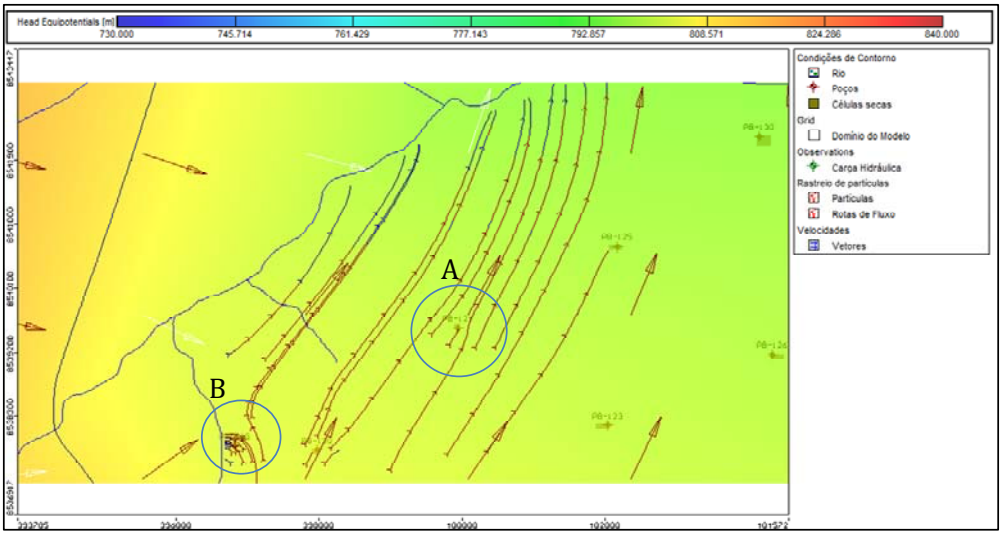
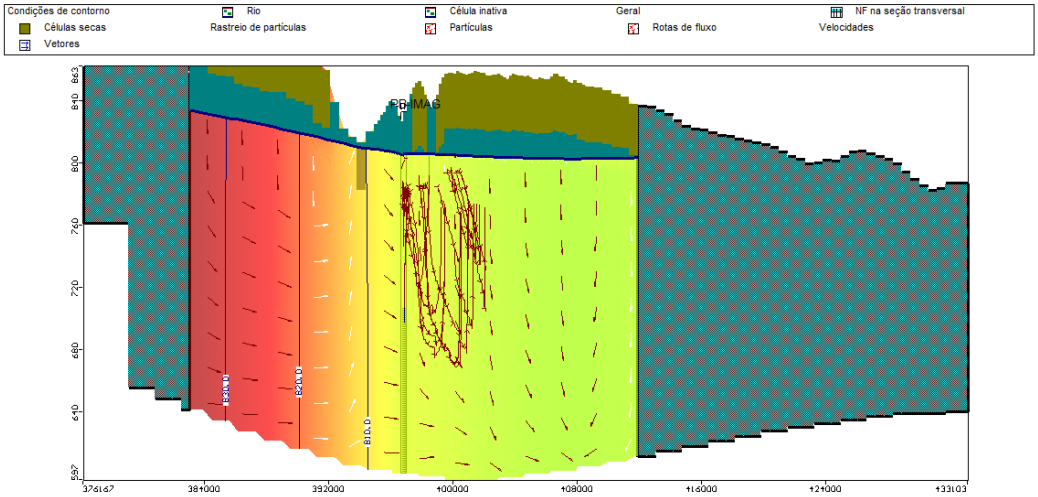
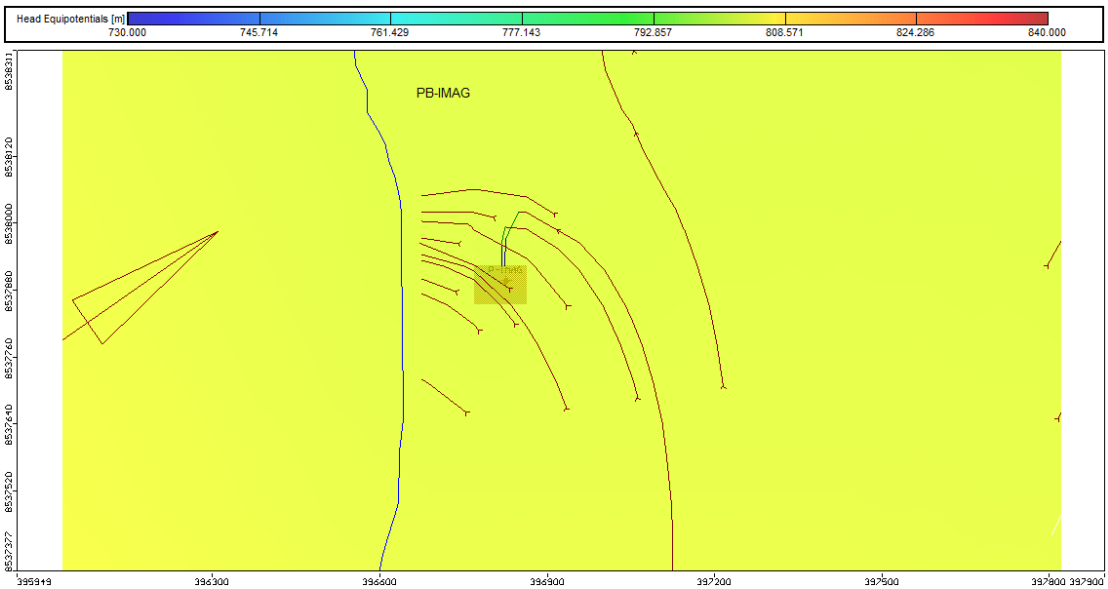


Figura 73 – Ampliação da área do retângulo da Figura 72 anterior da simulação do fluxo no detalhe da bacia do alto rio Grande. Pode-se observar que a zona de captura do PB-124, com uma vazão diária de 126 m^3/h, limita-se a menos de 150 m do poço de bombeamento, em uma distância perpendicular à direção de fluxo (detalhe A). O poço PB-IMAG, fictício e bombeando uma taxa de 500 m^3/h, cujo efeito no seu entorno é um pouco maior (detalhe B), pode ser observado na Figura 74 A e B a seguir.



(A)



(B)

Figura 74 – Detalhe do poço de bombeamento PB-IMAG (fictício) bombeando 500 m^3/h nas proximidades de um pequeno rio na área de teste. O perfil (A) mostra a superposição de efeitos de gradientes hidráulicos com a pequena influência do poço no fluxo geral. Em (B) observa-se que a partir de 200-250 m de distância não ocorreria mais a captura da água circulante no aquífero pelo hipotético poço, em uma distância perpendicular à trajetória de fluxo.

Os resultados mostrados nas figuras anteriores permitem definir que, mesmo em uma área com alta densidade de poços, não se observa inflexão das linhas de fluxo a partir de uma distância variável entre 200-250 m para um novo poço de bombeamento cuja implantação foi simulada.

Também foi realizado um zoneamento da área com concentração de poços de bombeamento (Figura 75) para avaliar o impacto desta sobre o restante do aquífero. Os

resultados indicam que, embora a Zona 1 (todo o contorno de detalhe estudado no presente item, exceto a zona de bombeamento intenso) contribua para a manutenção do balanço hídrico do aquífero na zona de bombeamento intenso (Zona 2), esta conseguiria manter seu equilíbrio a longo prazo, pois a recarga das chuvas ainda seria superior ao valor extraído (comparação das colunas *Wells* e *Recharge* na Figura 76). É expressiva, contudo, a contribuição da Zona 1 à manutenção do balanço hídrico da Zona 2 (Figura 76).

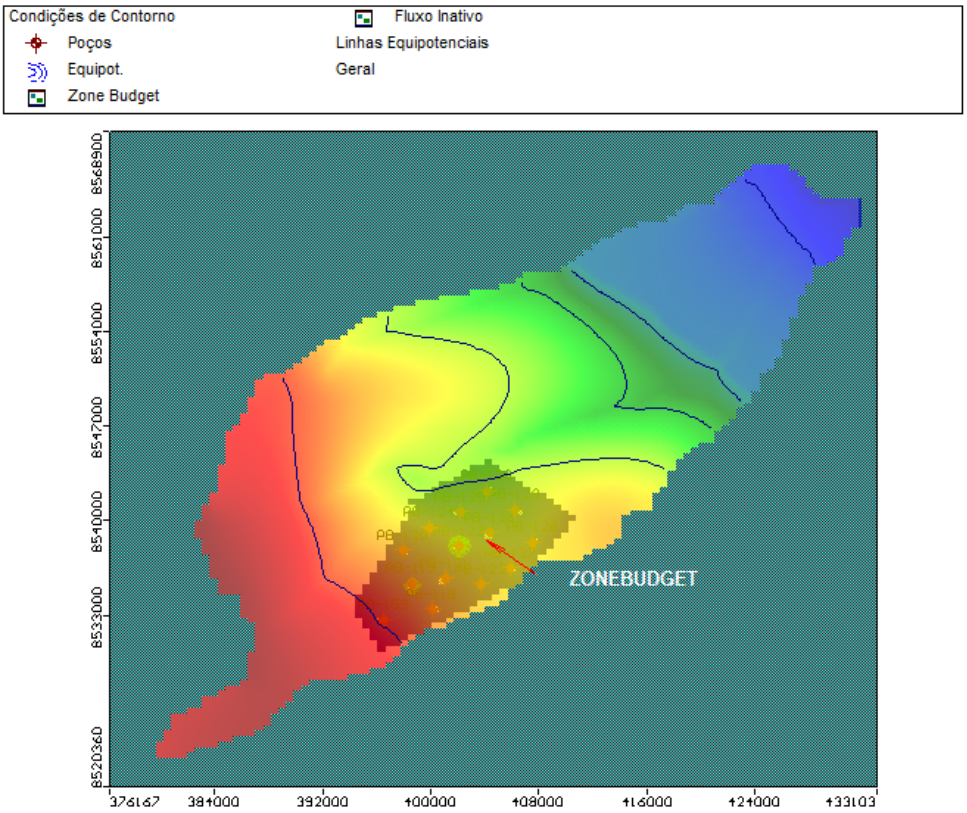


Figura 75 – Zoneamento da área de detalhe na bacia do alto Grande em área com grande concentração de poços de bombeamento com o emprego da ferramenta ZONEBUDGET.

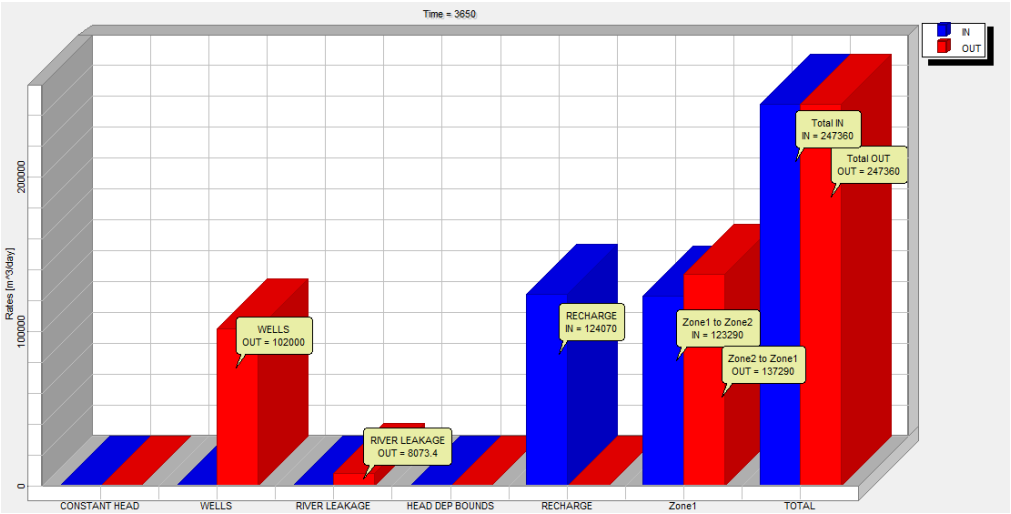


Figura 76 – Resultado da aplicação do ZONEBUDGET na área delimitada na Figura 75.

6.1.3 Bacia do Rio Corrente

A bacia do Rio Corrente ocupa uma área de 26.786,7 km^2 na região oeste do estado da Bahia. Nela estão inseridos os rios Guará, das Éguas (Correntina), Arrojado e Formoso, todos afluentes do Rio Corrente. O domínio do modelo conta com uma malha retangular de aproximadamente 667m (em X) por 570 m (em Y) e três camadas (Figura 77).

As condições de contorno adotadas foram de fluxo nulo nos limites e na base da camada inferior do modelo, assumindo que o SAU não possui conectividade com as formações inferiores (Condição 2). Os rios foram caracterizados pelo contorno RIVER do MODFLOW e algumas nascentes foram caracterizadas como DRAIN. A condutividade hidráulica nesta região variou entre 10^{-4} m/s a 10^{-5}m/s nas camadas 1 e 2, enquanto na camada 3 a condutividade variou entre 10^{-3}m/s a 10^{-4}m/s, segundo os dados disponíveis. O nível potenciométrico calculado na simulação de fluxo variou entre 868 m até aproximadamente 562 m de altitude (Figura 78).

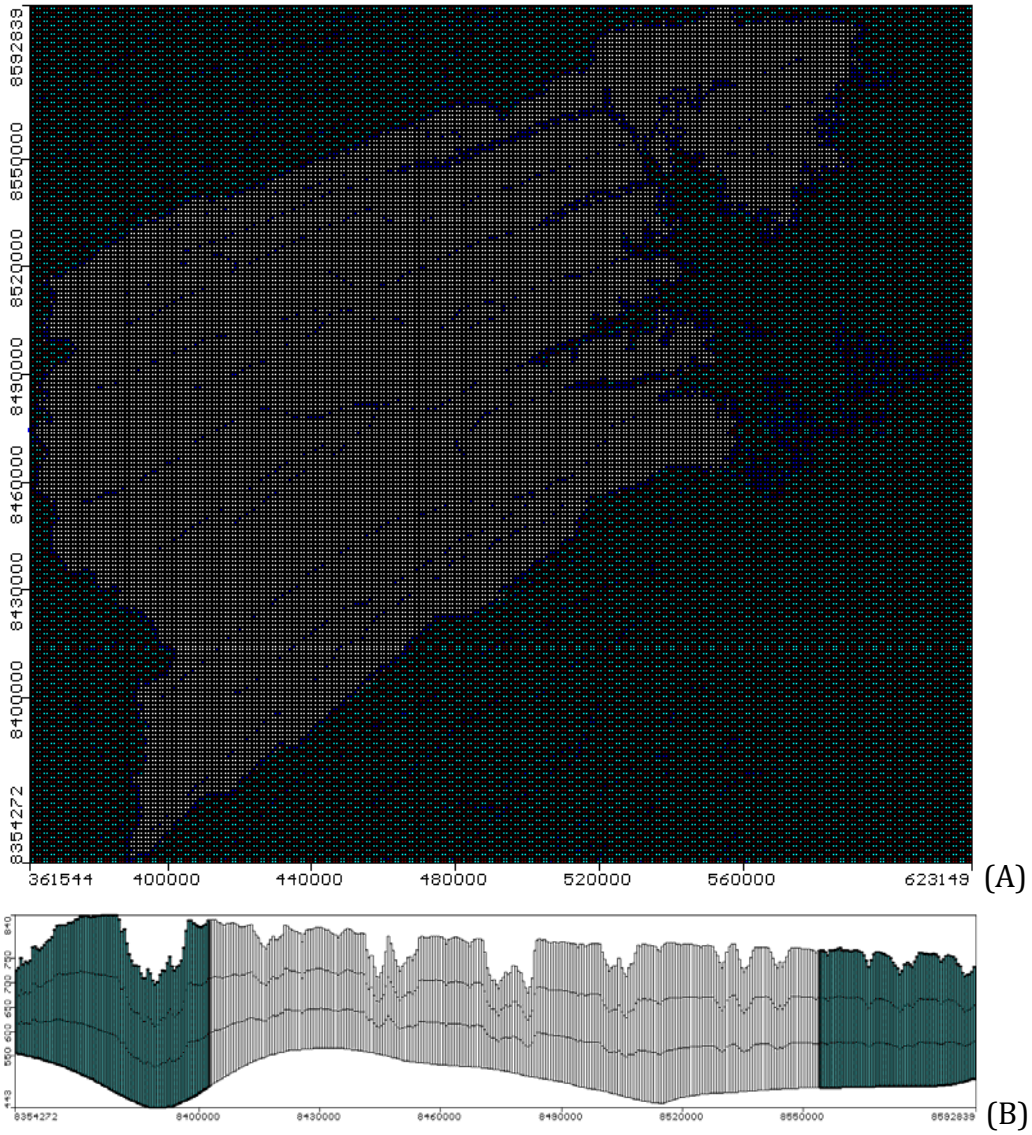


Figura 77 – Representação do domínio do modelo da bacia do rio Corrente (A) e Seção do N-S da porção central da bacia (B

O balanço hídrico na bacia do Rio Corrente foi calculado a partir das simulações de fluxo. Os valores obtidos de recarga foram de, aproximadamente, 23.260.000 m^3/dia (Figura 79). Estes valores se mostraram superiores aos valores de fluxo de base calculados por Gonçalves *et al.* (2018) com base nas estações fluviométricas localizadas após a chapada do SAU, que foi de aproximadamente 14,7 milhões de metros cúbicos de descarga.

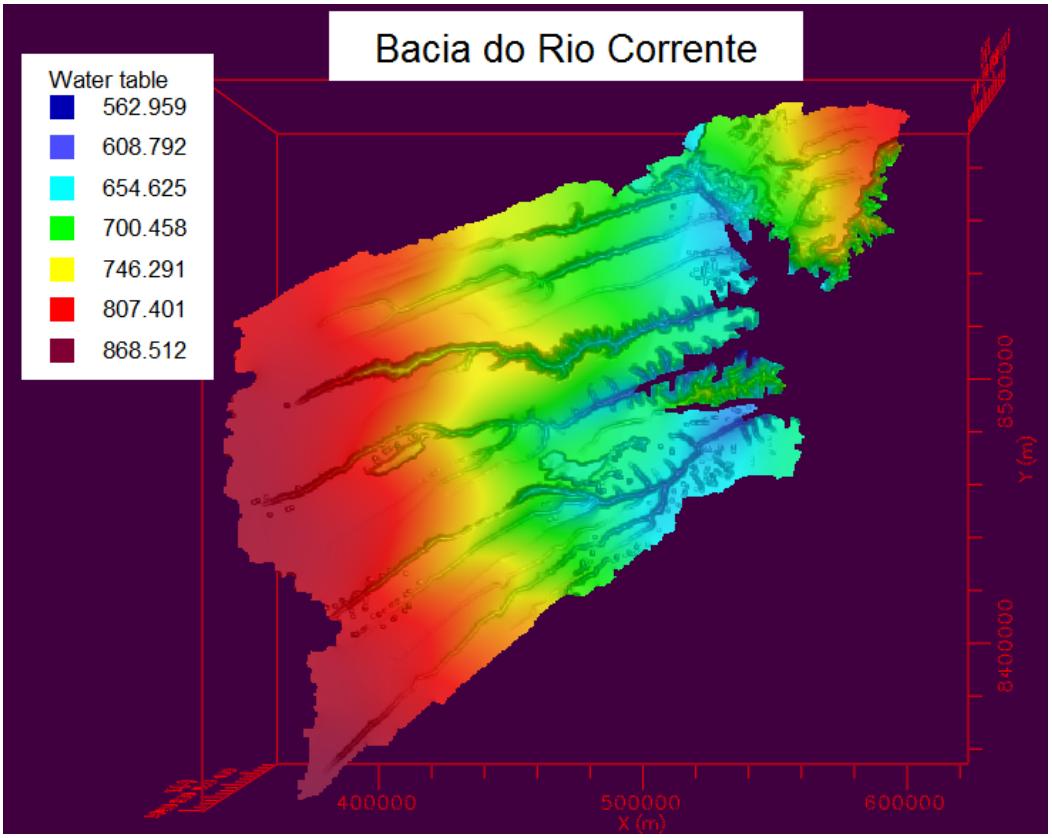


Figura 78 – Representação 3D da superfície potenciométrica da bacia do rio Corrente.

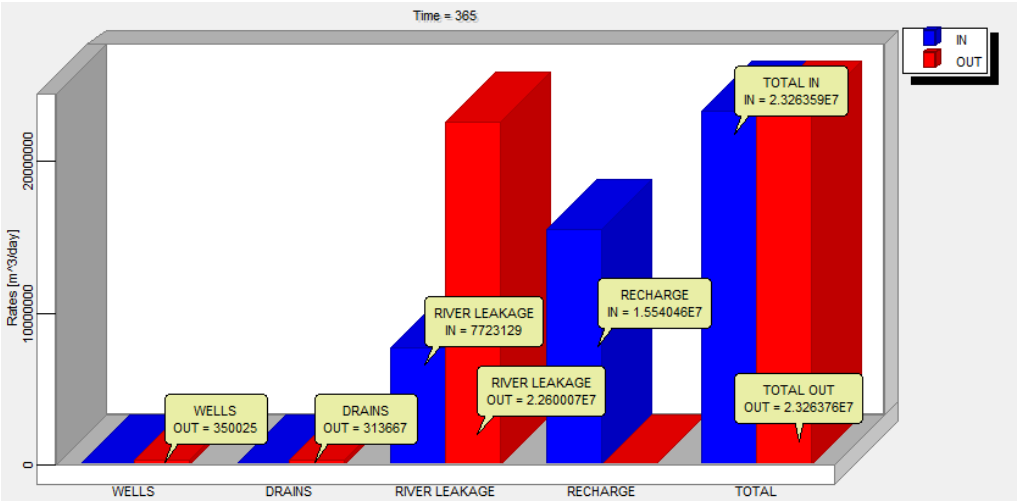


Figura 79 – Gráfico do balanço hídrico calculado da bacia do rio Corrente, com as vazões diárias de saída e entrada dos poços, drenos, rios, recarga e o volume total.

A calibração das simulações do estado estacionário para a bacia do Rio Corrente foi realizada com base nos níveis estacionários dos poços disponíveis nos bancos de dados públicos. Para esta simulação da bacia do Rio Corrente o RMS obtido foi de 8,7 %.

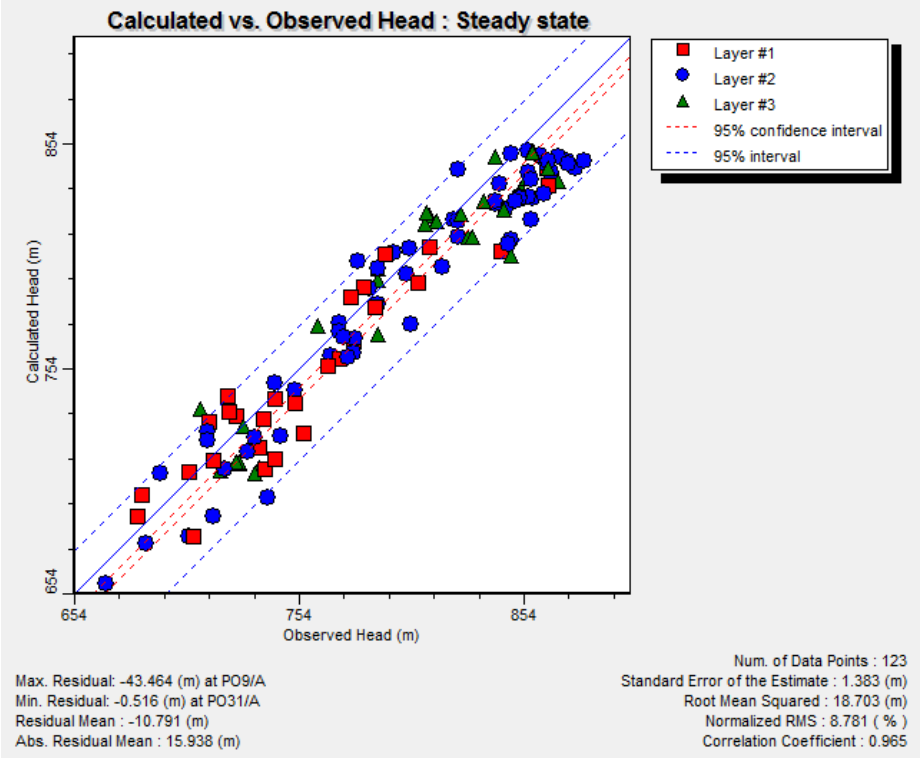


Figura 80 – Gráfico de calibração da simulação de fluxo da bacia do rio Corrente (carga hidráulica calculada vs. observada).

Os resultados das simulações em estado estacionário da bacia do Rio Corrente foram aplicados como Cargas Iniciais (*Initial Heads*) das simulações em estado transiente.

6.1.4 Bacia do Rio Carinhanha

A porção baiana da bacia do Rio Carinhanha possui 7.709,2 km^2 nos quais estão inseridos os rios Itaguari e Carinhanha. Neste caso a simulação não considerou a área total da bacia, apenas a porção inserida no Estado da Bahia e no SAU, o que corresponde à área de captação da margem esquerda do rio.

As condições de contorno adotadas foram de fluxo nulo nos limites (Condição 2), exceto no limite sul, em que o rio Carinhanha define a divisa entre os Estados da Bahia e Minas Gerais. Nesse limite foi adotada a condição contorno tipo RIVER. Na base do modelo assumiu-se que não há conectividade com as formações inferiores. Os demais rios também foram caracterizados pelo contorno RIVER do MODFLOW. As condutividades hidráulicas nesta região variaram na ordem de 10^{-3} m/s a 10^{-5}m/s.

A Figura 81 representa o nível potenciométrico calculado na simulação de fluxo na porção baiana da bacia do rio Carinhanha, com fluxo de SW para NE, acompanhando o curso do rio.

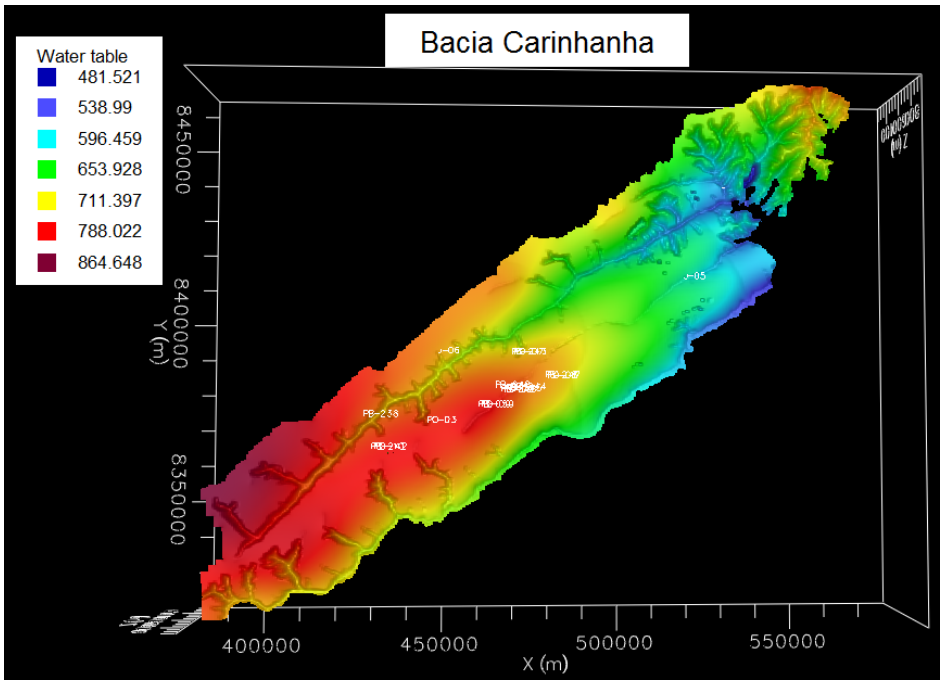


Figura 81 – Mapa de representação 3D da superfície potenciométrica da bacia do rio Carinhanha.

Gonçalves *et al.* (2018), com base nas estações fluviométricas dos rios que compõem a bacia localizadas na saída da chapada do SAU, estimaram o fluxo do aquífero que foi de aproximadamente 9,53 milhões m^3/h de descarga para os rios (Figura 82). Os valores obtidos do balanço de massas das simulações hidrogeológicas para o rio Carinhanha apontam um valor em torno de 5,46 m^3/dia. Essa discrepância pode ser atribuída à baixa densidade de informações para a calibração do modelo numérico, o que diminui a precisão do modelo. Esta foi a única bacia em que as estimativas de volumes circulantes no aquífero resultaram menores que as estimadas por Gonçalves *et al.* (op. cit.).

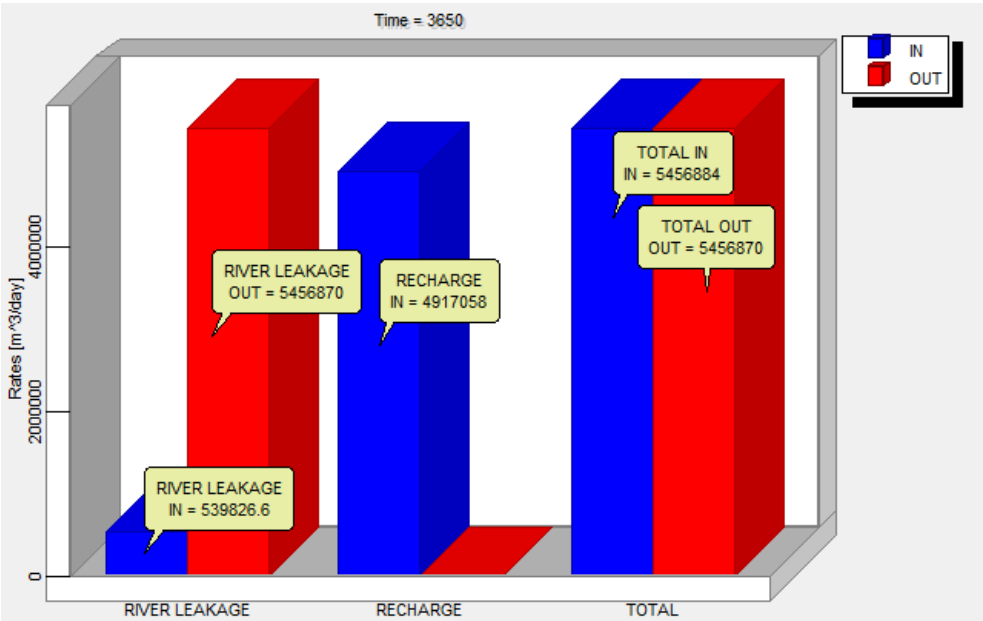


Figura 82 – Gráfico do Balanço hídrico da bacia do rio Carinhanha.

A calibração das simulações numéricas foi realizada com base nas observações do nível de água em apenas 10 poços, dos quais sete têm filtros que estão inseridos na primeira camada, dois poços na camada 2 e um poço na camada 3. Neste caso, a calibração foi razoavelmente satisfatória com a aproximação do erro médio normalizado dos 10% (10,09%), o que, mais uma vez, se deve à baixa densidade e confiabilidade das informações existentes.

6.1.5 Avaliação dos resultados

As simulações em estado estacionário indicaram que os aquíferos têm uma grande capacidade de armazenamento e de circulação de água subterrânea, constituindo em todas as bacias corpos hídricos relativamente homogêneos em seu comportamento hidráulico, com uma tendência a uma diminuição da transmissividade em direção leste. O processo de calibração resultou em discrepâncias aceitáveis entre os valores simulados e medidos em todas as bacias, considerando a escassez de dados e a natureza do SAU.

De um modo geral os volumes presentemente explotados são ainda uma fração menor com respeito ao potencial do aquífero (Quadro 9). Não obstante, a incerteza quanto aos dados utilizados, quanto à presença de eventuais poços irregulares não cadastrados e também quanto à geometria e parâmetros hidráulicos obtidos sugere cautela quanto a expansão das extrações do SAU.

Quadro 9 – Quadro comparativo dos volumes explotados por poços e a recarga do aquífero em cada uma das bacias

Médio Rio Grande	8.141.896	5.037,7	0,06%
Alto Rio Grande	23.912.320	498.310,1	2%
Rio Corrente	15.540.460	350.025	2%
Rio Carinhanha	4.917.058	46.142	0.93%

Com respeito ao exercício de simulação de detalhe no extremo sul da bacia do alto rio Grande, pôde-se observar que a influência direta (zona de captura) dos poços de bombeamento com respeito ao entorno parece estar limitada, com os dados disponíveis, até cerca de 300 m dos poços de bombeamento com as vazões praticadas na área de estudo. Contudo, como observado no balanço hídrico realizado com o ZONEBUDGET, a influência do campo de poços extrapola a zona de influência direta impactando no balanço hídrico como um todo. Não obstante, os níveis de bombeamento praticados (pelo que se pôde avaliar com os dados disponíveis, mas que têm incertezas importantes) não caracterizam uma sobrexplotação do SAU na região até o presente momento.

6.2 Modelo Hidrogeológico Numérico em Fluxo Transiente

As simulações em estado transiente, ou seja, simulações em que a carga hidráulica varia ao longo do tempo com a aplicação de condicionantes (*stresses*) ao meio através da alteração de variáveis (p.ex.: taxa de recarga, taxa de bombeamento, ou alteração de ambas em conjunto), foram realizadas nas bacias dos rios Grande (trecho Alto Grande) e Corrente. Esta restrição de áreas submetidas à simulação deveu-se ao fato de que não havia – até o momento de realização da pesquisa - poços de monitoramento com registro de informações temporal nas demais bacias (Médio Grande e Carinhanha).

Os dados do monitoramento do nível de água (NA) foram obtidos da RIMAS. Na bacia do médio rio Grande, as informações estão disponíveis desde o segundo semestre de 2011, em 35 poços de monitoramento; e para a bacia do rio Corrente, a partir do segundo semestre de 2015, em 11 poços de monitoramento. Quanto aos demais poços da rede, os mesmos encontravam-se locados fora da área de interesse ou ainda não possuíam informações disponíveis.

Os dados de recarga foram inseridos mensalmente com base na variação da pluviometria local e nas taxas médias calculadas em trabalhos anteriores. Estudos desenvolvidos por Pimentel *et al.* (2000) deram como resultado um valor de 250 mm/ano em média para essa recarga Gaspar (2006) calculou uma recarga média de 258,5 mm/ano, valores muito próximos aos obtidos por Pimentel *et al.* (2000), e que correspondem a 20% da precipitação média para o período de 1984 a 1995. A variação das taxas de bombeamento levou em consideração as demandas estimadas com base em um calendário de cultivo geral definido para o oeste da Bahia, calculadas pela equipe dos Estudo do Potencial Hídrico Superficial, com base nos projetos agronômicos da região.

Com base na consolidação das informações levantadas foram realizadas simulações em estado transiente como o objetivo de verificar o comportamento do sistema aquífero.

6.2.1 Bacia do Rio Corrente

O período de interesse nas simulações em estado transiente para a bacia do rio Corrente foi do ano de 2015 até 2018, período em que os dados para calibração estavam disponíveis. Porém, as simulações foram iniciadas no ano base de 2008. O objetivo deste início de simulações fora do período de interesse (quando havia dados para calibração temporal) foi a busca por condições iniciais para partida das simulações em estado transiente, suficientemente contrastadas e afastadas do tempo de início da calibração. As simulações indicaram uma variação média do nível de água entre 912 m e 562 m de altitude, com fluxo predominantemente de oeste para leste, na bacia do rio Corrente (Figura 83). Avaliando-se o modelo, nota-se que na porção oeste da bacia, região em que o nível de água é mais elevado, o RMS foi maior (maior imprecisão do modelo). Esta análise aponta a necessidade de melhorias nas condições de contorno naquela área.

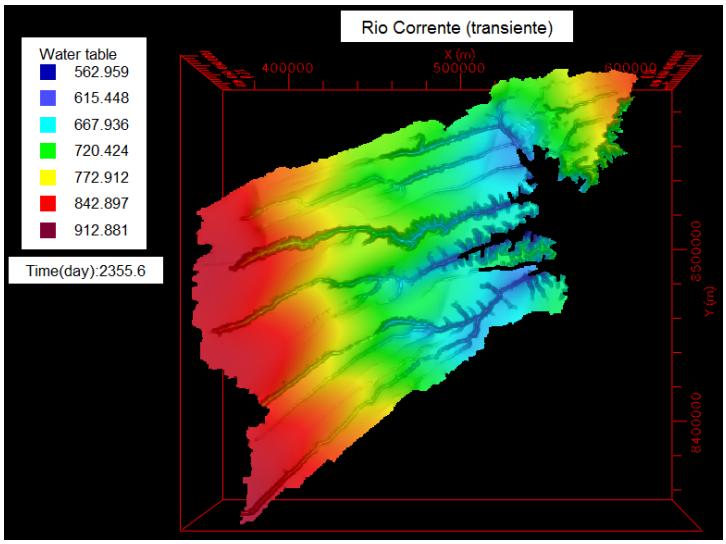


Figura 83 – Mapa da carga hidráulica da bacia do rio Corrente calculado nas simulações de fluxo em regime transiente no tempo 2355,6 (dias).

A análise dos valores de carga hidráulica calculados pela simulação e observados nos poços de monitoramento indica uma similaridade nos valores e na tendência de comportamento do nível de água subterrânea. A calibração do modelo com o NA monitorado corrobora essa boa correlação com os valores calculados, com um residual médio de aproximadamente de 2,17 m e um residual máximo médio de 15 m (Figura 84 e Figura 85).

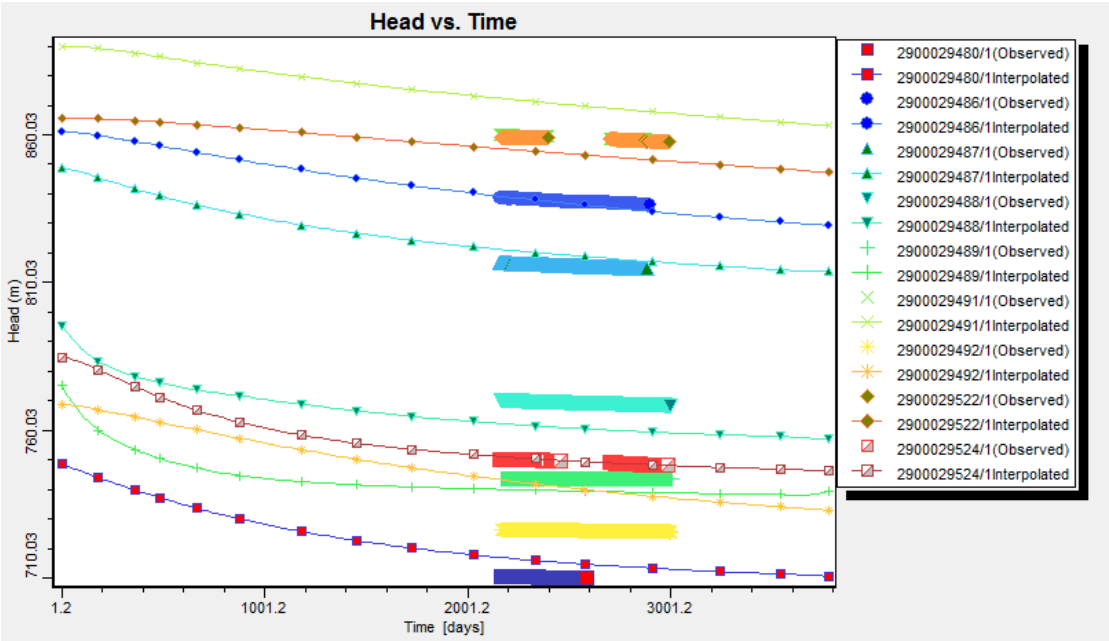


Figura 84 – Gráfico da série temporal dos níveis potenciométricos calculados e observados ao longo do tempo.

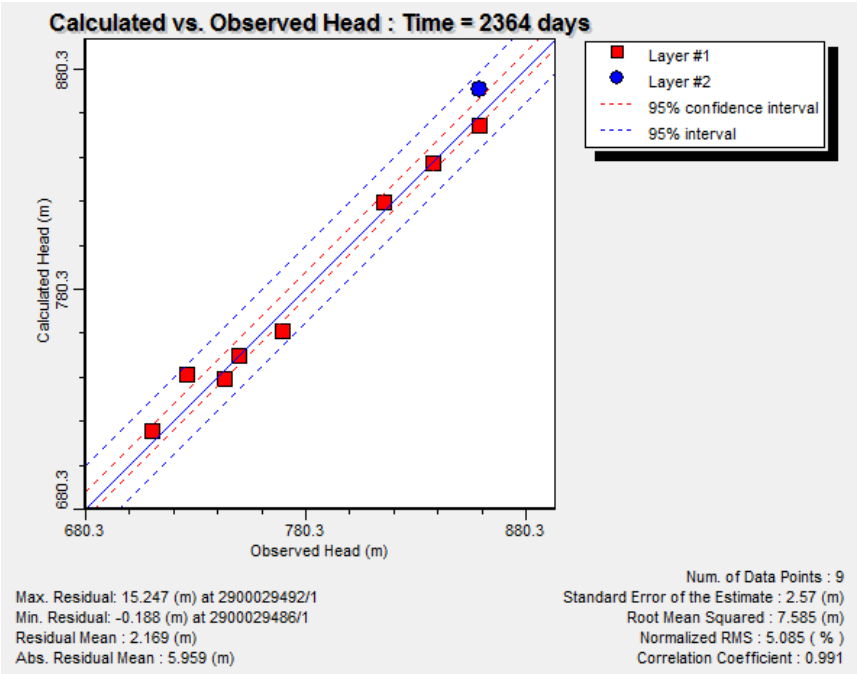


Figura 85 – Gráfico de calibração do modelo com cargas hidráulicas (calculadas vs. Observadas).

O balanço hídrico apresentou-se aproximado ao valor calculado para o modelo em estado estacionário (*Figura 86*). Como ações futuras para melhoria da robustez e grau de confiança do modelo para estado transiente propõe-se a revisão do modelo conceitual (por exemplo, com melhor definição da espessura do aquífero e de parâmetros hidrodinâmicos), alterações nas condições de contorno do modelo numérico, melhorias na calibração das simulações e até mesmo o emprego de ferramentas de calibração automática, como o PEST, quando possível.

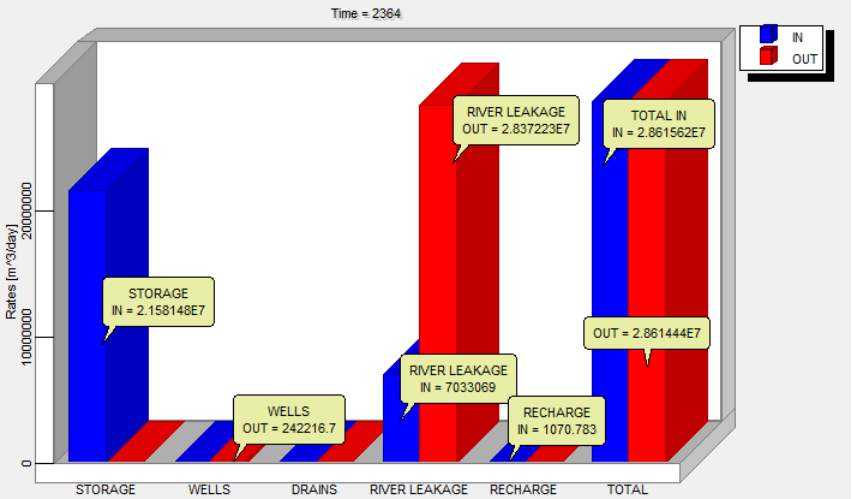


Figura 86 – Gráfico do balanço hídrico da bacia do rio Corrente em estado transiente.

6.2.2 *Bacia do alto Grande – Porção Sul*

As simulações na bacia do alto rio Grande indicaram uma variação média do nível de água entre 892 m e 523 m de altitude, com fluxo predominantemente de oeste para leste. Nesta bacia, observa-se que região centro-leste do modelo, área em que o nível de água é mais baixo e há maior concentração de áreas de descarga, o residual médio total foi maior, ou seja, possui menor correlação entre os níveis calculados e observados, principalmente em zonas entre rios. Estes indicadores apontam a necessidade de melhorias nas condições de contorno nessas áreas.

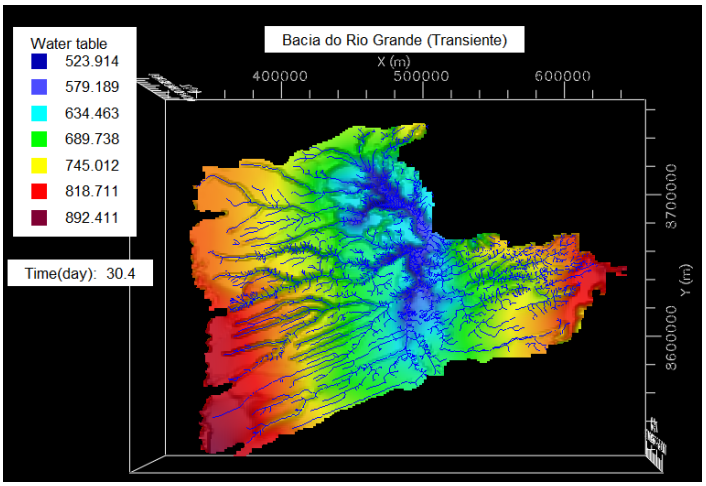


Figura 87 – Representação 3D da superfície potenciométrica da bacia do alto rio Grande.

A Figura 88 demonstra o gráfico de calibração do modelo para o dia 2646, ponto médio em que há dados de calibração com RMS de 9.8%. Porém para esta bacia, o RMS variou de 13,8 a 9,8%, indicando que ainda há um elevado grau incerteza no modelo transiente e que ações para melhorias na calibração e confiabilidade do modelo são necessárias, em especial, no que se refere à espessura do aquífero e parâmetros hidrodinâmicos das camadas que compõem o aquífero.

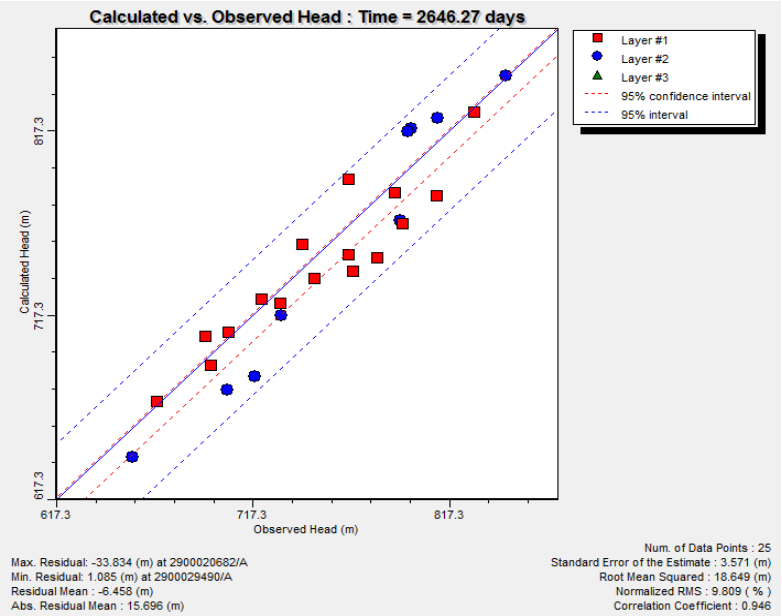


Figura 88 – Gráfico de calibração da carga hidráulica da simulação de fluxo em estado transiente da bacia do alto rio Grande.

7 Simulação de Cenários Futuros

7.1 Metodologia Utilizada

As simulações hidrogeológicas matemáticas há algumas décadas têm se mostrado como importantes ferramentas na gestão de recursos hídricos, principalmente os subterrâneos. São aplicados para auxiliar na tomada de decisões, permitindo uma avaliação do cenário atual e até a predição de cenários futuros do fluxo e do transporte de contaminantes.

Simulações de cenários futuros, por meio de projeções de alterações na demanda por água subterrânea e na recarga aos mananciais, permitem estimar o comportamento dos sistemas aquíferos quando submetidos a estes tipos de "*stress*". As alterações na demanda podem ser caracterizadas por projeções de aumento ou redução do volume explotado de uma determinada bacia. Já as alterações na recarga podem ser caracterizadas por prováveis cenários de modificação nas características de uso e ocupação do solo ou por mudanças nos volumes de precipitação (Lyra *et al.*, 2017).

A elaboração das simulações de projeções futuras considerou as informações publicadas no *The Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), para alterações climáticas. Estas informações foram utilizadas para estimar alterações nas precipitações em dois períodos (2020-2040 e 2050-2070) em dois cenários de alteração, um otimista e outro pessimista, do ponto de vista de aumento ou redução da taxa de precipitação.

Os dados foram retirados do modelo do *UK Met Office* denominado *Hadley Centre Global Environmental Model*, versão 2 (HadGEM2) com as chamadas componentes do sistema terrestre, em inglês Earth System – ES, (HadGEM2-ES). Na escala global este modelo cobre a área do SAU com duas regiões, das quais foram coletados dados das médias mensais calculadas para cada período de interesse.

As simulações foram realizadas em caráter preliminar e com dados de entrada simplificados, de forma que os resultados finais apontem tendências de comportamento do nível potenciométrico, mas não é possível verificar a amplitude real destas alterações na carga hidráulica.

7.2 Avaliação da precipitação

Os dados de precipitação do modelo de projeção futura (HadGEM2), como supracitado, foram extraídos para os períodos de 2020-2040 e 2050-2070 em dois cenários de projeção (RCP - *Representative Concentration Pathways*), um otimista (2.5) e um pessimista (8.5), que representam diferentes trajetórias de concentração dos gases de efeito estufa no clima futuro (van Vuuren *et al.*, 2011, 2011a). A análise dos dados de precipitação para o período de 2020-2040 indica uma tendência à estabilidade nas médias pluviométricas no cenário otimista. Já no cenário pessimista há uma leve tendência decrescente nas médias da precipitação (Figura 89).

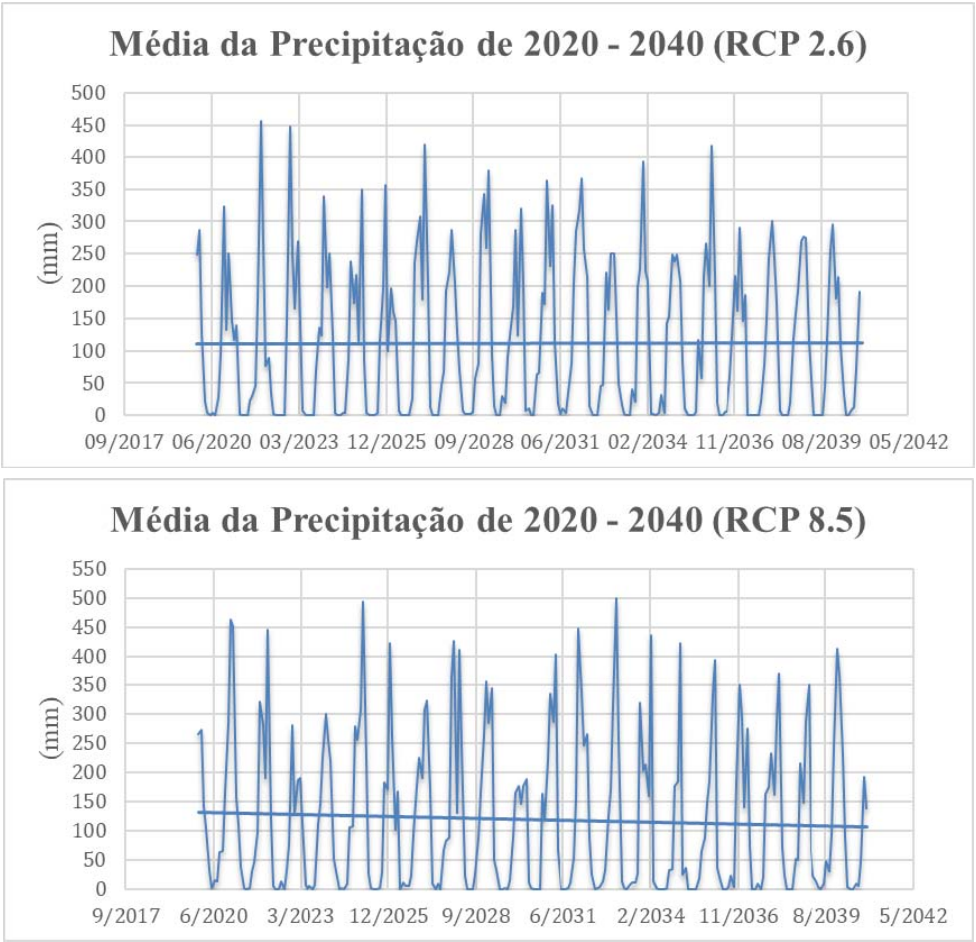
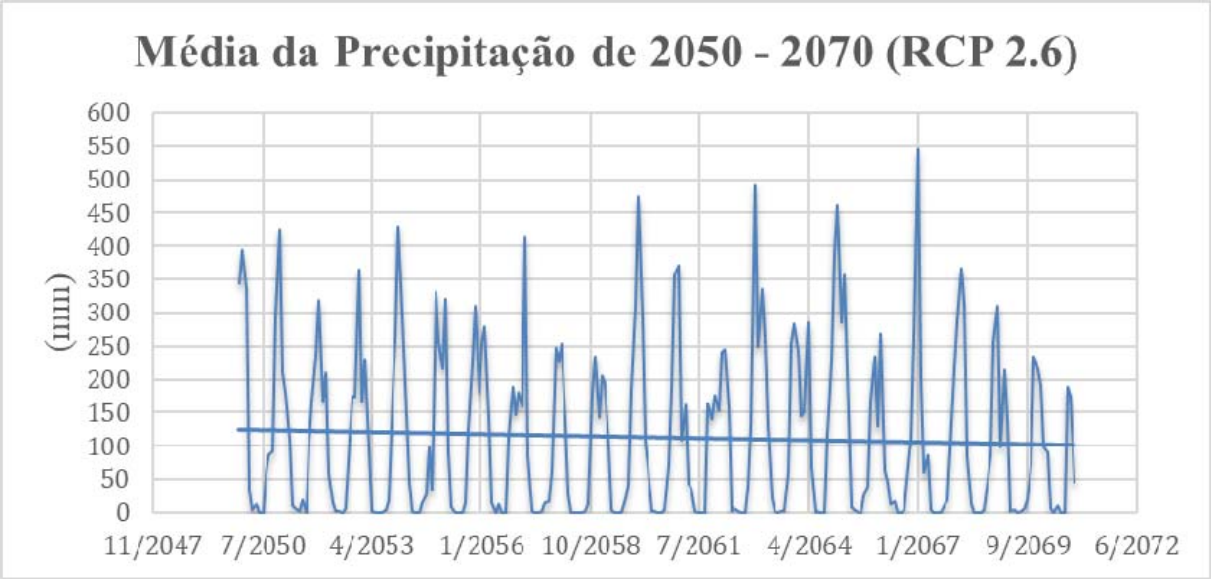


Figura 89 – Gráficos da precipitação calculada para o período de 2020-2040

A análise dos dados de precipitação para o período de 2050-2070 indica uma tendência à redução das médias pluviométricas no cenário otimista. Já no cenário pessimista há uma tendência de estabilização das médias da precipitação (Figura 90). Apesar de paradoxal, esse resultado indica a grande variabilidade de cenários resultantes das simulações de tempo futuro, nem sempre guardando um comportamento linear de causa e efeito, dependendo de inúmeras variáveis. O panorama "otimista" ou "pessimista" depende de variáveis climáticas que podem gerar, dependendo da região do planeta, aumento ou diminuição do volume de chuvas.



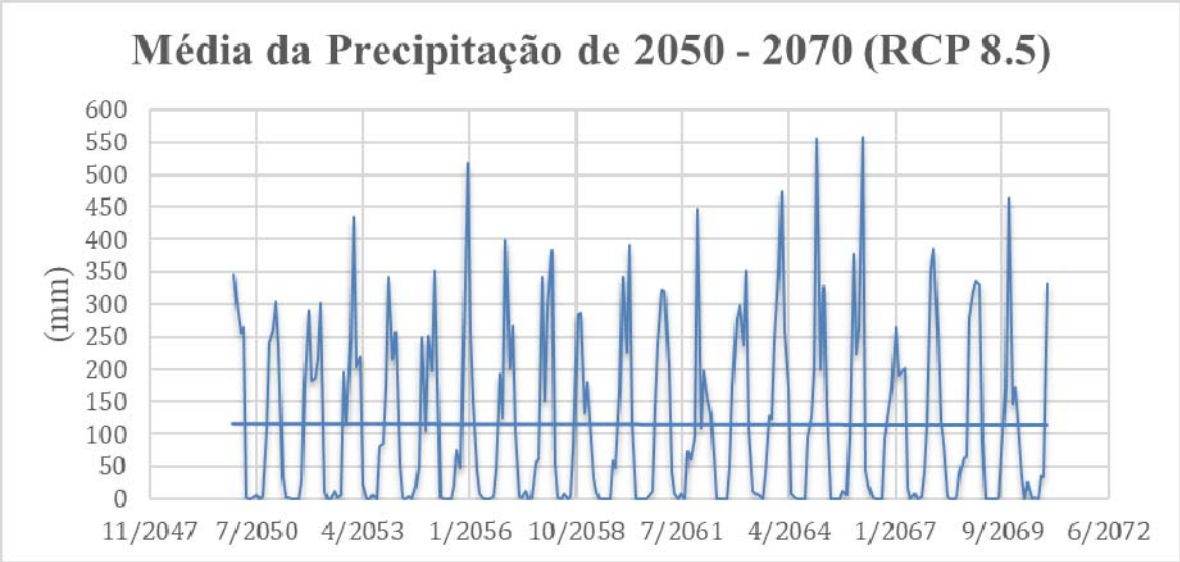


Figura 90 – Gráficos da precipitação calculada para o período de 2050-2070.

7.3 Avaliação das Simulações de Fluxo em Cenários de Projeção Climática Futura

Os dados de precipitação foram processados para obtenção das taxas de recarga a serem aplicados nas simulações de fluxo. Estas simulações foram processadas para cada um dos cenários de projeção para toda a porção baiana do SAU.

7.3.1 2020 – 2040 (RCP 2.6)

Na Figura 91 apresenta-se as alterações ao longo do tempo da carga hidráulica calculada pelas simulações de fluxo para o cenário otimista de projeção futura no período de 2020-2040. Assim como observado nas simulações de cenário atual o nível de água na porção central das bacias apresenta um leve rebaixamento. Essa redução pôde ser observada de forma mais significativa na bacia do médio rio Grande (Rio Preto), nas demais o rebaixamento calculado foi mais incipiente.

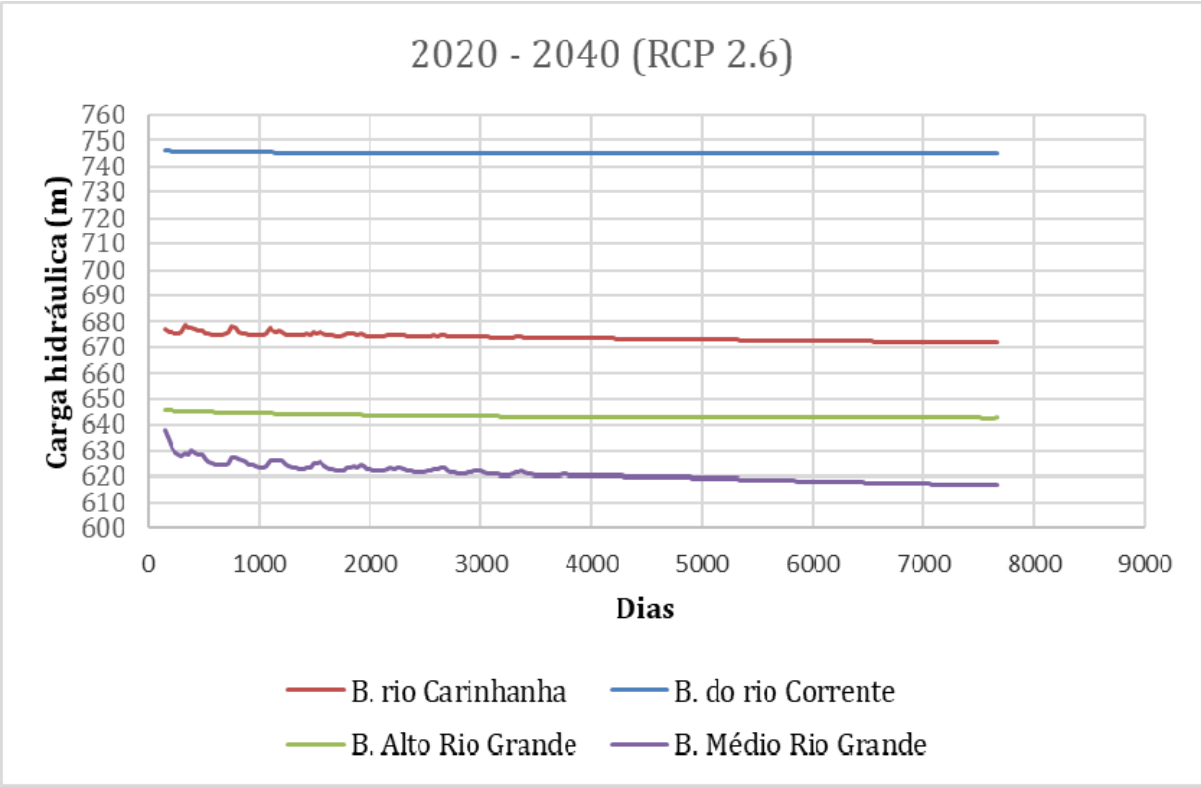


Figura 91 – Gráfico da carga hidráulica na porção central das bacias no cenário de projeção futura 2020 - 2040 (RCP2.6).

7.3.2 2020-2040 (RCP 8.5)

As alterações da carga hidráulica ao longo do tempo calculada pela simulação de fluxo para o cenário climático pessimista de projeção futura, no período de 2020-2040, apresentam uma tendência ao rebaixamento do NA, este *trend* decrescente é mais acentuado nas duas sub-bacias do rio Grande (Figura 92).

Na Figura 93 apresenta-se o mapa de distribuição da variação da carga hidráulica entre os anos de 2020 e 2040 para este cenário, obtido da simulação numérica. Como pode ser observado, as bacias da porção norte apresentam uma maior possibilidade de decréscimo do NA. Como trata-se de um modelo simplificado estas variações podem estar relacionadas aos dados de entrada do modelo.

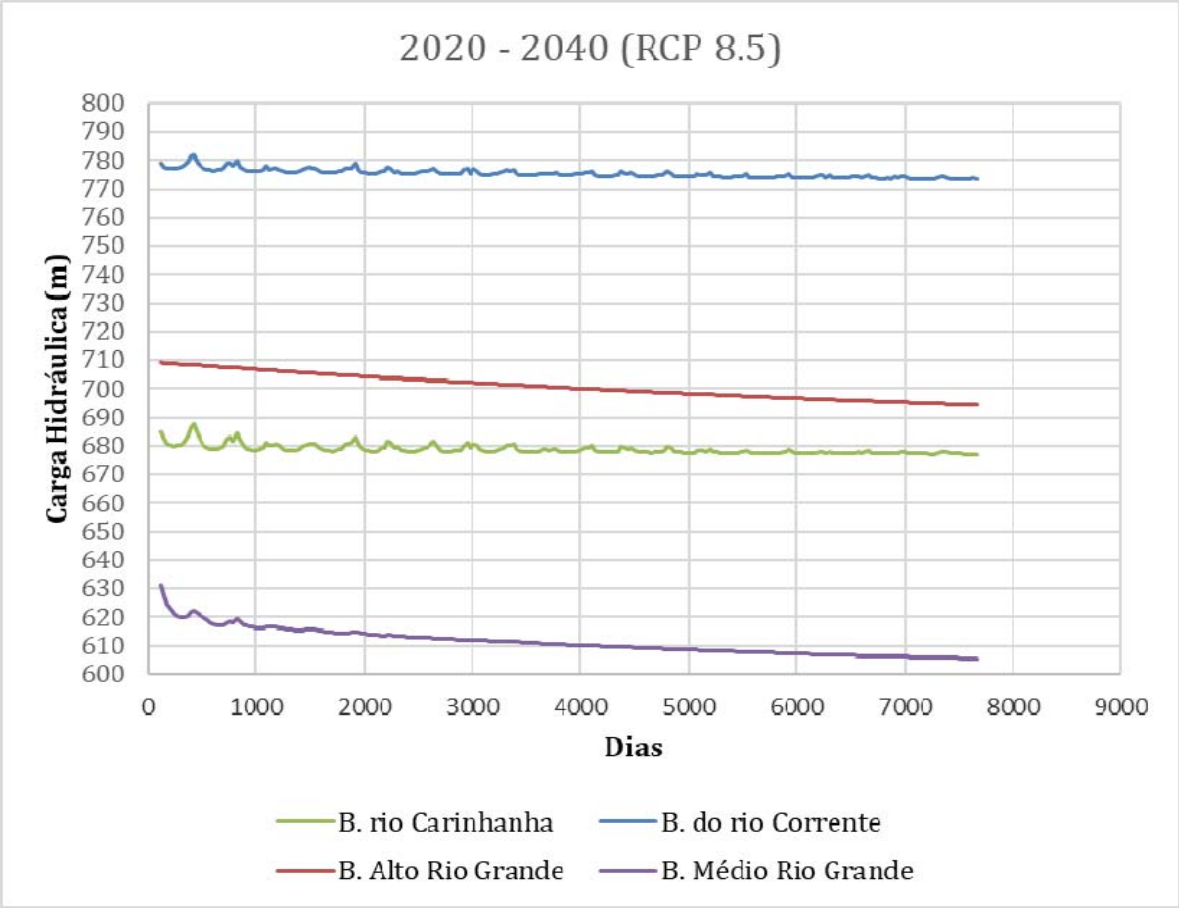


Figura 92 - Gráfico da carga hidráulica calculada para o período de 2020-2040 na porção central de cada bacia.

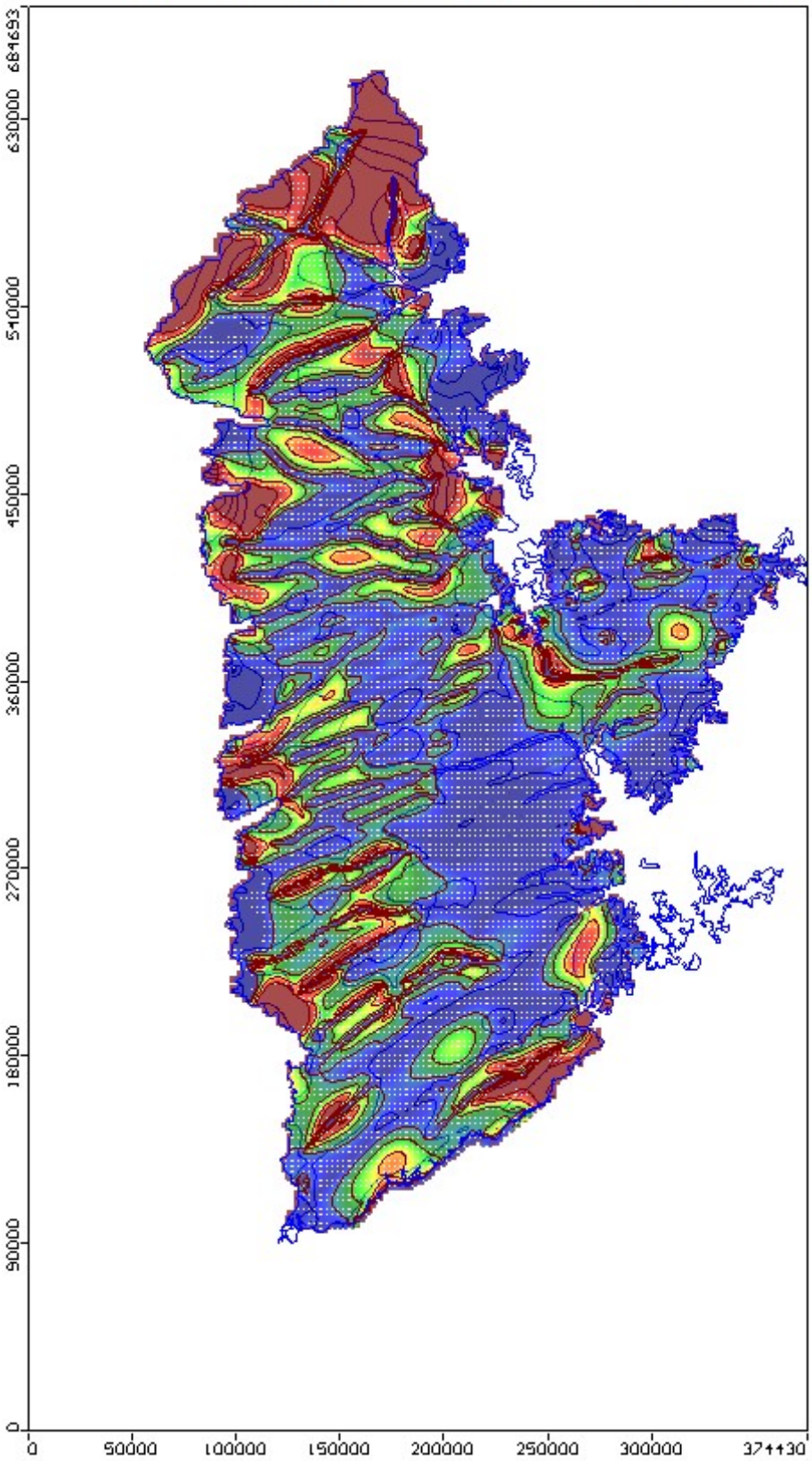


Figura 93 – Mapa de distribuição dos rebaixamentos do nível freático (NF) do SAU no período entre 2020-2040, no cenário climático pessimista. Os tons avermelhados indicam tendência de diminuição do NF, enquanto os azuis uma tendência de manutenção do NF atual (sem ter em conta eventual bombeamento).

7.3.3 2050-2070 (RCP 2.6)

As simulações numéricas aplicando as projeções futuras em cenário climático otimista (RCP 2.6) para o período de 2050 – 2070 indicam uma possível estabilização da carga hidráulica na porção central das bacias, exceto na bacia do médio rio Grande na qual há uma tendência de rebaixamento do NA (Figura 94), assim como observado em outras simulações. Na Figura 95 apresenta-se a distribuição dos rebaixamentos no entre os anos de 2050 – 2070 para este cenário.

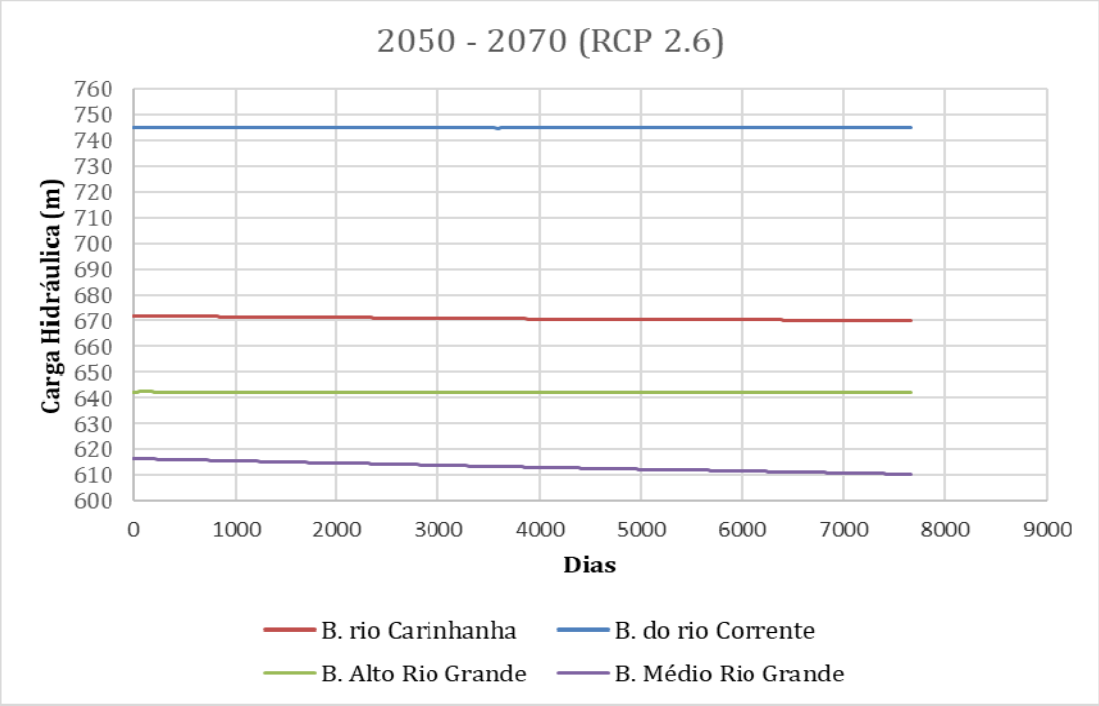


Figura 94 – Gráfico do da carga hidráulica calculada na porção central das bacias para o período de 2050 - 2070 (RCP 2.6).

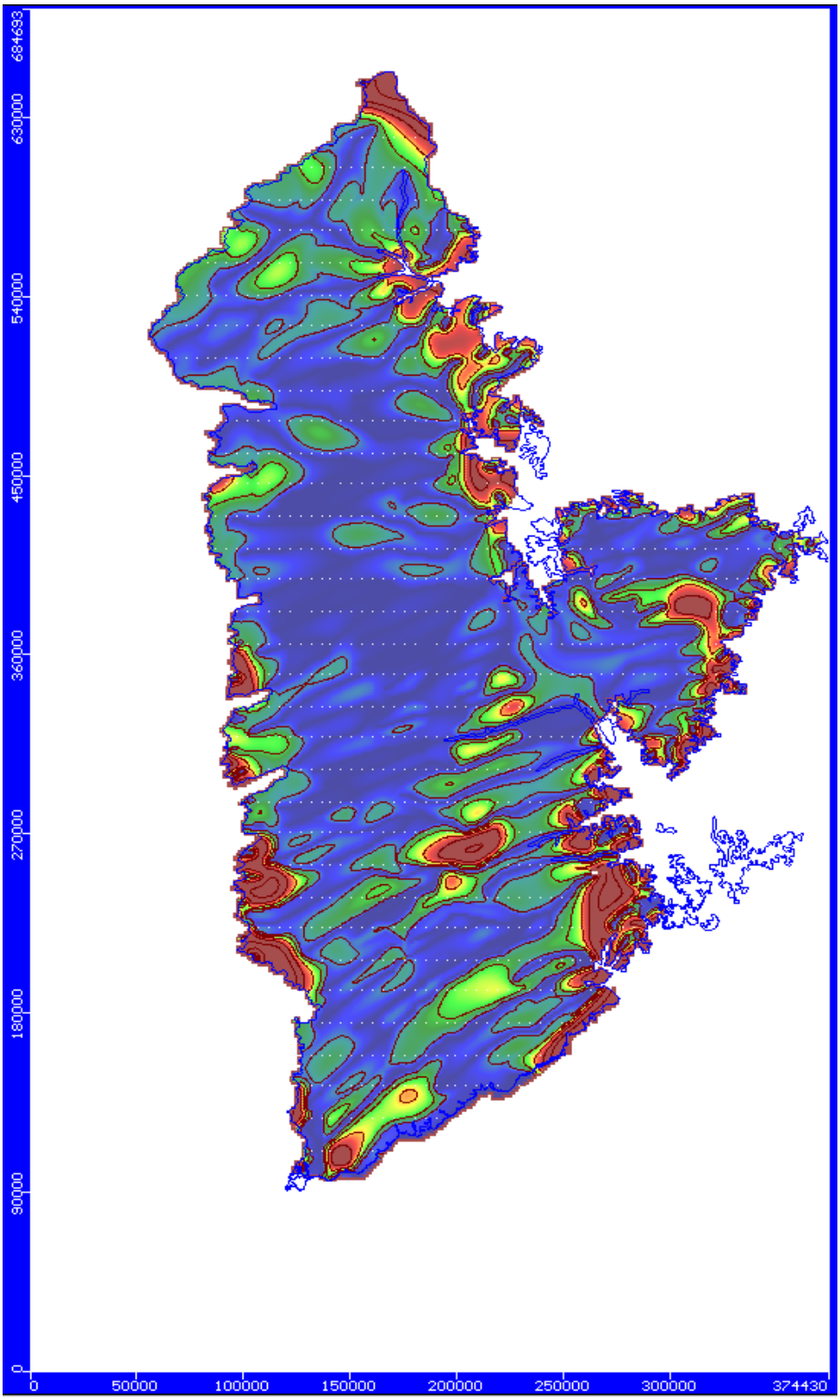


Figura 95 – Mapa de distribuição dos rebaixamentos do NF do SAU baiano no período de 2050-2070 (RCP 2.6). Os tons avermelhados indicam tendência de diminuição do NA, enquanto os azuis uma tendência de manutenção do NF atual (sem ter em conta eventual bombeamento).

7.3.4 2050-2070 (RCP 8.5)

As variações da carga hidráulica ao longo do tempo calculada pela simulação de fluxo para o cenário climático pessimista de projeção futura no período de 2050-2070, apresentam uma tendência ao rebaixamento do NA, este *trend* decrescente é mais acentuado nas bacias do Alto e Médio rio Grande (Figura 96). Na *Figura 97* apresenta-se a distribuição das tendências de rebaixamentos da carga hidráulica entre os anos de 2050 – 2070 para este cenário.

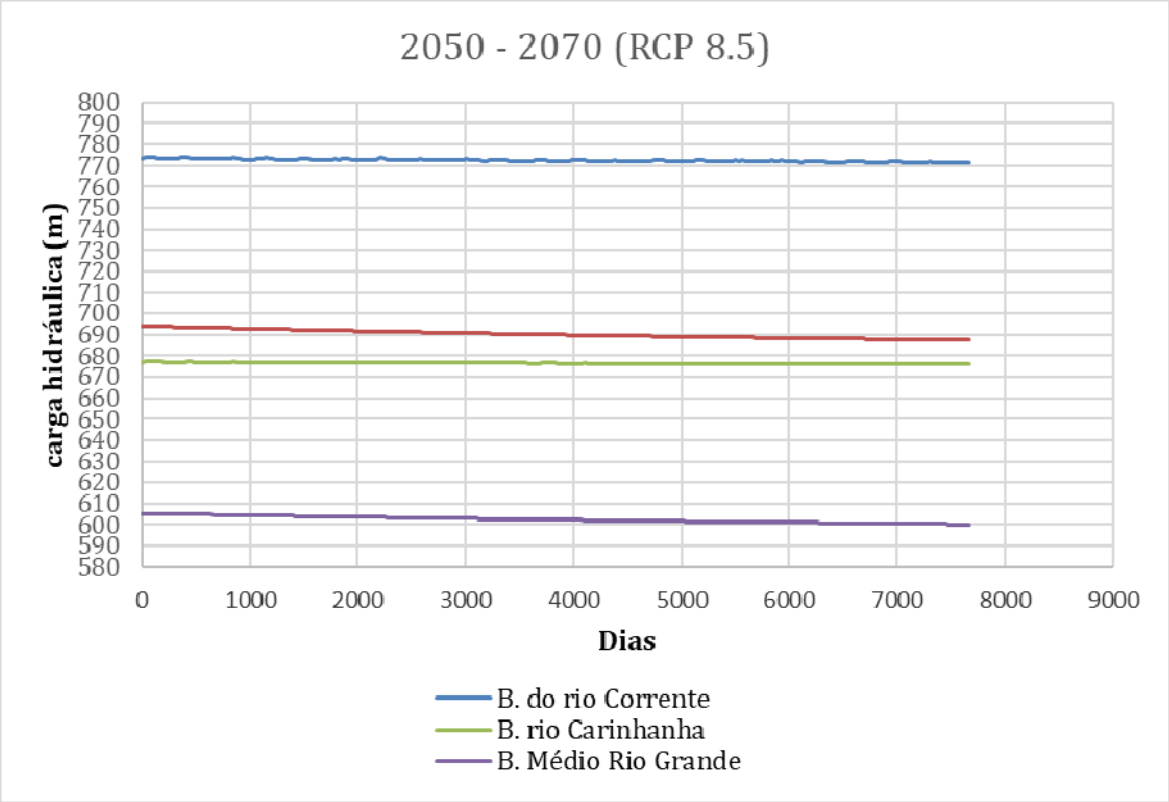


Figura 96 – Gráfico do da carga hidráulica calculada na porção central das bacias para o período de 2050 - 2070 (RCP 8.5)

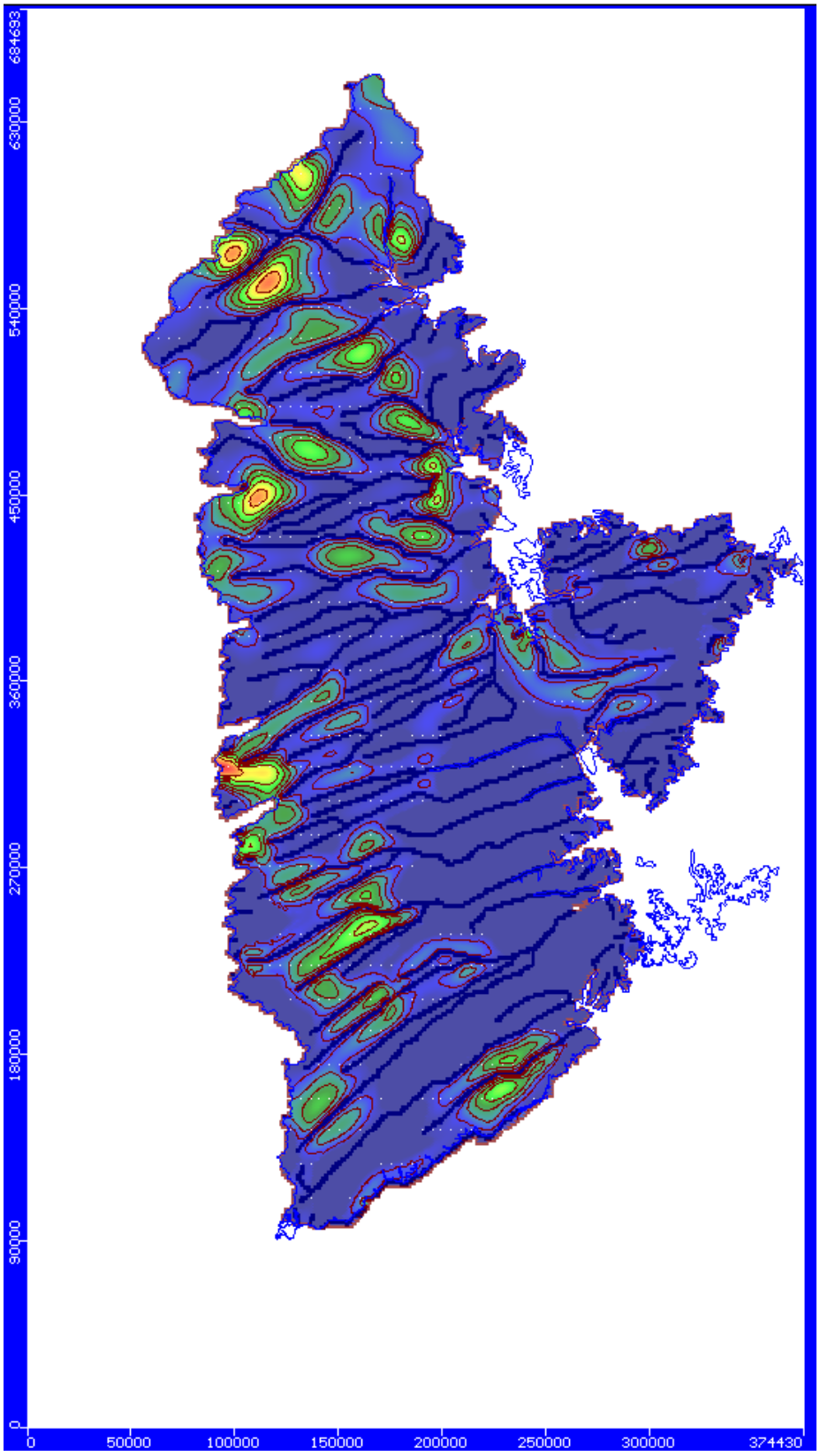


Figura 97 – Mapa do Rebaixamento do NA no período de 2050- 2070 (RCP 8.5). Os tons avermelhados indicam tendência de diminuição do NA, enquanto os azuis uma tendência de manutenção do NF atual (sem ter em conta eventual bombeamento).

7.3.5 Discussão sobre a avalição de comportamento da água subterrânea em diferentes cenários climáticos futuros

As simulações de fluxo com cenários de projeção de alterações climáticas foram realizadas em dois períodos de tempo: 2020 - 2040 e 2050 – 2070. Os resultados destas simulações apresentam uma tendência ao rebaixamento no nível potenciométrico ao longo do tempo, especialmente nas bacias da poção norte. Ressalte-se que estas simulações foram realizadas em caráter preliminar e com dados de entrada simplificados, de forma que os resultados finais apontassem tendências de comportamento do nível potenciométrico, mas não é possível verificar a amplitude real destas alterações de carga hidráulica.

Como ações para melhorias de confiabilidade das simulações em etapas seguintes, recomenda-se a obtenção de dados mais locais, através de *downscaling* dos dados climáticos considerando as condições locais, e melhorias na projeção das condições de contorno do modelo.

8 Conclusões e Sugestões de Trabalhos Futuros

O Sistema Aquífero Urucuia constitui um dos maiores e mais relevantes sistemas aquíferos do país em área, volumes armazenados e renováveis disponíveis e em potencial econômico. Permanece ainda com lacunas importantes no conhecimento de seu potencial hídrico e de seu funcionamento. Esse sistema tem importância fundamental na manutenção do fluxo de base do rio São Francisco e está sujeito a variações climáticas presentes e futuras, sendo crescentes as preocupações sobre os efeitos potenciais do uso de seus recursos sobre o meio ambiente em geral. Desse modo, construiu-se um modelo numérico para a simulação do fluxo no Sistema. Essa construção representou um grande desafio, pela escassez de dados e complexidade inerente a um sistema dessa magnitude, cujos próprios limites físicos ainda são motivo de debate e questionamentos, em especial em relação à sua espessura. Desse modo, recomenda-se prudência no uso dos resultados do modelo em ações de gestão, previsões de uso futuro e planejamento agrícola.

A elaboração do modelo conceitual baseou-se na confecção de um banco de dados que expôs as deficiências de dados sobre águas subterrâneas, em que pese relevantes esforços recentes dos órgãos gestores e governamentais (principalmente da Agência Nacional de Águas - ANA/MMA, do Serviço Geológico Brasileiro - CPRM e, no estado da Bahia, do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA). A distribuição dos pontos de água é relativamente regular, exceto na bacia do Carinhanha e no Médio Grande. O estabelecimento da espessura do SAU e de suas subunidades, contudo, foi muito mais difícil de definir, embora haja o alento de algumas informações novas que permitiram melhorar o modelo conceitual do Sistema em futuro próximo. Os resultados de ensaios, testes e consultas bibliográficas resultaram em variação da transmissividade (T) de 10^{-2} a 10^{-5} m^2/s e da condutividade hidráulica (K) entre 10^{-4} a 10^{-6} m/s, apresentando similaridade com os resultados obtidos nos estudos anteriores no SAU.

Os dados hidroquímicos obtidos para o SAU na Bahia indicam que suas águas são pouco mineralizadas, com leve predomínio de águas bicarbonatadas sódicas e cálcicas, mas em geral com caráter geoquímico de natureza mistas. A mineralização cresce para leste podendo indicar influência do Grupo Bambuí e do embasamento cristalino subjacentes.

As simulações numéricas foram elaboradas separadamente para cada bacia, para facilitar o uso futuro, sempre com três camadas e um *grid* variando entre 200 e 400 colunas x

200 a 400 linhas, conforme a bacia. A células apresentaram dimensões variando, aproximadamente, entre 900 m e 1600 m de aresta, com células retangulares.

Atribuíram-se os limites do modelo com condições de contorno, condições iniciais e parâmetros de entrada e diversos *stresses* incorporadas - caso das simulações transientes - no *design* do modelo com base nos dados disponíveis e no modelo conceitual. As condições de contorno adotadas foram de fluxo nulo nos limites e na base do modelo, assumindo-se a premissa de que o SAU não possui conectividade com as formações inferiores. Os rios foram caracterizados pela condição de contorno 'RIVER' do MODFLOW. Aos limites externos do SAU foram atribuídos contornos *no-flow*, exceto na bacia do Corrente, onde houve uma condição de contorno DRAIN em um pequeno trecho.

Elaborou-se inicialmente um modelo no estado estacionário (com anos-base 2008-2017), que foi calibrado e serviu como base ao modelo no estado transiente, mas somente nas bacias do Alto Grande e Corrente, onde havia dados disponíveis. O intervalo de calibração temporal foi limitado, desde 2011 a 2018 na bacia do alto Grande e de 2015 a 2017 na bacia do rio Carinhanha. Os erros RMS na distribuição dos níveis piezométricos chegam a 6,5 m em média, correspondendo a 6 a 10% na comparação do valor simulado vs. medido, o que foi considerado satisfatório, considerando o cenário de escassez de dados e incertezas existentes. Como resultado da calibração considerou-se a recarga média da ordem de 17% da chuva, coeficiente de armazenamento de 0,15 a 0,20 e coeficiente de armazenamento específico variando de 10-2 a 10-5.

Em condições de estado estacionário, 98% da recarga flui e é descarregada através dos rios, que chegam, segundo dados do estudo de águas superficiais, a ter 90 a 100% de seu fluxo alimentado pelo SAU. O bombeamento não chega a atingir 2% do total da recarga. O fluxo subterrâneo a outras unidades, principalmente o Grupo Bambuí subjacente e a leste compõem o restante do destino da recarga.

As simulações do estado transitório tiveram resultados limitados devido ao pequeno tempo de dados reais disponíveis para a calibração e também à inexistência de dados em apenas duas das bacias estudadas. Não obstante, foi possível reproduzir as flutuações históricas do nível da água com o modelo de modo bastante satisfatório. Na maioria das partes do SAU houve um decréscimo do nível piezométrico do aquífero, por vezes acentuado. Isso foi coerente com a intensa seca que ocorreu no oeste da Bahia entre 2014 e 2017. Há indicações de que essa tendência tem se modificado com os últimos registros, já que o ano de 2017 e o de 2018 tem apresentado maior intensidade de chuvas, o que permite supor que pode haver uma reversão desse descenso.

Quanto à capacidade do modelo de realmente simular com fidelidade a potenciometria e fluxo do aquífero deve-se salientar neste ponto as limitações inerentes a este tipo de exercício numérico, bem como certas suposições iniciais que podem não representar a realidade física. Estas limitações incluem a disponibilidade muito limitada de dados em geral, mas particularmente nas bacias do Carinhanha e do médio Grande. Algumas suposições simplificadoras no modelo conceitual e na escala de aplicação foram: a) a base do aquífero foi definida como um limite impermeável, embora dados apontem para um papel hidraulicamente ativo do Grupo Bambuí, subjacente ao aquífero em algumas zonas; b) o estabelecimento de contorno impermeáveis no contorno das escarpas do SAU, particularmente na face oeste, embora haja fontes ativas (poucas) ao longo desse limite; c) valores de transmissividade e armazenamento considerados constantes ao longo do perfil vertical em cada camada, sem ter em conta os aquitardos silicificados aí presentes de forma descontínua. Desse modo, o atual

modelo para simulações de suporte à gestão deve ser limitado à escala regional, com detalhes locais a ser objeto de modelagem e simulações complementares.

Como sugestões de melhoria futura, sugere-se a coleta e processamento de dados adicionais de piezometria e fluxo, tanto em termos de distribuição em área, quanto temporalmente nos piezômetros já instalados, de modo a reduzir as incertezas observadas hoje. Isso estende-se aos parâmetros de fluxo, estimativas de recarga e interação água subterrânea com águas fluviais. Também como forma de elevar a confiabilidade do modelo e das simulações, recomenda-se um refinamento na aquisição de dados, principalmente nas áreas mais carentes de informações e uma redefinição na espessura do aquífero e ajuste nos parâmetros e nas condições de contorno.

9 Bibliografia

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA – ANA. 2017. Estudos hidrogeológicos e de vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuia e proposição de modelo de gestão integrada compartilhada: volume 1 - diagnóstico do meio físico da região de abrangência dos Sistemas Aquíferos Urucuia e Areado: *tomo I – caracterização do meio físico, do uso e ocupação da terra, levantamento hidrogeológico e investigações geofísicas: relatório final* / Agência Nacional de Águas ; Elaboração e Execução: Consórcio Engecorps - Walm. -- Brasília : ANA, 2017. 138p.

AMORIM JUNIOR, V. 2003. *Avaliação Hidrogeológica do aqüífero Urucuia na bacia do rio das Fêmeas usando IP-Resistividade*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, Salvador. 82 p

AMORIM JÚNIOR, V., LIMA, O.A.L., 2007. *Avaliação hidrogeológica do aquífero Urucuia na bacia do rio das Fêmeas usando resistividade e polarização elétrica induzida.* Revista Brasileira de Geofísica. 25(2), 117-129. http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2007000200002.

ANDERSON, M.P.; WOESSNER, W.W.; HUNT, R.J. 2015. *Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport*. Second Edition. Academic Press, San Diego, 2015. 630p.

BARBOSA, N.S. 2016. Hidrogeologia do Sistema Aquífero Urucuia, Bahia. *Tese de Doutorado*. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 168p.

BARBOSA, N.S.; LEAL, L.R.B.; SANTOS, R.L.S.; MELLO, J.C. 2014. Caracterização Hidro-Litoestratigráfica do Sistema Aquífero Urucuia com base em Perfis Geofísicos de Poços. *In: SUPLEMENTO - XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 2014, Belo Horizonte. Resumos expandidos. p.18.

BONFIM, L.F.C.; GOMES, R.A.A.D. 2004. Aquífero Urucuia – Geometria e Espessura: Ideias para Discussão. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, XX, Cuiabá (MT), Anais. 1 CD – Rom. 2004. 8p.

CABRAL, J.J.S.; DEMETRIO, J.G.A. 2008. Aplicação de Modelos em Hidrogeologia. *In.: Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*, Organizadores: FEITOSA, F. A. C. (Coord.); MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A., 2008. CPRM, Rio de Janeiro. 812p, p. 687-707.

CAMPOS, J.C.V.; BRIZ, E.M.; LUZ, J.A.G. Determinação dos Parâmetros Hidrodinâmicos do Aquífero Urucuia – Fazenda Bombarda. *In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, XVI, São Luís (MA), Anais, 2010, p.1-17.

CAMPOS, J.E.G.; DARDENNE, M.A. 1999. Distribuição, estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Urucuia – Cretáceo Superior da Bacia Sanfranciscana. *Geociências*, São Paulo, 18(2), 481-499.

CAMPOS J.E.; DARDENNE M.A. 1997. Origem e Evolução Tectônica da Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências,* 27(3):269-282.

CAMPOS, J.E.G.; DARDENNE, M.A. 1997a. Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 27(3): 269-282.

CHANG, H.K.; SILVA, F.P.E. 2015. Contribuição ao arcabouço geológico do Sistema Aquífero Urucuia. *Geociências*, 34(4):872 –882.

DOMINGUES, A.J. 1947. Contribuição à geologia da região centro-ocidental da Bahia. *Revista Brasileira de Geografia*, 2:57-82.

ENGELBRECHT, B.Z.; CHANG, H.K. 2015. Simulação Numérica do Fluxo de Águas do Sistema Aquífero Urucuia na Bacia Hidrogeológica do Rio Corrente (BA). *Águas Subterrâneas*. 29(2): 244-256.

FARR, T.G.; KOBRICK, M. 2000. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. *EOS* (Transactions, American Geophysical Union), 81(1):583-585.

GALOFRÉ, A. 1966. Cálculo de la transmisividad a partir de descensos específicos. Estudio de los Recursos Hidráulicos Totales de las Cuencas de los Rios Besós y Bajo Llobregat. Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental y servicio Geológico de Obras Públicas. Barcelona. p. 7.69-7.73. (*In: CUSTÓDIO e LLAMAS*).

GASPAR, M.T.P.; CAMPOS, J.E.G.; MORAES, R.A.V de. 2012. Determinação das espessuras do Sistema Aquífero Urucuia a partir de estudo geofísico. *Revista Brasileira de Geociências*, 42(Suppl 1):154-166.

GASPAR, M.T.P.; CAMPOS, J.E.G. 2007. O Sistema Aquífero Urucuia. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(4): 216-226.

GASPAR, M.T.P. 2006. Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização Regional e Propostas de Gestão. Brasília-DF. 2006. 158 p. *Tese de doutorado* n° 76. IG-UnB.

GOMEZ PEÑA, C.A. 2017. Simulation and Prediction of the Groundwater Level in the Surrounding Area of the Nebraska Management System Evaluation Area site in Central Nebraska. Civil Eng. Dissertation. University of Nebraska - Lincoln. 112 p. *http://digitalcommons.unl.edu/civilengdiss/112.*

GONÇALVES, R.D.; CHANG, H.K. 2017. Modelo Hidrogeológico do Sistema Aquífero Urucuia na Bacia do Rio Grande (BA). *Geociências*, 36(2):205–220.

GONÇALVES, R.D.; ENGELBRECHT, B.Z. ; CHANG, H.K. 2018. Evolução da contribuição do Sistema Aquífero Urucuia para o Rio São Francisco, Brasil. *Águas Subterrâneas*, 32(1):1-10.

HANTUSH, M.S.; C.E. JACOB, 1955. Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer, *Am. Geophys. Union Trans*., 36(1):95-100.

HARIHARAN, V.; UMA SHANKAR, M. 2017. *IOP Conf. Ser.*: *Mater. Sci. Eng*. 263(1). 032025

LEGATES, D.R.; McCABE Jr., G.J. 1999. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resour. Res.* 35(1):233-241.

LIMA, O.A.L., 2000. Estudos geológicos e geofísicos do aqüífero Urucuia na Bacia do Rio Cachorro- Oeste do Estado da Bahia. *Relatório técnico*. Superintendência de Recursos Hídricos-SRH/ Centro de Pesquisas em Geofísica e Geologia-CPGG/UFBA. 42 p.

LYRA, A.; TAVARES, P.; CHOU, S.C.; SUEIRO, G.; DERECZYNSKI, C.P.; SONDERMANN, M.; SILVA, A.; MARENGO, J.; GIAROLLA, A. 2017. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate modela t 5-km resolution. *Theoretical and Applied Climatology* 132(1):663-682.

MACE, R.E. 1997. Determination of Transmissivity from Specific Capacity Tests in a Karst Aquifer, *Ground Water,* 35(5): 738–742.

MCDONALD, M.G.; HARBAUGH, A.W. 2003. The History of MODFLOW. *Ground Water* 41(2):280-283. *doi:10.1111/j.1745-6584.2003.tb02591.x*

MOEENI, S.; AHSAN N. 2017. Ground Water Modelling Through ModFlow. *Int J Environ Sci Nat Res* 3(1): IJESNR.MS.ID.555605.

MOURÃO, M.A.A.; PEIXINHO, F.C. 2012. A Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil: Desafios e Estágio Atual de Implantação. *In: XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. Bonito-MS, 12–20.

NASCIMENTO, K.R.F.; LIMA, O.A.L. 2013. Cálculo de parâmetros hidráulicos do Aquífero Urucuia utilizando dados geoelétricos. *In:13th INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY*, 2013, Rio de Janeiro, Brasil, p.6.

NASCIMENTO, K.R.F. (coord.). 2003. Uso conjunto das águas superficiais e subterrâneas da sub-bacia do rio das Fêmeas-Bahia. *Relatório Final*. Salvador- BA: 2003. ANA/ GEF/PNUMA/OEA, Superintendência de Recursos Hídricos (SRH). 208p.

NASCIMENTO, K.R.F. 2002. *Aspectos Hidrogeoquímicos e Qualidade das Águas Subterrâneas e Superficiais da Sub-bacia do Rio das Fêmeas*. ANA/GEF/PNUMA/OEA. Salvador-BA, 21p.

NEUMAN, S.P., 1974. Effect of partial penetration on flow in unconfined aquifers considering delayed gravity response, *Water Resources Research*, 10(2):303-312.

PETERSON, S.M; FLYNN, A.T.; VRABEL, J.; RYTER, D.W. 2015. Simulation of groundwater flow and analysis of the effects of water-management options in the North Platte Natural Resources District, Nebraska: *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report* 2015–5093, 67 p. http://dx.doi.org/10.3133/sir20155093 .

POMPEU J.; RODRIGUES Z.R.C. 2002. Estudo Hidrogeológico da Bacia do Rio das Fêmeas. *In: Simpósio de Água e Desenvolvimento Sustentável no Oeste Baiano*, 1, 2002, Anais do Simpósio, CD-ROM.

REGO, M.L.F. de. 1926. Reconhecimento geológico da parte ocidental do estado da Bahia. Rio de Janeiro, *Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil*, 1926. (Boletim, 17(1):33-54.

RODRIGUES, Z.R.C.; MARQUES, C.R.F.; OLIVEIRA, L.A.A. 2004. Utilização do Microsoft Excel Para Avaliação de Testes de Bombeamento, de Aquífero e de Interferência Poço-Rio. *In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, Cuiabá – MT.

RODRIGUES, Z.R.C.; MAIA, P.H.P.; LIMA, C.E.S.; ARAÚJO, V.M.; CRUZ, L.V.M. 2009. Hidrodinâmica do Sistema Aquífero Urucuia e seu Rebatimento para a Gestão da Água na Região Oeste do Estado da Bahia. *In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO*, 1, 2009, São Paulo-SP, Anais, p.1-14.

SANTOS, C.B.; SILVA, C.N.; VILLA, P.C.C.M.; ROCHA, B.S.S. 2012. Utilização de Dataloggers no Projeto RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas) no Oeste da Bahia, *In: XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. Bonito-MS, 1–4.

SANTOS, J.P. 2002. Avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos do Aquífero Urucuia. *Relatório Final*. ANA/GEF/PNUMA/OEA, Superintendência de Recursos Hídricos (SRH). Salvador- BA. 2002. 75p.

SCHUSTER, H.D.M.; SILVA, F.F.; TEIXEIRA, S.L.; BATISTA, L.H.G.; FREITAS, W.A. 2002. Estudos hidrogeológicos do aquífero Urucuia no Oeste baiano para obtenção de parâmetros nas outorgas de mananciais subterrâneos. *In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, Florianópolis-SC, 2002, Anais do XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15 pp.

SCHUSTER, H.D.M. 2002. Relatório Parcial No. 2, Contrato No. 00022/2001- SRH/GRH/BIRD, 17 pp., 06/02/2002. SILVA, C.N.; VILLAR, P.C.C.M.; SANTOS, C. B. dos; SANTOS, A. de A. 2013. Utilização do SIAGAS como Ferramenta para Gestão dos Recursos Hídricos do Sistema Aquífero Urucuia - Oeste da Bahia na Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas – RIMAS / SGB-CPRM, *in III Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo*. São Paulo: ABAS, 4–7.

SCHUSTER, H.D.M. 2003. Modelagem de Fluxo Subterrâneo com Vistas à Definição de Parâmetros para Outorga de Mananciais Subterrâneos na Bacia Hidrográfica do Rio de Cachorro Oeste do Estado da Bahia. *Relatório Final.* Campina Grande-PB: 2003. Universidade Federal da Paraíba – UFPB. 113 pp.

SILVA, L.C. 1987. Geologia do pré-Cambriano - Eopaleozóico de Santa Catarina. In: SILVA, L.C.; BORTOLUZZI, CA. *Texto explicativo para o mapa geológico do Estado de SC.* Florianópolis, DNPM/CPRM, p. 12-90.

SILVA, M.E. 1987. O Sistema de Dobramentos Rio Preto e suas Relações com o Cráton do São Francisco. *Tese de Doutorado*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SMALE, D. 1973. Silcretes and associated silica diagenesis in South Africa and Australia. *Journal of Sedimentary Petrology*, 43(1):1077-1089. *DOI: 10.1306/74D728FB-2B21-11D7-8648000102C1865D.*

TSCHIEDEL, M.W. 2004. Aplicação de Estudo Geofísico como Contribuição ao Conhecimento da Tectônica da Sub-Bacia Urucuia. 2004. *Dissertação (Mestrado)* - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.

VAN VUUREN, D.P., EDMONDS, J.; KAINUMA, M., 2011. The representative concentration pathways: An overview. *Climate Change*, 109(1):5–31, *DOI: 10.1007/s10584-011-0148-z, 2011a*.

VAN VUUREN, D.P.; STEHFEST, E.; DEN ELZEN, M.G. J. 2011a: RCP2.6: Exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C. *Climate Change* 109(1):95-116, *doi 10.1007/s10584-011-0152-3, 2011b.*

VILLAR, P.C.C.M.; SILVA, C.N.; SANTOS, C.B. 2012. Monitoramento Das Águas Subterrâneas (RIMAS)/SGB – CPRM : Sistema Aquífero Urucuia – Oeste Do Estado Da Bahia, *In: XVII Congresso Brasileiro de Água Subterrânea*. Bonito-MS, 1–4.

VILLAR, P.C.C.M.; SILVA, C.N.; SANTOS, C.B. 2013. Implantação da Rede de Monitoramento Das Águas Subterrâneas (Rimas)/SGB – CPRM : Sistema Aquífero Urucuia – Oeste Do Estado Da Bahia, *In: III Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo.* São Paulo: ABAS, 1–4.

WILLIAMS, L.A.; PARKS, G.A.; CRERAR, D.A. 1985. Silica Diagenesis I – Solubility controls. *Journal of Sedimentary Petrology*, 55(1):301-311. DOI: *10.1306/212F86AC-2B24-11D7-8648000102C1865D.*

WILLIAMS, L.A.; CRERAR, D.A. 1985. Silica Diagenesis II – General mechanisms. *Journal of Sedimentary Petrology*, 55(1):312-321. DOI: *10.1306/212F86B1-2B24-11D7-8648000102C1865D.*

Parte 4: Uso do Solo – Relatório Final Projeto Recursos Hídricos Oeste da Bahia

Equipe: Marcos Heil Costa, Ph.D. (coordenador)
Lívia Cristina Pinto Dias, DS

Emily Ane Dionizio da Silva, DS
Raphael Pousa dos Santos, MS
Vítor Cunha Fontes, MS

Eng° Fernando Martins Pimenta
Bel. Pauline Rodrigues de Souza
Matheus Lucas da Silva (tecnólogo)

Vinícius Fonseca Anício de Brito (estagiário)
Marina Castro da Silva (estagiária)

Lucas Barbosa Lima (estagiário)
Daniela Gomes de Souza (estagiária)

5.1 Introdução

A situação antes do início deste projeto incluía a inexistência de séries temporais de mapas de uso e cobertura de solo do Oeste da Bahia; desconhecimento acerca do volume de biomassa acima e abaixo do solo, bem como falta de informações acerca do teor de carbono no solo decorrente das atividades agrícolas; estudos limitados acerca das emissões de gases de efeito estufa gerados pela atividade agropecuária; e desconhecimento de como a mudança de uso no solo afeta a recarga do aquífero Urucuia.

Nesta ação, foi proposto preencher estas lacunas, com os seguintes resultados esperados: (a) produção de uma série histórica de mapas de uso e cobertura do solo para o Oeste da Bahia; (b) estimativa da biomassa natural, acima e abaixo do solo, obtido por meio de levantamento da literatura, dados do projeto RadamBrasil e por imagens de satélite; (c) determinação do teor de carbono do solo para os principais tipos de uso e manejo do solo na região; (d) interpolação dos resultados no espaço e no tempo, usando modelos do ciclo do carbono no sistema solo-vegetação, a fim de produzir mapas anuais de balanço de carbono; (e) cálculo de um inventário de emissões dos demais gases de efeito estufa (GEE) pelas atividades agropecuárias; (f) determinação da taxa de recarga do aquífero em função do uso do solo e das condições climáticas. Além disso, durante a execução do trabalho, principalmente durante a obtenção do resultado (f), resultados inesperados levaram à necessidade de inclusão de um estudo hidroclimático completo. Ainda, dados resultados obtidos no estudo hidroclimático, verificou-se a necessidade premente de identificar a interação entre a variabilidade climática e o crescimento da irrigação na região.

Para melhor compreensão dos resultados, este relatório inicia sua apresentação pela análise hidroclimática (Seção 5.2). A Seção 5.3 apresenta os resultados do mapeamento histórico do uso e cobertura do solo na região, enquanto a Seção 5.4 faz uma discussão integrada da oferta e demanda de recursos hídricos no Oeste da Bahia. As seções 5.5 e 5.6 discutem os resultados dos levantamentos de biomassa viva e de carbono do solo na região, enquanto as Seções 5.7 e 5.8 apresentam a interpolação dos resultados no espaço e no tempo para a taxa de recarga do aquífero e para o balanço de carbono regional. A Seção 5.9 apresenta resultados sobre as emissões de outros gases de efeito estufa na região enquanto a Seção 5.10 discute as formas de apresentações dos resultados deste projeto.

5.2 Análise Hidroclimática

5.2.1. Dados de precipitação e vazão dos rios

Os dados de precipitação na região estão disponíveis através das redes pluviométricas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e da ANA (Agência Nacional das Águas) desde a década de 1930, mas a rede era escassa e as séries temporais eram frequentemente interrompidas. Uma rede mais densa se tornou disponível somente no final dos anos 1970. Para caracterizar padrões regionais, usamos o conjunto de dados de precipitação diária de Xavier et al. (2016), que está disponível em uma resolução de grade de 0,25° x 0,25° (aproximadamente 28 km x 28 km) por um período de 36 anos de 1980-2015. Este conjunto de dados foi montado a partir da rede de pluviômetros disponíveis, estações meteorológicas convencionais e automáticas. Os dados originais passaram por um controle de qualidade, e seis diferentes métodos de interpolação foram testados (média das cinco estações mais próximas; vizinho natural; *spline* de placa fina; ponderação de acordo com o inverso da distância; ponderação de acordo com a distância angular e krigagem simples – *kriging*). O

desempenho dos métodos de interpolação de precipitação foi avaliado por um procedimento de validação cruzada, no qual um ponto de dados observado foi removido temporariamente do banco de dados e usado para testar o valor estimado por cada método de interpolação no local da estação. O método com melhor desempenho de interpolação foi a ponderação de acordo com a distância angular (Xavier et al. 2016). Dados para o Brasil estão disponíveis em http://careyking.com/data-download/. Para avaliar tendências mais longas (antes de 1980), também utilizamos a estação de Barreiras (código WMO 83236), que possui dados quase contínuos desde 1961.

Os dados diários de vazão do rio (m^3/s) utilizados são fornecidos pela ANA. Os dados fluviométricos estão disponíveis desde a década de 1930, com baixa densidade de estações e falhas significativas. De 1930 a 1970, encontramos cerca de 30% de falhas na série de dados e algumas estações descontinuadas. A quantidade e a qualidade dos dados aumentaram na década de 1970, com apenas 2% das falhas, e inicialmente selecionamos 25 estações fluviométricas com poucas falhas desde 1978 (Figura 5.2.1, Tabela 5.2.1).

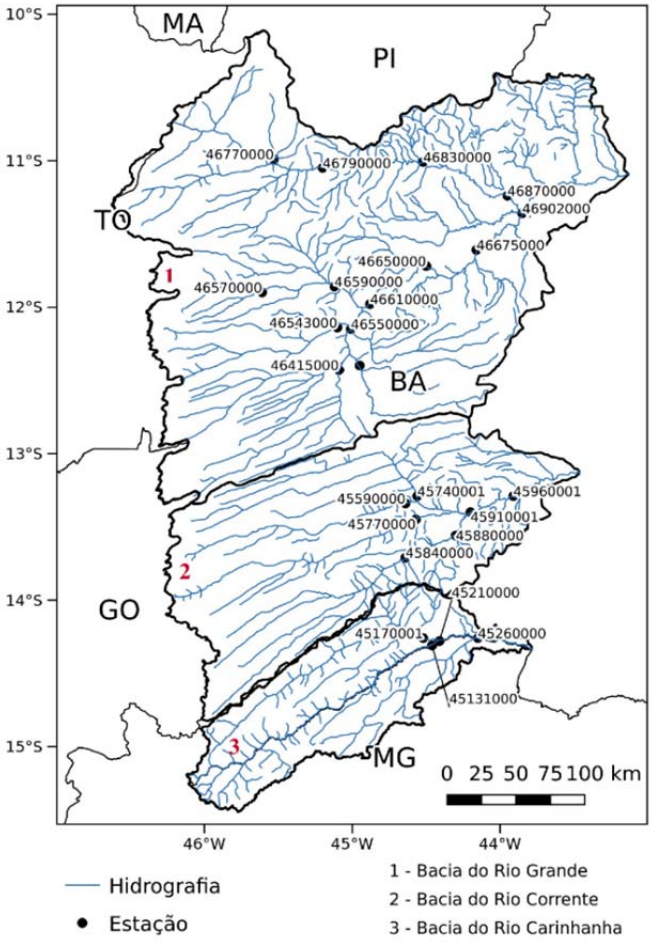


Figura 5.2.1 – Área de estudo, Oeste da Bahia, mostrando a localização das 25 estações fluviométricas analisadas

Apesar de analisarmos os dados de 25 estações fluviométricas, selecionamos seis estações para uma análise mais profunda (Tabela 5.2.2, Figura 5.2.1). Essas estações estão espalhadas por toda a região e são representativas da variabilidade regional. Além disso,

quatro estações foram escolhidas porque possuem maior densidade de sistemas de irrigação a montante (A-D), enquanto duas delas (E, F) foram escolhidas por sua baixa densidade de irrigação a montante.

Tabela 5.2.1 – Códigos das 25 estações fluviométricas analisadas, incluindo área de drenagem

Código ANA	Área de drenagem (km^2)	Código ANA	Área de drenagem (km^2)	Código ANA	Área de drenagem (km^2)
45131000	6.024,64	45910001	29.643,66	46610000	32.961,09
45170001	5.896,82	45960001	31.155,35	46650000	35.872,81
45210000	12.611,91	46415000	4.943,87	46675000	39.601,77
45260000	16.341,87	46490000	4.489,23	46770000	6.991,59
45590000	3.825,66	46543000	5.383,76	46790000	14.326,87
45740001	9.038,90	46550000	24.495,96	46830000	18.384,49
45770000	5.644,33	46570000	2.522,12	46870000	22.151,23
45840000	7.132,70	46590000	7.311,68	46902000	46.396,03
45880000	9.107,55				

Tabela 5.2.2 - Estações fluviométricas selecionadas.

Código ANA	Rio	Nome da estação	Município	Área de Drenagem (km^2)	Coordenadas da estação
46543000	Rio de Ondas	Fazenda Redenção	Barreiras	5.383,76	12°08'S / 45°06'W
46570000	Rio de Janeiro	Ponte Serafim	Barreiras	2.522,12	11°54'S / 45°36'W
46415000	Rio Grande	Sítio Grande	São Desidério	4.943,87	12°25'S / 45°05'W
45840000	Rio Formoso	Gatos	Jaborandi	7.132,69	13°42'S / 44°38'W
45910001	Rio Corrente	Santa Maria da Vitória	Santana	29.643,66	13°24'S / 44°12'W
46790000	Rio Preto	Formosa do Rio Preto	Formosa do Rio Preto	14.326,87	11°03'S / 45°12'W

A concessão de outorgas de uso de água nas bacias dos rios Grande e Corrente é uma atribuição do Estado da Bahia, que utiliza o critério de que 80% da Q_{90} pode ser outorgada para uso humano (conforme Decreto Estadual 6296 de 21 de março de 1997). Q_{90} é a vazão esperada para estar presente no rio durante pelo menos 90% do tempo, ou seja, durante 90% das séries temporais utilizadas no cálculo, existe uma vazão igual ou superior a Q_{90} no rio.

Para seguir este critério, nossas análises de disponibilidade de água são baseadas na curva de permanência da vazão de seções específicas dos rios. Uma curva de permanência é uma curva de frequência cumulativa que mostra que o percentual de descargas especificadas foi igualado ou excedido durante um determinado período no tempo. Aqui usamos Q_{90}

calculado usando a série de longo prazo (LP Q_{90}), que é um critério mais comum para conceder licenças de uso de água, mas também calculamos Q_{90} usando dois períodos diferentes, para caracterizar a mudança do hidroclima, conforme definido na análise estatística a seguir.

5.2.2 Análise estatística

Aplicamos quatro análises estatísticas para detectar mudanças na série temporal das chuvas. Primeiro, aplicamos o teste de Pettitt (1979), para detectar pontos de mudança na série temporal de precipitação em toda a região. Este é um teste não-paramétrico que não requer conhecimento sobre a distribuição dos dados, e é particularmente útil quando nenhuma hipótese é necessária sobre a localização do ponto de mudança. O teste de Pettitt tem sido amplamente aplicado para detectar mudanças nas séries temporais hidroclimáticas observadas (Verstraeten et al., 2006; Rybski et al., 2006), e só pode ser aplicado a séries temporais contínuas. Considera-se a princípio uma sequência de variáveis aleatórias $X_1, X_2,\ldots, X_T$, que possuem um ponto de mudança em $t = \tau$. Como resultado, $(X_1, X_2, ..., X\tau)$ tem uma função de distribuição comum $F_1(X)$, mas $(X_{\tau+1}, X_{\tau+2}, ..., X_T)$ são distribuídos como $F_2(X)$, onde $F_1(X) \neq F_2(X)$. A hipótese nula H_0 para este teste é que as observações são independentes e identicamente distribuídas (sem alteração, ou $\tau = T$), e são testadas contra a hipótese alternativa H_1: mudança na série (ou $1 \leq \tau < T$); usando a estatística não paramétrica $K_T = \max |U_{t,T}|$, onde:

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=t+1}^{T} sign(X_t - X_j) \tag{5.2.1}$$

O nível de confiança para um ponto de mudança é definido como

$$\rho = exp\left(\frac{-6\,K_T^2}{T^3+T^2}\right) \tag{5.2.2}$$

Segundo, aplicamos um teste t de Student clássico para testar a hipótese nula de que a precipitação média anual não é significativamente diferente de um período para outro, onde os períodos são divididos em $t = \tau$, obtidos pelo teste de Pettitt.

Terceiro, aplicamos o teste de Mann-Kendall para as tendências da série temporal, um teste não paramétrico, livre de distribuição, que não faz suposições de linearidade ou distribuição dos valores. Este teste foi amplamente recomendado pela Organização Meteorológica Mundial para análise geral de tendências de séries temporais (Mitchell et al., 1966). Finalmente, usamos gráficos tipo *boxplot* para avaliar a variabilidade interanual da precipitação.

5.2.3 Mudanças na precipitação

A Figura 5.2.2 mostra a evolução da precipitação média regional anual para as três bacias. Além disso, os dados da estação de Barreiras também são mostrados. Uma análise da Figura 5.2.2 indica que duas características principais dessas séries temporais se destacam. Primeiro, a precipitação média anual apresenta forte variabilidade interanual, variando de ~600 a >1700 mm ano^{-1}. Em outras palavras, os anos de precipitação individuais variam de

valores típicos do clima semi-árido a leste da região até valores típicos do clima tropical sazonalmente seco a oeste da região. O padrão de variabilidade interanual também é consistente entre as três bacias, o que indica que é forçado por mecanismos climáticos de grande escala. Além disso, o padrão regional se correlaciona bem com os dados da estação de Barreiras, o que permite interpretações especulativas no período anterior a 1980.

Em segundo lugar, a precipitação em toda a bacia não foi superior a 1370 mm ano^{-1} desde 1992, enquanto este nível foi ultrapassado cinco vezes entre 1980 e 1992, e mais cinco vezes no período de 1961 a 1979, considerando os dados de Barreiras. Esta é uma grande mudança no regime de precipitação, que afeta as médias decadais regionais. Para ter certeza, nós aplicamos o teste não-paramétrico de Pettitt para detectar pontos de mudança para a série temporal de 1980-2015 em toda a região, o que confirma um ponto de mudança em $\tau = 13$ (1992), com $K_T = 87$ e nível de significância $4{,}6 \times 10^{-9}$.

Com base nessas evidências, dividimos a série temporal de chuva e fluxo fluvial de 36 anos em dois períodos, P1 (1980-1992) e P2 (1993-2015), para testar a hipótese de mudança de precipitação entre os dois períodos. Também foram testadas outras divisões da série temporal das chuvas (dois períodos de 18 anos, três períodos de 12 anos), mas a divisão em P1 e P2 foi a escolha que produziu a maior significância na mudança de precipitação.

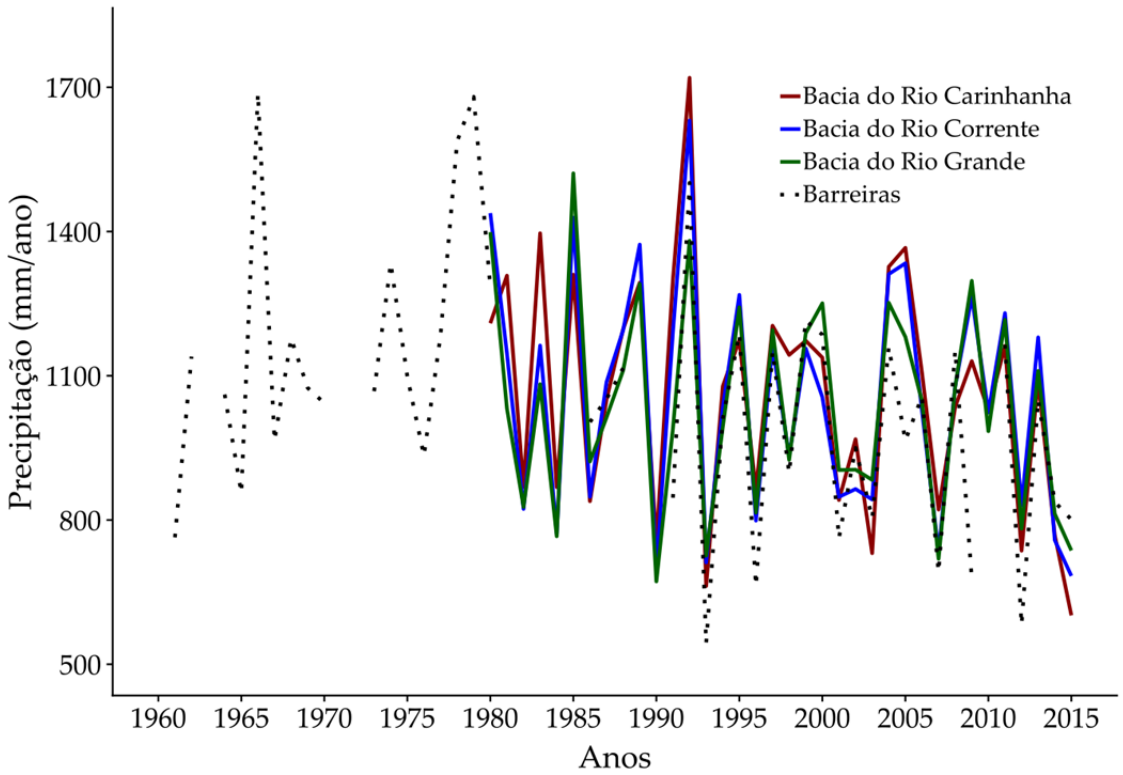


Figura 5.2.2 - Precipitação média anual para as três bacias e precipitação histórica para o pluviômetro de Barreiras.

De fato, os padrões regionais de precipitação média para os dois períodos (P1, P2) mostram que as isoietas estão se movendo para oeste de P1 para P2 (Figura 5.2.3a,b), traduzindo em uma redução de precipitação regional de P2 em relação a P1 (Figura 5.2.3c). Embora o período de análise seja relativamente pequeno, foi detectada uma mudança

significativa na precipitação. A redução da precipitação é extremamente provável (α = 0,05), com uma redução média de -165 mm ano^{-1} (-12% em comparação com a média P1), aparecendo em uma área central hachurada no oeste da região. Essa área central é cercada por mudanças de precipitação muito prováveis (α = 0,10) (Figura 5.2.3c) e condições médias de redução de chuvas em quase toda a região (Figura 5.2.3c).

Considerando as médias das bacias, a redução significativa na precipitação ocorreu principalmente nos meses com maior precipitação (dezembro e janeiro) nas três bacias (Figura 5.2.4, α = 0,05). Além disso, a variabilidade interanual da precipitação, medida tanto pela diferença entre quartis quanto pelo intervalo de variabilidade, também diminuiu nas três bacias em P2, quando comparada a P1 (Figura 5.2.5).

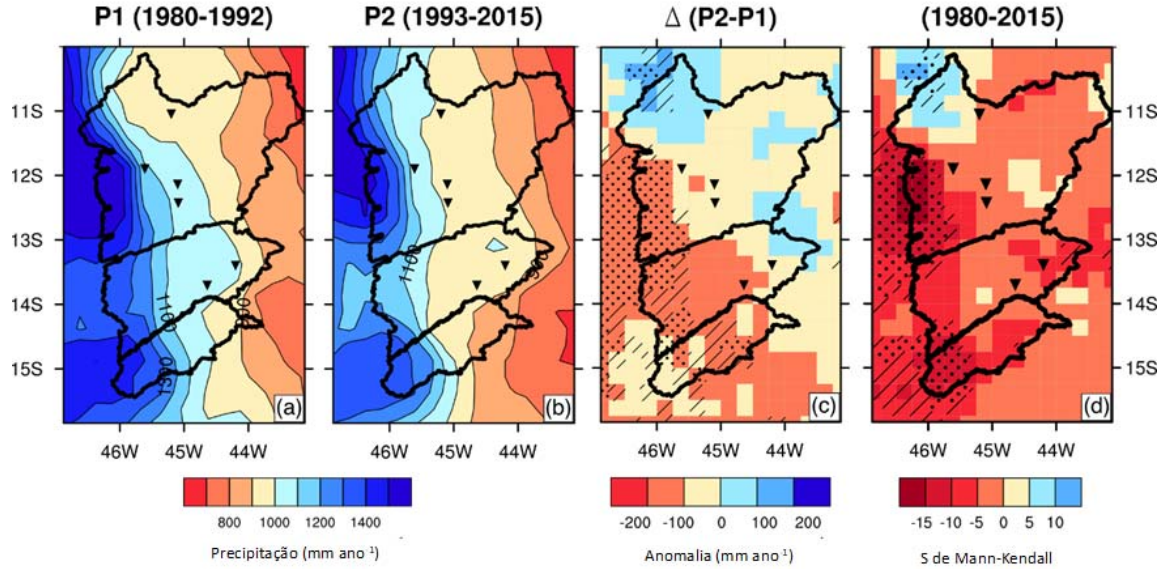


Figura 5.2.3 – Mapa de precipitação média para os períodos P1 (a), P2 (b), a diferença entre P2 e P1 (c), e a estatística S de Mann-Kendall (d) (valores negativos representam tendências decrescentes). As seis estações fluviométricas selecionadas também são mostradas (triângulos pretos). As áreas pontilhadas representam diferenças significativas ao nível de significância α = 0,05, de acordo com o teste t de Student (em c), ou de acordo com o teste de Mann-Kendall (em d), enquanto as áreas hachuradas representam diferenças ou tendências significativas ao nível α = 0,10.

Dois principais sistemas de grande escala são provavelmente a causa da redução das chuvas nesta região, ambas ligadas à maior variabilidade interanual e a anos de seca mais extremos (Marengo et al., 2017). Em primeiro lugar, o aquecimento do Oceano Atlântico tropical norte leva a uma maior frequência de posições anômalas para o norte da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Além disso, mudanças na temperatura do Pacífico manifestadas como extremos do El Niño-Oscilação Sul (ENOS), estão parcialmente associadas à seca extrema na região (Kane, 1997; Ambrizzi et al. 2004).

Sugerimos que a forte variabilidade interanual da precipitação é causada pela expansão sazonal da Alta Subtropical do Atlântico Sul em todo o nordeste do Brasil. Em anos secos (anos de El Niño e anos mais quentes do Atlântico Norte), ela se expande mais para o oeste, alcançando a fronteira Bahia/Tocantins. Nos anos úmidos (anos de *La Niña* e anos mais frios no Atlântico Norte), ela se expande menos, ficando a leste do rio São Francisco.

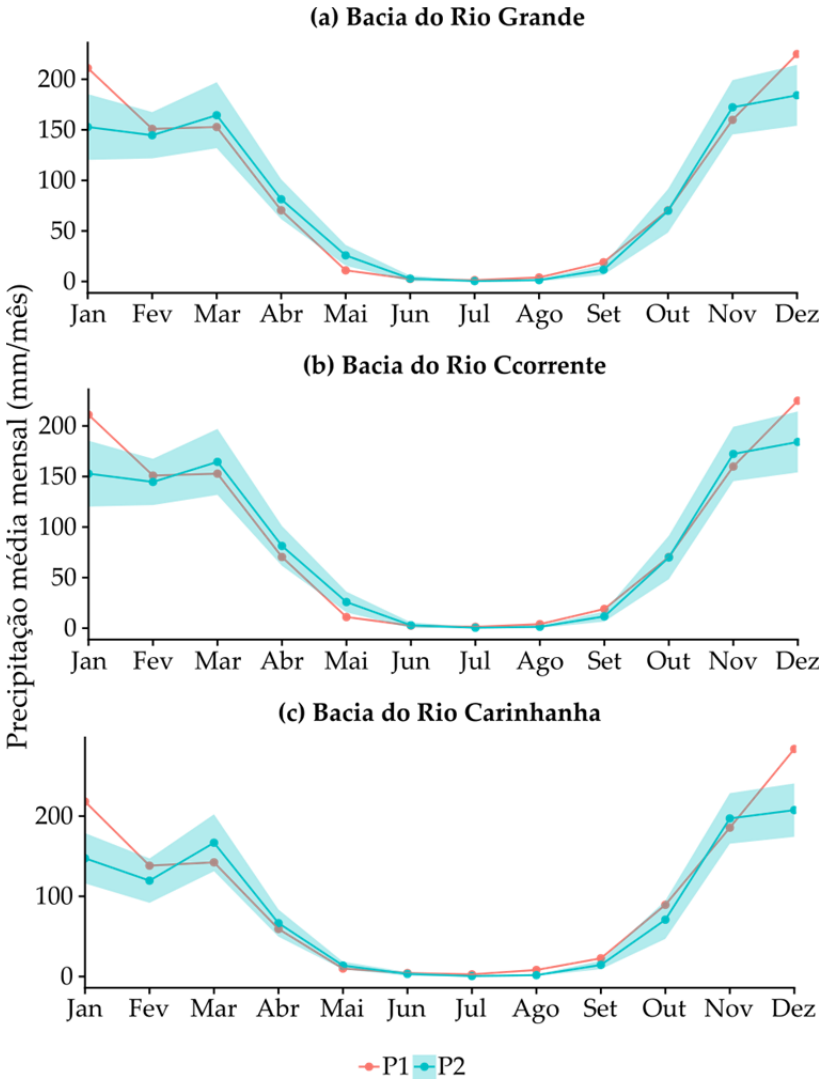


Figura 5.2.4 – Precipitação média mensal para dois períodos (P1 e P2) para as três bacias. A área sombreada em P2 é o intervalo de confiança para a média (α = 0,05). As médias em P1 fora da área sombreada são estatisticamente diferentes neste nível de confiança.

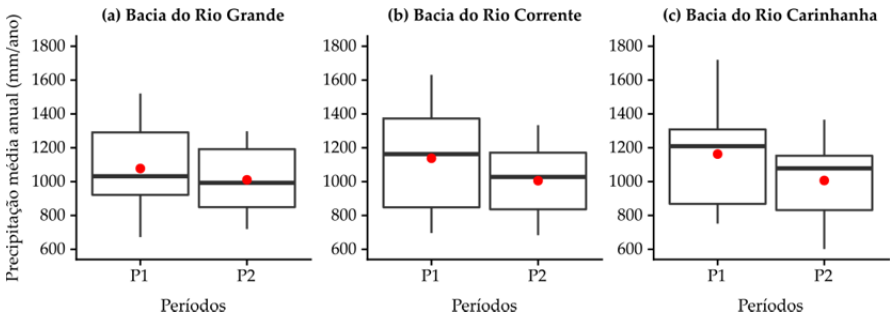


Figura 5.2.5 – *Boxplot* mostrando a mediana (linhas grossas), o quartil inferior e superior (caixa), a média (pontos vermelhos) e o mínimo e máximo da distribuição (*whiskers*) para os valores anuais de precipitação nos períodos P1 e P2. O período P1, embora muito mais curto que P2, apresenta maior variabilidade interanual.

5.2.4. Mudanças na vazão

As curvas de permanência da vazão para as seis estações analisadas estão apresentadas na Figura 5.2.6. Essas curvas mostram a porcentagem de tempo em que descargas especificadas foi igualada ou excedida durante cada período (P1, P2). Todos os painéis mostram que a descarga tem diminuído em todos os níveis de probabilidade.

A descarga desses rios é fortemente regulada pelo aqüífero Urucuia. Curvas de duração do fluxo paralelo, como a Figura 5.2.6c-f, indicam que a diminuição na descarga é causada principalmente pela redução da precipitação e modulada pelo aqüífero. Enquanto uma rede piezométrica de monitoramento do aquífero foi criada apenas em 2011, as medições até 2015 já mostram um rebaixamento do nível das águas subterrâneas de até 5,0 m (Seção 4 deste relatório – Águas subterrâneas).

Por outro lado, quando a queda na vazão é menor na estação úmida (percentis menores) e maior na estação seca (percentis mais altos), como é o caso da Figura 5.2.6b, é uma indicação de que a retirada da água durante a estação seca pode estar desempenhando um papel relevante na diminuição da descarga. Não é por acaso que a estação B (ou região R2 na Tabela 5.3.1) é a que está entre as seis selecionadas com maior densidade de irrigação a montante (4,8% da área a montante irrigada), enquanto as demais têm menos de 1% de sua área de drenagem irrigada. Sugerimos que a retirada de água para irrigação seja detectável apenas em registros fluviométricos quando a irrigação a montante está entre 1% e 4% da área de drenagem da estação.

Além disso, também pode ser verificado na Figura 5.2.6 que quase todos os dados de descarga registrados em P1 nessas seis estações são maiores que Q_{90} de P2. Isso significa que, mesmo considerando o longo prazo (1978-2015), Q_{90} é definido principalmente pelas descargas observadas apenas em P2. Isto é confirmado pela Figura 5.2.7, que mostra claramente que a maioria das situações em que a descarga diária Q é menor que a Q_{90} de longo prazo (LP Q_{90}) ocorre após 2000. Em um caso extremo, a estação D em um ano muito seco como 2015, 72% dos dias (263 dias de 365) tiveram Q diário menor que a LP Q_{90}. Embora este seja um caso grave, é relativamente comum encontrar anos quando mais da metade dos dias estão abaixo da LP Q_{90}.

Nossa interpretação desses dados é que, mesmo se considerarmos sua duração relativamente curta (38 anos), todas as séries temporais de vazão dos rios são não-estacionárias. A vazão tem diminuído em todo o espectro e, em toda a região, as vazões mínimas foram definidas nos anos mais recentes. Mesmo quando os anos secos mais recentes foram considerados para a definição de vazões mínimas, a taxa atual real de ocorrência de uma fenômeno relativamente improvável como $Q < Q_{90}$ é quatro a sete vezes maior do que a probabilidade esperada. Sob essas circunstâncias, as descargas associadas a um valor de probabilidade não podem ser usadas para prever a distribuição de vazões futuras. Além disso, embora não mostremos os resultados aqui, as características acima são consistentes em 24 das 25 estações analisadas, exceto a estação mais ao noroeste (46770000, à montante da estação F), única região onde a precipitação não diminuiu.

A não-estacionariedade pode ser explicada por vários fatores, como mudanças nas bacias hidrográficas por efeitos antropogênicos, mudanças climáticas e variabilidade climática de baixa frequência (Bayatzi, 2015). Além disso, este não parece ser o caso de incerteza que domina a distribuição de extremos, como sugerido por Serinaldi e Kilsby (2015). Toda a curva de permanência diminuiu, não apenas os valores extremos. Isto é muito consistente com o quadro de rios regulados por um aquífero de nível decrescente, seguindo uma redução da

recarga do aquífero depois de reduções na precipitação, possivelmente causada por um fortalecimento do sistema de Alta Pressão do Atlântico Sul, a causa final para a não-estacionariedade. Esta é o raciocínio atual para a atribuição de causas, embora esta sequência de relações causa-efeito só possa ser verificada através de modelagem hidrogeológica detalhada e estudos de dinâmica climática em larga escala, que estão além do escopo deste trabalho.

As implicações desses resultados para a disponibilidade de recursos hídricos serão discutidas na Seção 5.4, após a apresentação dos resultados da evolução das áreas irrigadas na região.

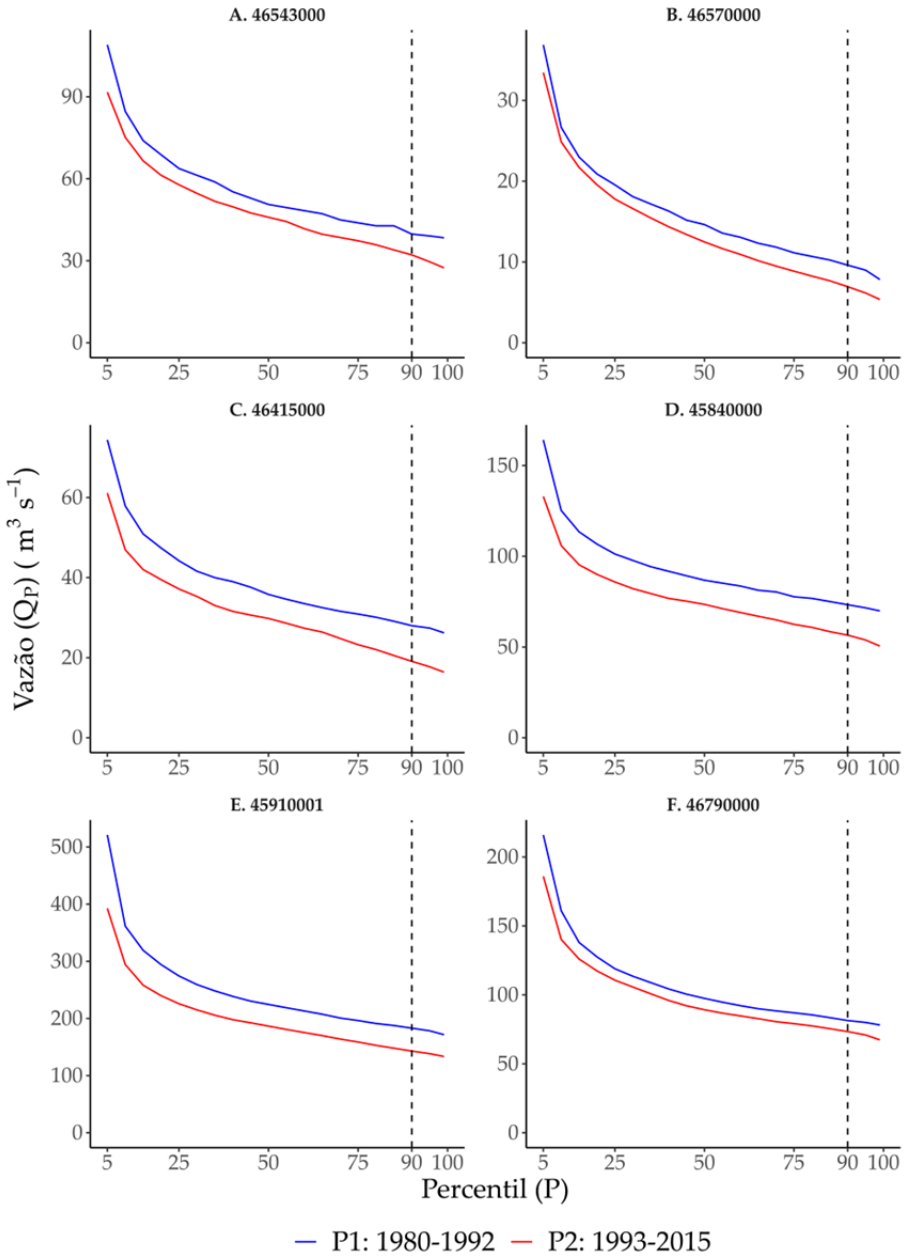


Figura 5.2.4 – Curvas de permanência para as estações A-F para os períodos P1 e P2. Os valores no eixo x são a probabilidade de que uma dada descarga (Q_p) seja excedida durante esse período. A intersecção da linha tracejada, representando o percentil 90% e cada curva, representa o Q_{90}.

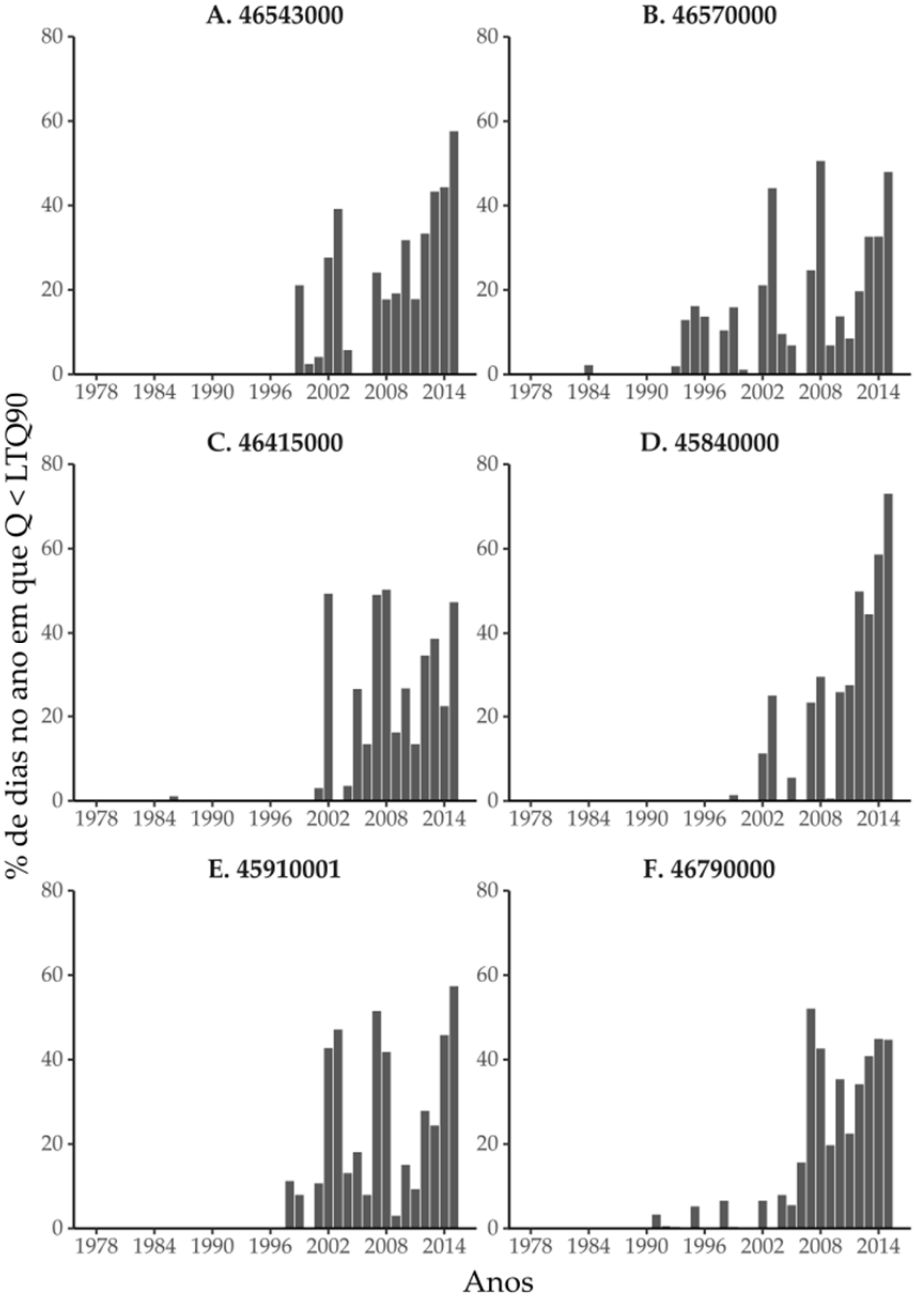


Figura 5.2.7 – Porcentagem de dias em cada ano em que a Q real está abaixo da Q_{90} de longo prazo. Q_{90} de longo prazo é calculada para o período 1978-2015. A concentração de casos de Q < LP Q_{90} após 2000 indica reduções drásticas nas vazões mínimas.

5.3 Mapeamento histórico do uso e cobertura do solo

5.3.1 Métodos

O uso e cobertura do solo na região de estudo foram determinados com base em dados de sensoriamento remoto, como os obtidos pelo programa *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT) e o sensor *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) para o

período entre 1990 e 2018. Essas imagens foram selecionadas após uma criteriosa avaliação da presença de nuvens distinguindo-se as datas de aquisição das cenas no período chuvoso (outubro a abril), o qual coincide com o pleno desenvolvimento das culturas anuais em regime de sequeiro, e no período seco (maio a setembro), que evidencia as áreas com agricultura irrigada.

Para as imagens LANDSAT, a variação espectral devido a fatores não relacionados à mudança na cobertura da superfície, condições atmosféricas e geometria da incidência solar pelo sensor foram minimizadas com técnicas padrão de geoprocessamento (correção geométrica, normalização radiométrica, remoção de nuvens e sombra de nuvens) de acordo com procedimentos recomendados pelo *Global Observation of Forest and Land Dynamics* (GOFC-GOLD, 2009). Estas correções são cruciais para a caracterização mais acurada das mudanças na vegetação (Song et al., 2000).

Os usos do solo foram classificados nas seguintes classes: formações florestais (FF) formações savânicas (FS – Cerrado *sensu strictu*), formações campestres (FC – Campo sujo e campo limpo), pastagem, agricultura irrigada, agricultura de sequeiro, mais uma classe onde agricultura era indistinguível radiometricamente de pastagem (agricultura ou pastagem). Para a interpretação das imagens, foram coletadas (durante o trabalho de campo descrito na Seção 5.6) amostras de treinamento que representam a situação de campo em 2018. A identificação das áreas de formações florestais e formações savânicas foi realizada com o auxílio dos mapas de vegetação do Projeto RadamBrasil, na escala de 1:250.000, e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006). O mapeamento descrito e apresentado por Rudorff et al. (2015) e os dados do TerraClass Cerrado 2013 (INPE, 2015) auxiliaram na identificação das áreas com agricultura e pastagens.

A área irrigada por pivôs centrais foi obtida por um procedimento de quatro etapas. Primeiro, as imagens do Landsat 5, 7 e 8 para o período de 1990 a 2018 foram processadas usando a nuvem do Google Earth Engine. As imagens foram filtradas usando a mediana dos pixels para o período seco (abril a setembro) e foram feitos mosaicos para a região de estudo, para produzir um mosaico único da região por ano. Em segundo lugar, o mapa filtrado foi fundido com os dados de pivôs centrais de Landau et al. (2014) e do projeto *OpenStreetMaps* para obter um mapa de pivôs inicial da região. Em seguida, as características duplicadas e os erros de topologia foram removidos do conjunto de dados. Terceiro, com o auxílio das bandas visíveis (RGB) e do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) dos mosaicos gerados, as características dos pivôs centrais foram digitalizadas ou apagadas de acordo com o reconhecimento nas imagens de cada ano. Finalmente, as geometrias dos pivôs centrais obtidas em cada ano passaram por uma análise de tendência e precisão de seus componentes posicionais para validação da precisão posicional, produzindo um mapa final sem tendências nos tamanhos dos pivôs centrais e com precisão adequada à escala de 1 : 150.000, compatível com a resolução das imagens do Landsat.

5.3.2 Resultados

A Figura 5.3.1 apresenta a evolução relativa do uso do solo no Oeste da Bahia. Nesta figura (gráfico empilhado), a área ocupada por cada classe de cobertura e uso do solo (CUCS) é proporcional à dimensão vertical de cada categoria. As tendências mostram que o crescimento da agricultura e da pastagem estão ocorrendo principalmente sobre as regiões de formações campestres (campo limpo e campo sujo). Enquanto isso, as áreas de formações savânicas também diminuíram, porém em menor proporção, e as áreas de formações florestais tiveram pouca variação.

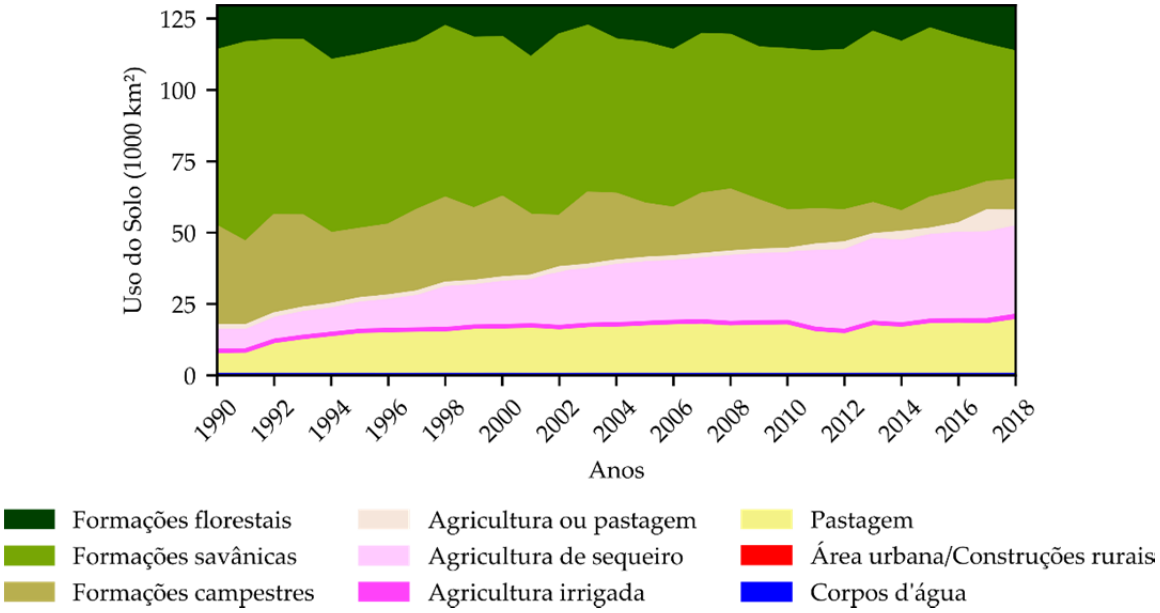


Figura 5.3.1 – Evolução relativa da cobertura e uso do solo na região. As tendências mostram que o crescimento da agricultura e da pastagem estão ocorrendo principalmente sobre as regiões de formações campestres (campo limpo e campo sujo).

A variabilidade interanual das classificações de solo (algumas classes variando de extensão ao longo dos anos) é principalmente relacionada à ocorrência de distúrbios, como eventos extremos de seca ou de fogo, que façam com que a quantidade de folhas e clorofila (principal atributo da vegetação detectado por sensoriamento remoto) diminua em um ano, e depois seja naturalmente restaurada às suas condições anteriores nos anos seguintes. Neste ano de distúrbio, o algoritmo classificador provavelmente classificará um tipo de vegetação mais estruturado e normalmente com maior presença de clorofila (como uma formação florestal) como uma vegetação menos estruturada com menos clorofila (como uma formação savânica ou campestre). Comparando as Figuras 5.2.2 e 5.3.1, nota-se que as formações florestais atingem valores mínimos de extensão em anos secos como 1993, 1997, 2003 e 2015. Além disso, terras que tiveram a vegetação suprimida e foram abandonadas à restauração natural também contribuem para esta variabilidade.

Os padrões espaciais de evolução do uso do solo no Oeste da Bahia estão representados na Figura 5.3.2, mostrando a evolução a cada 4 anos desde 1990 a 2018. De maneira geral, as áreas de agricultura de sequeiro começaram a se instalar no extremo oeste da região no início dos anos 1990, provavelmente devido aos altos níveis pluviométricos, e foram gradualmente se expandindo para leste, sobre regiões anteriormente ocupadas por vegetações campestres nas áreas de chapada da região. Atualmente, a agricultura de sequeiro se expandiu fortemente aproximadamente 100-150 km a partir da fronteira oeste do estado da Bahia com os estados de Tocantins e Goiás, sendo que a expansão mais recente tem ocorrido na parte sudoeste do Oeste da Bahia (Bacias do Corrente e do Carinhanha), próximo às fronteiras com Goiás e Minas Gerais.

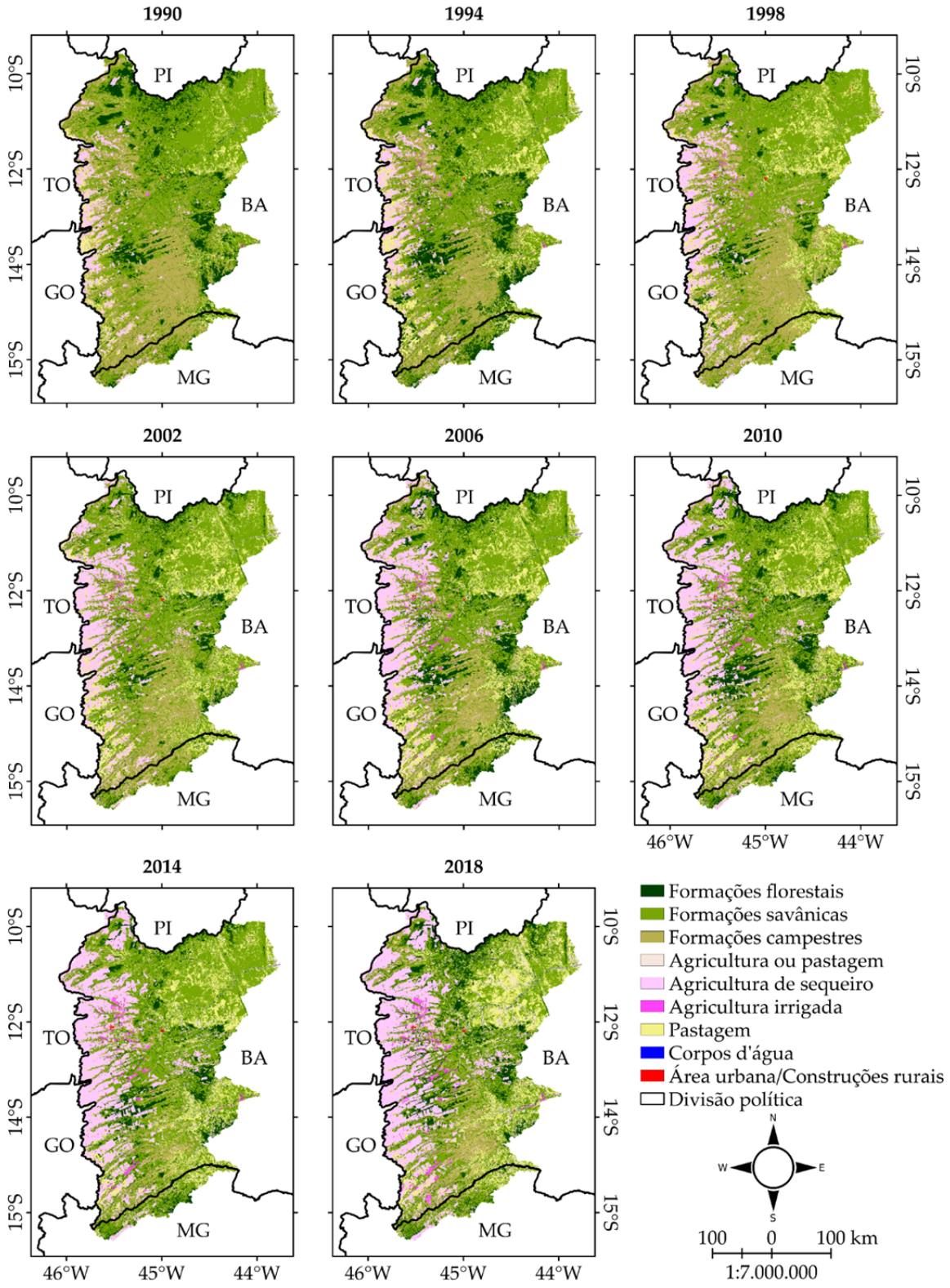


Figura 5.3.2 – Panorama geral das mudanças de cobertura e uso do solo para anos selecionados.

5.3.1. Áreas irrigadas

O levantamento das áreas irrigadas indica que a irrigação evoluiu de 187 pivôs centrais, ocupando uma área de 16.431 ha em 1990, para 1745 pivôs ocupando uma área irrigada de 190.900 ha em 2018 (Figura 5.3.3). Isso implica numa taxa de crescimento da ordem de 9,2% ao ano.

Figura 5.3.3 – Variação da área irrigada por pivôs centrais nas Bacias do Rio Grande, Rio Corrente e Rio Carinhanha

Analisamos também as oito ottobacias com maior concentração de pivôs centrais (representadas por áreas coloridas na Figura 5.3.4). Ottobacias, ou bacias hidrográficas ottocodificadas, são áreas de contribuição dos trechos da rede hidrográfica codificada de acordo com o sistema topológico proposto por Otto Pfafstetter (Pfafstetter, 1989; Verdin e Verdin, 1999) e oficialmente adotado pela ANA para identificar unicamente as áreas de contribuição em qualquer bacia hidrográfica usando um simples código de base 10. O sistema é hierárquico e recursivo, e o maior número de dígitos no código de ottobacia implica em um nível mais alto de subdivisão de uma bacia hidrográfica.

O critério para a seleção destas oito bacias foi a concentração de áreas irrigadas. Neste caso, selecionamos todas as bacias com mais de 3% de sua área irrigada, sendo que a média do Oeste da Bacia é 1,5%. Uma análise mais detalhada indica que estas oito regiões hidrográficas no Oeste da Bahia compreendem 1476 km^2 (147.600 ha) irrigados, ou 77% de toda a área irrigada na região. Sete dessas regiões estão situadas na Bacia do Rio Grande, sendo cinco ao redor de Luís Eduardo Magalhães (Tabela 5.3.1, Figura 5.3.4), enquanto a oitava está situada na Bacia do Rio Corrente. As oito regiões estão descritas resumidamente nas Figuras 5.3.5 a 5.3.12. Cada figura mostra um gráfico da evolução da área irrigada de 1990 a 2018 (tanto em km^2 quanto em %), e padrões espaciais da distribuição dos pivôs centrais para os anos de 2000, 2010 e 2018.

Tabela 5.3.1. Regiões selecionadas com área total e área irrigada no ano de 2018.

Região (Ri)	Código de Ottobacia da ANA	Rio	Área total (km^2)		Área irrigada em 2018		
			Ottobacia	Região	Ottobacia (km^2)	Região (km^2)	% da área total
R1	76243	Rio Branco		3403,5	232,9	232,9	6,8%
R2	46570000*	Rio de Janeiro		2522,1		122,2	4,8%
R3	762641	Rio Cabeceira de Pedras		1739,6		108,6	6,2%
R4	762691	Rio do Borá		938,3		89,2	9,5%
R5	7626711	Rio de Ondas	778,6	1939,2	121,1	244,2	12,6%
	762661	Rio de Ondas (foz)	222,3		33,9		
R6	762891	Rio Grande	197,1	2075,2	42,0	194,7	9,4%
	76489	Rio Guará	295,0		11,1		
	762871	Rio Grande	361,5		42,1		
	76285	Rio Grande	789,9		37,2		
	76282	Vereda Passaginha	431,7		62,3		
R7	764271	Rio Pratudão	662,4	3865,0	14,3	264,2	6,8%
	76426	Riacho do Váu	702,9		115,0		
	764241	Rio Formoso	2499,7		134,9		
R8	76296	Rio do Algodão	576,0	6254,5	33,3	220,0	3,5%
	76298	Rio Mosquito	681,3		24,6		
	76295	Rio das Fêmeas	412,2		36,5		
	76294	Rio do Boi	558,6		11,4		
	76297	Rio Roda Velha	40,5		0,84		
	76299	Rio Roda Velha	1450,9		13,4		
	76292	Rio Estiva	2491,0		99,2		
Total				22.737,4		1476,0	6,5%

* Corresponde ao código da estação fluviométrica

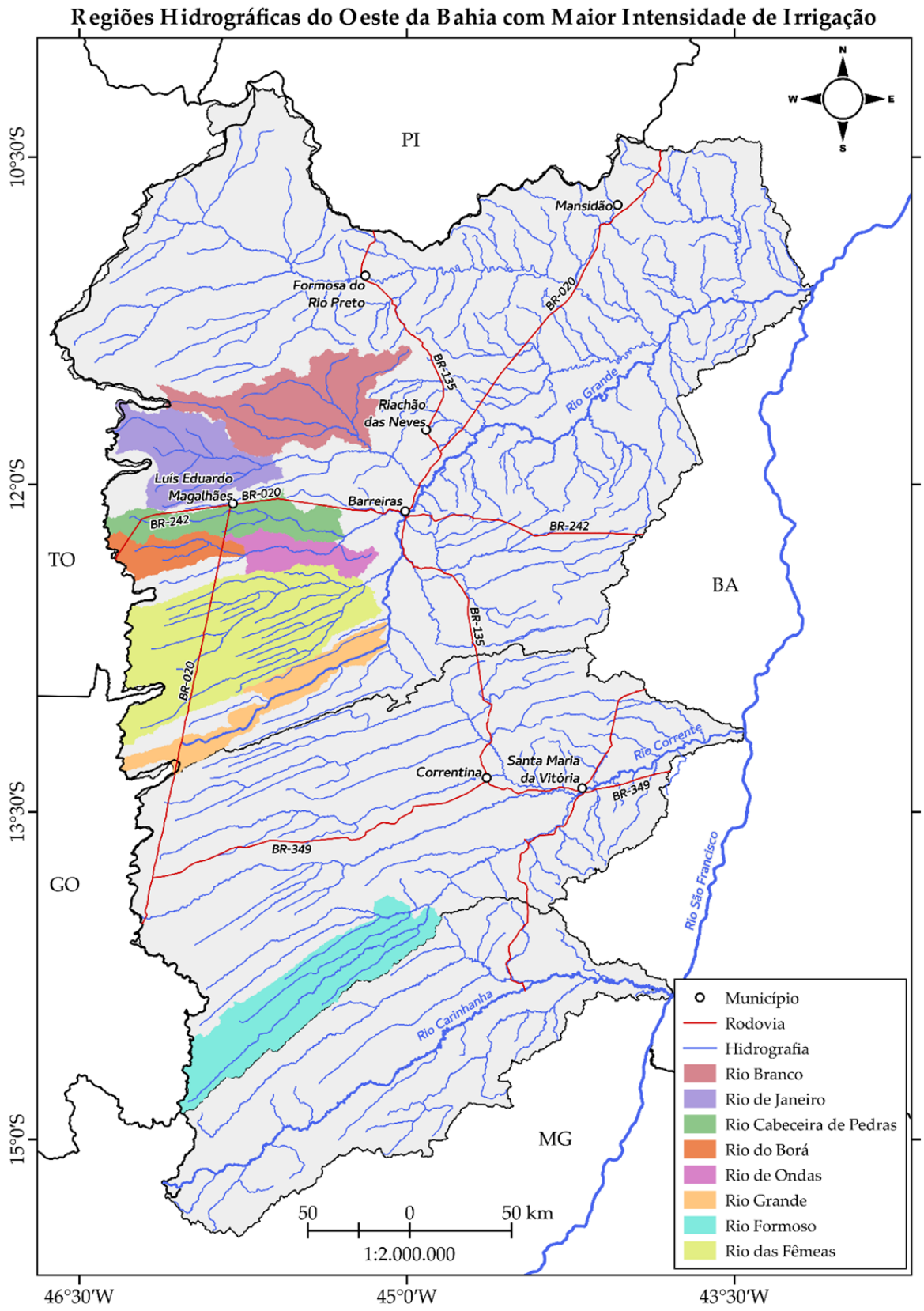
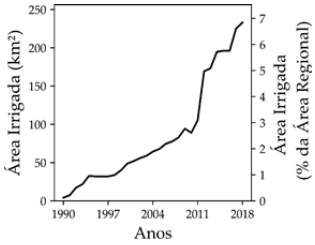
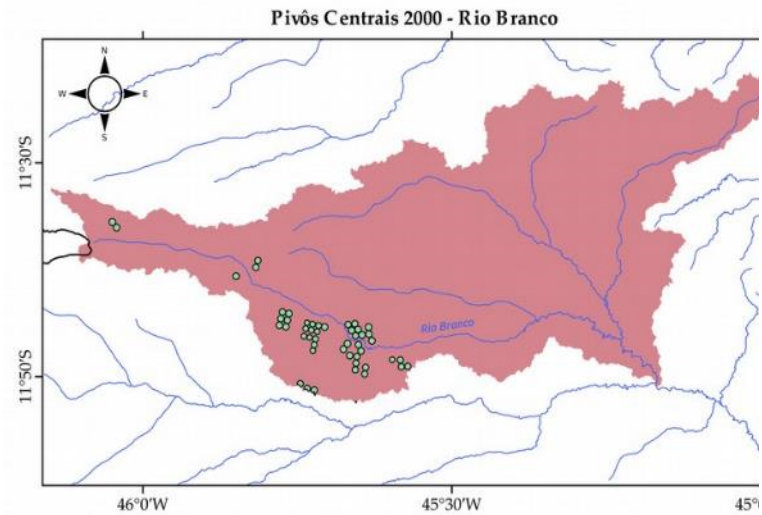
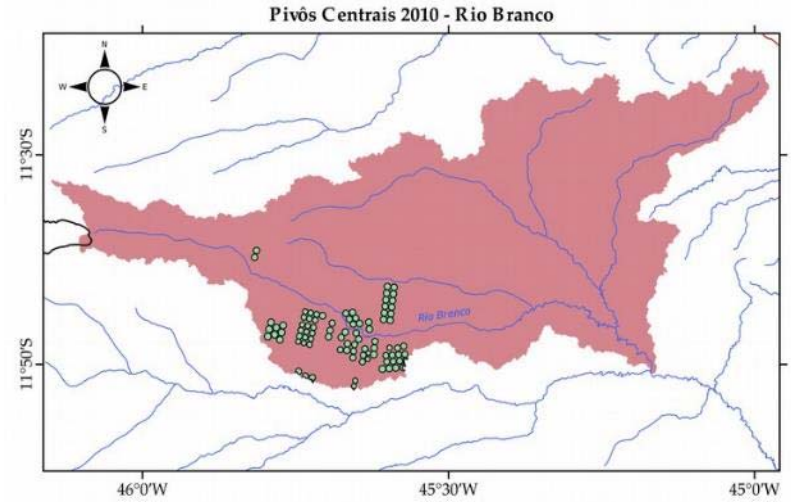


Figura 5.3.4 – Regiões hidrográficas com maior concentração de áreas irrigadas.



Evolução da área irrigada na região de 1990 a 2018





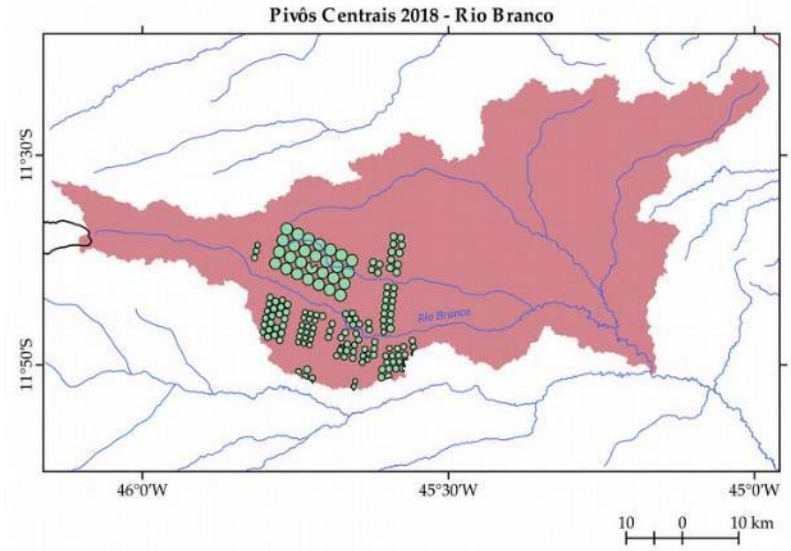
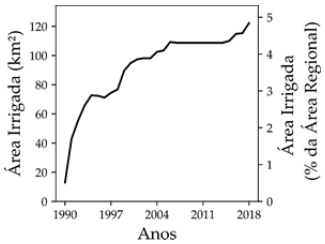


Figura 5.3.5 – Região do Rio Branco (R1): Com 3403,5 km^2, a região passou de 4,2 km^2 irrigados em 1990 para 232,9 km^2 irrigados no ano de 2018.



Evolução da área irrigada na região de 1990 a 2018

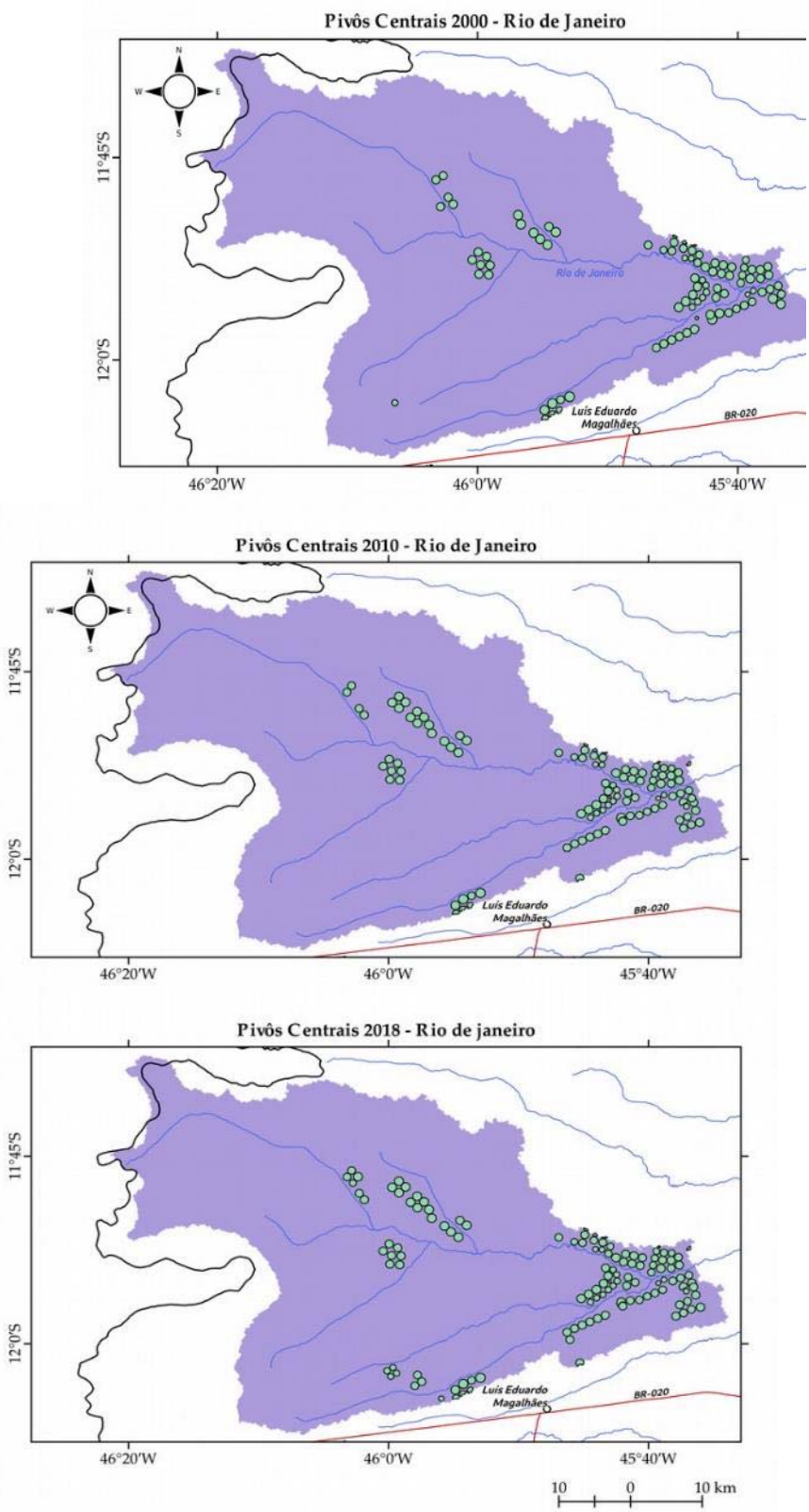
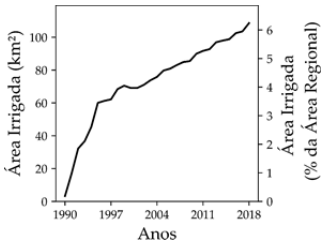


Figura 5.3.6 – Região Rio de Janeiro (R2). Com 2522,1 km^2, a região passou de 13 km^2 irrigados em 1990 para 122,2 km^2 irrigados no ano de 2018.



Evolução da área irrigada na região de 1990 a 2018

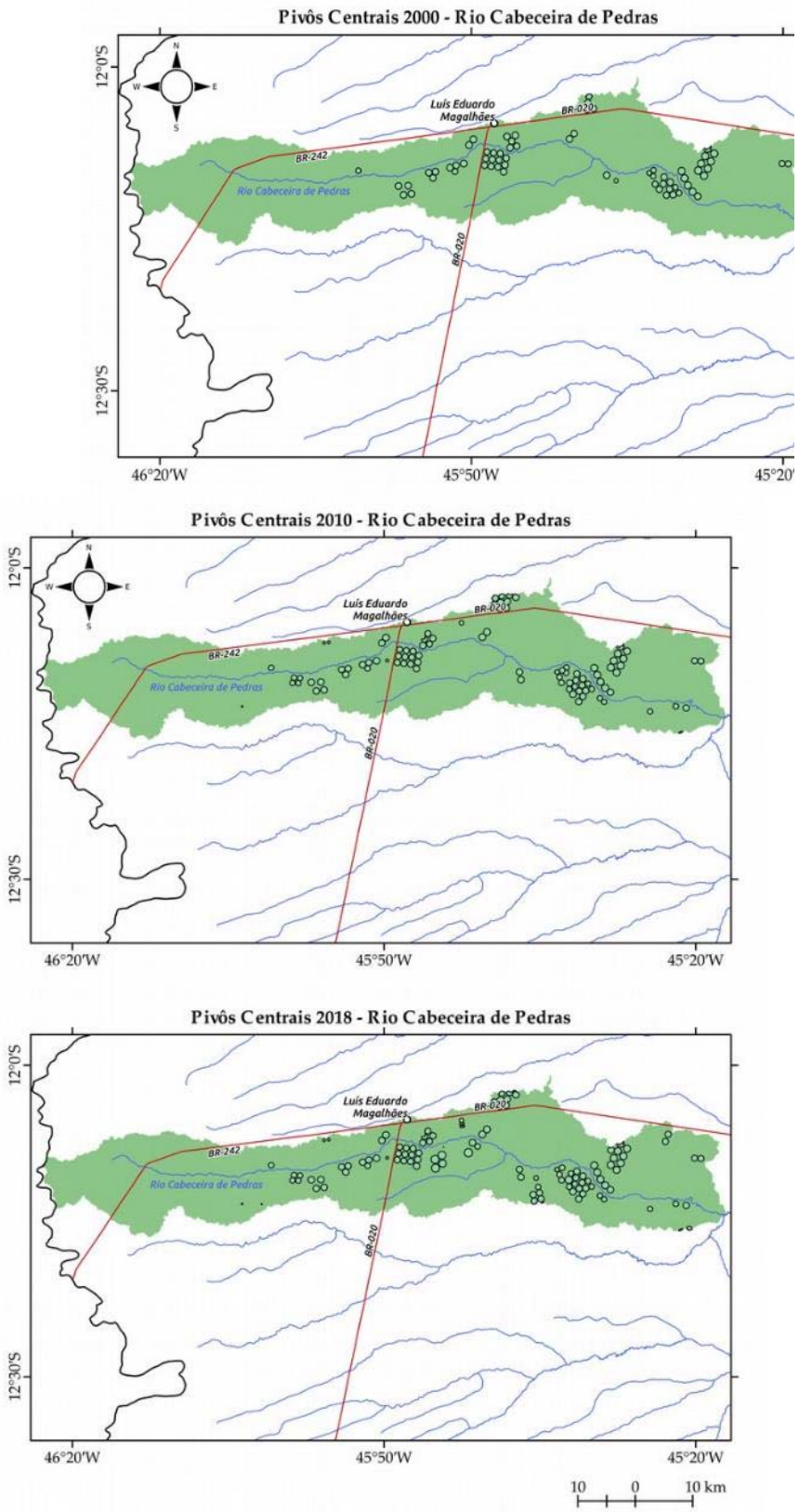
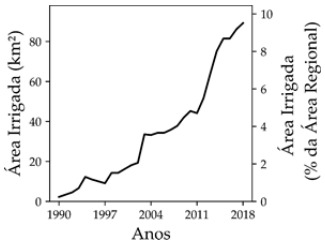


Figura 5.3.7 – Região Cabeceira de Pedras (R3). Com 1739,6 km^2, a região passou de 3,2 km^2 irrigados em 1990 para 108,6 km^2 irrigados no ano de 2018.



Evolução da área irrigada na região de 1990 a 2018

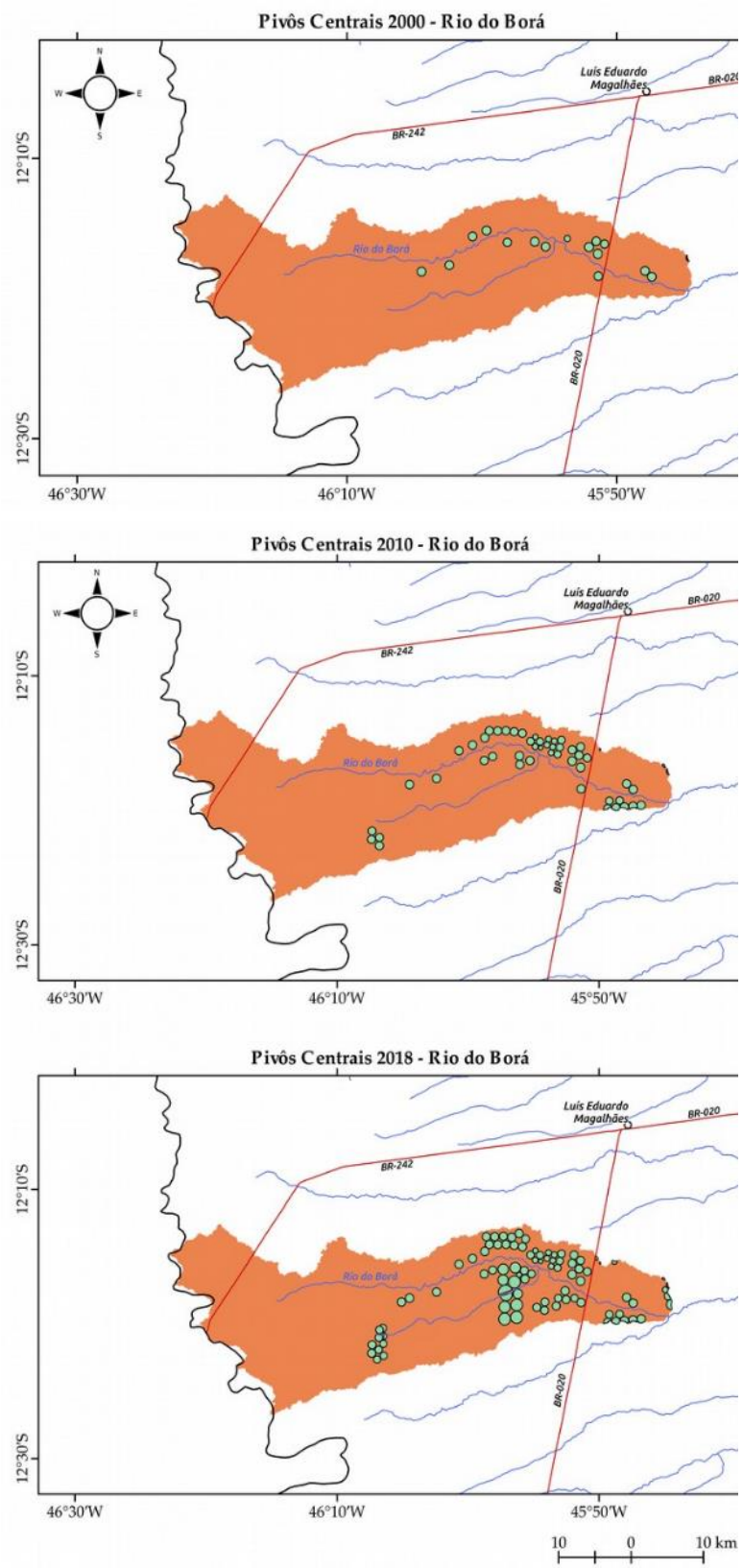
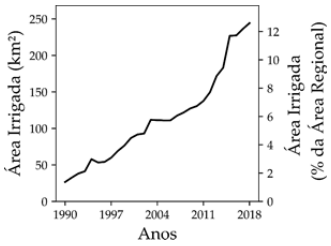


Figura 5.3.8 – Região Rio do Borá (R4). Com 938,3 km^2, a região passou de 2,3 km^2 irrigados em 1990 para 89,2 km^2 irrigados no ano de 2018.



Evolução da área irrigada na região de 1990 a 2018

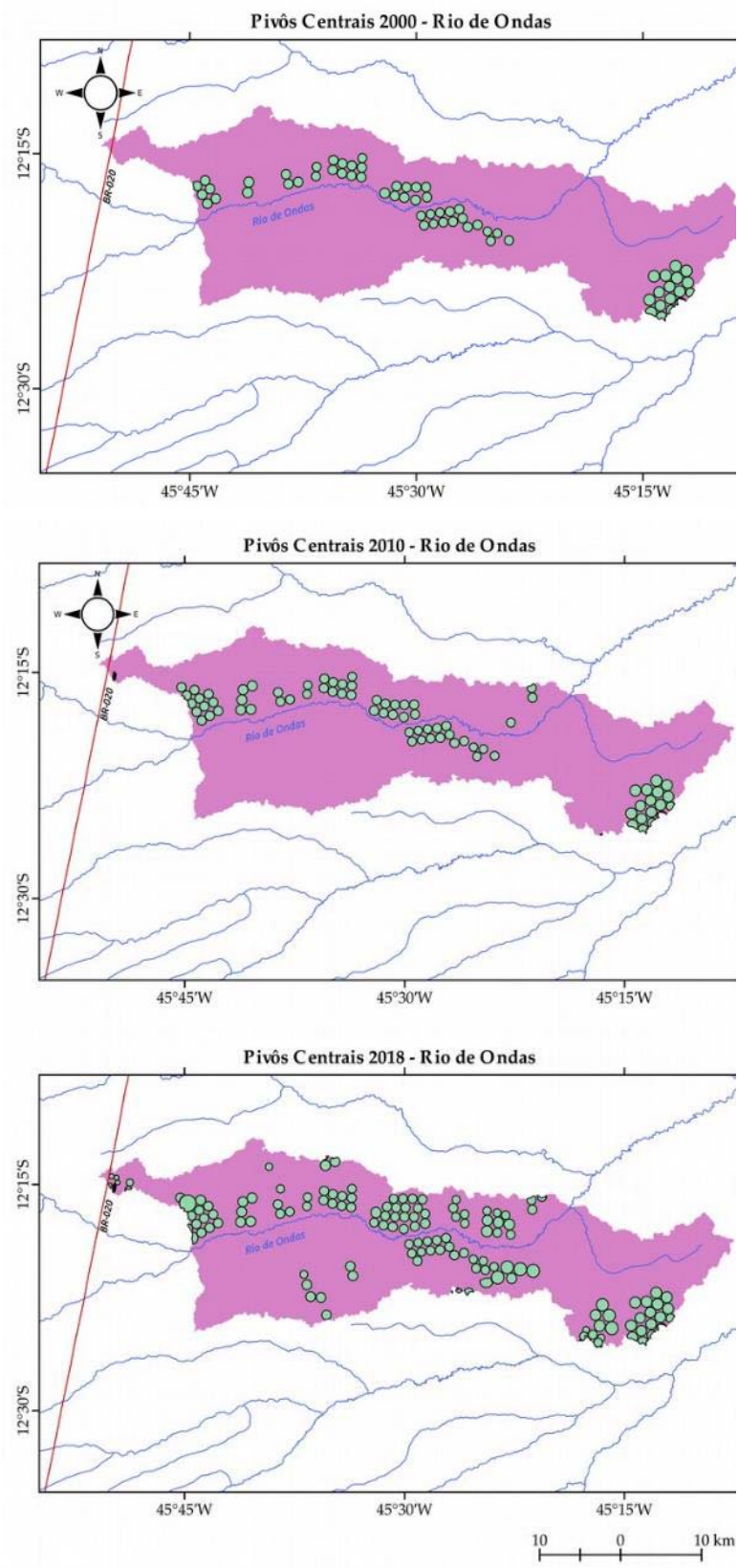
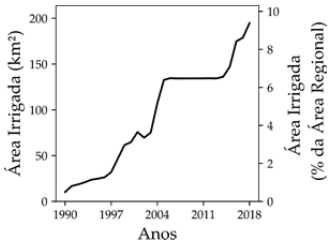


Figura 5.3.9 – Região Rio de Ondas (R5). Com 1939,2 km^2, a região passou de 26,6 km^2 irrigados em 1990 para 244,2 km^2 irrigados no ano de 2018.



Evolução da área irrigada na região de 1990 a 2018

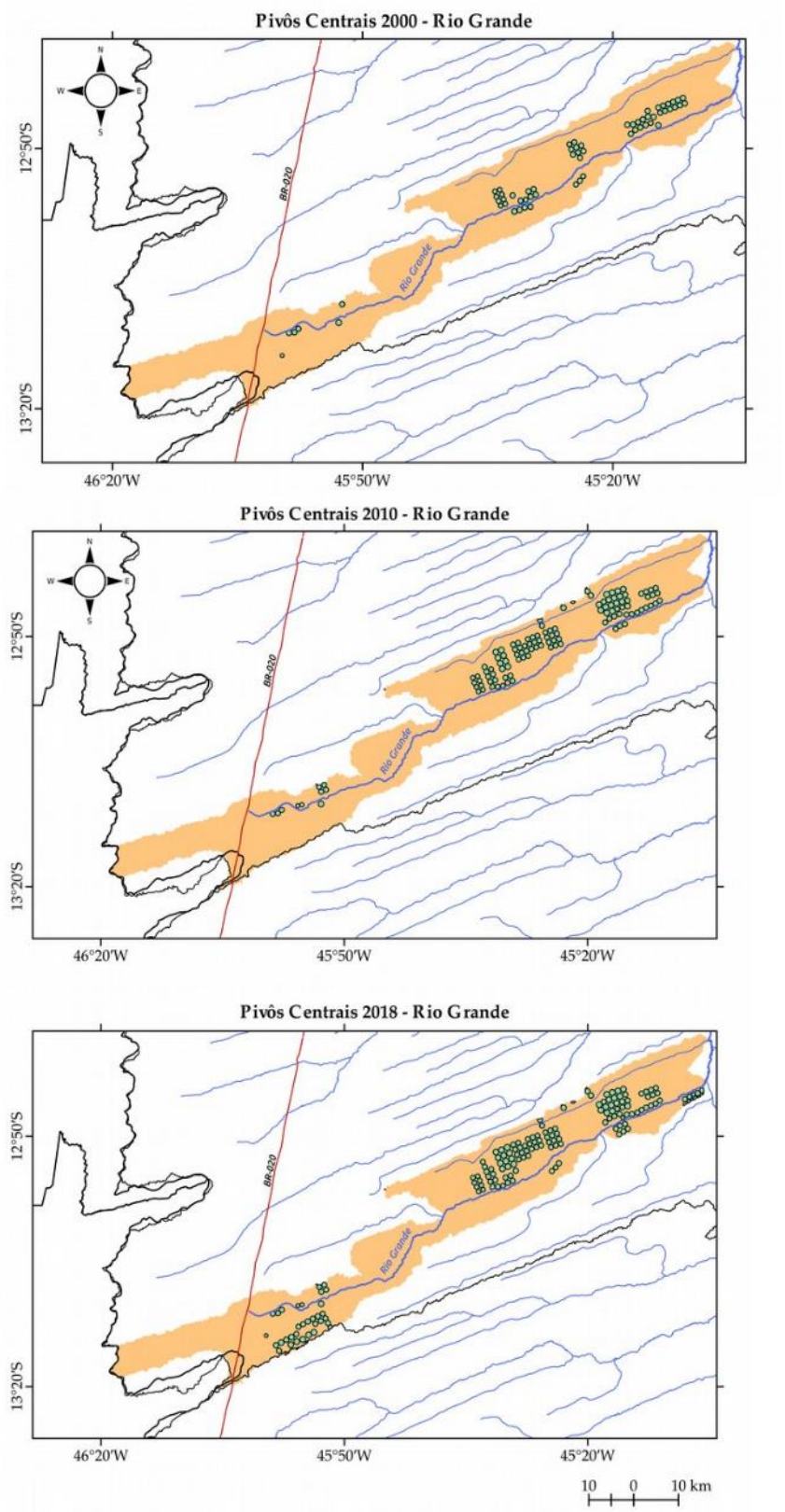
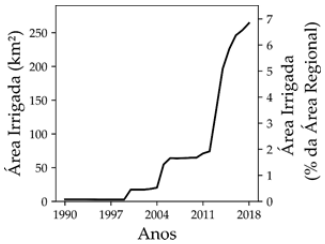


Figura 5.3.10 – Região Cabeceira do Rio Grande (R6). Com 2075,2 km^2, a região passou de 10,3 km^2 irrigados em 1990 para 194,7 km^2 irrigados no ano de 2018. Essa região compreende também os rios Guará e Vereda Passaginha.



Evolução da área irrigada na região de 1990 a 2018

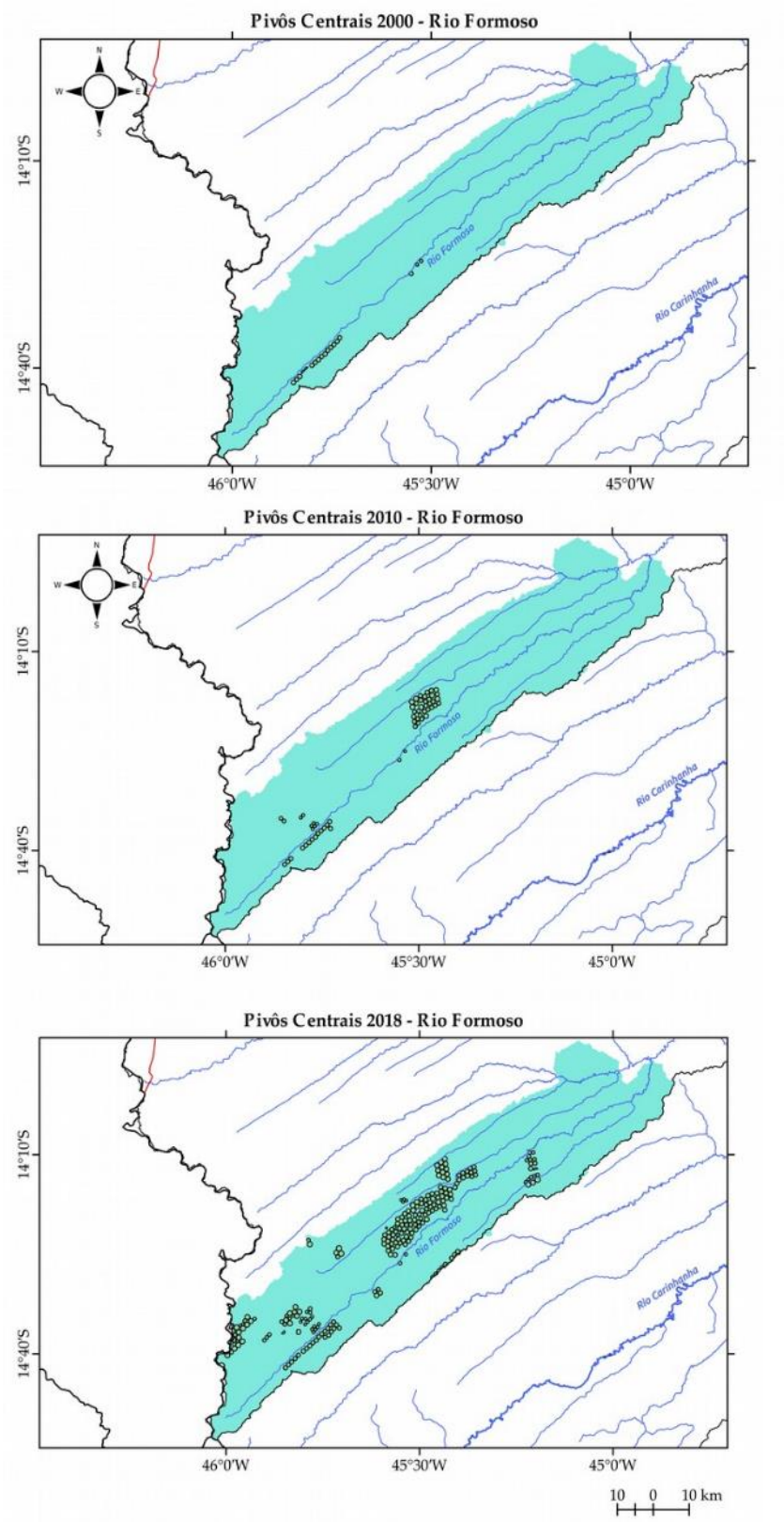
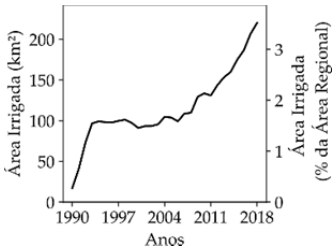
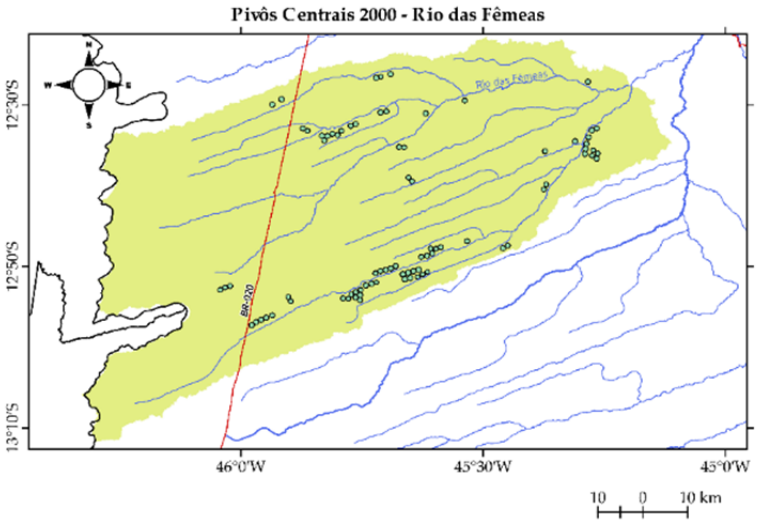
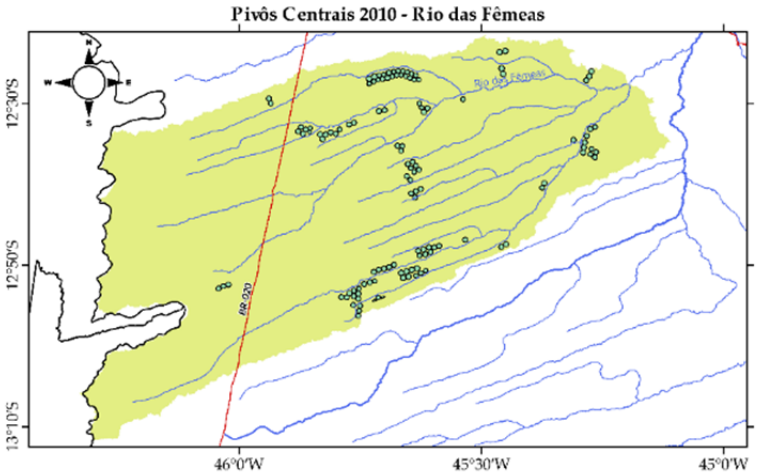


Figura 5.3.11 – Região Rio Formoso (R7). Com 3865 km^2, a região passou de 3,1 km^2 irrigados em 1990 para 264,2 km^2 irrigados no ano de 2018.



Evolução da área irrigada na região de 1990 a 2018





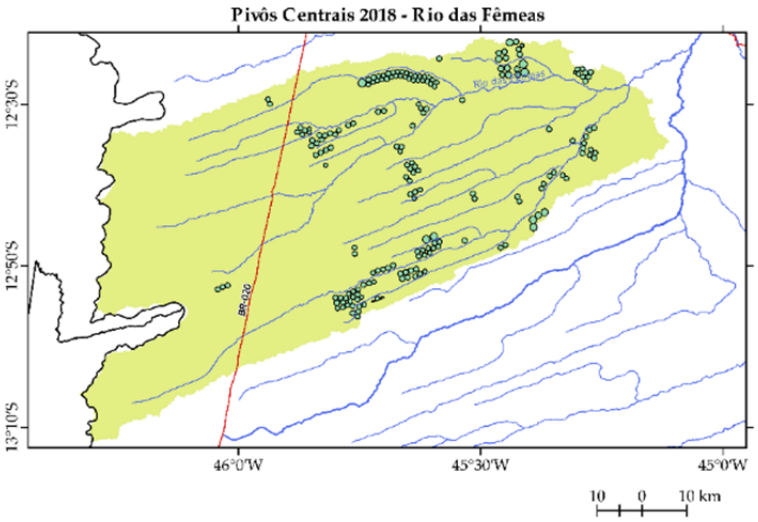


Figura 5.3.12 – Região Rio das Fêmeas (R8). Com 6255 km^2, a região passou de 17,2 km^2 irrigados em 1990 para 220,0 km^2 irrigados no ano de 2018.

5.4 Discussão integrada – Oferta e demanda de recursos hídricos no Oeste da Bahia

Pelo menos oito sub-bacias no Oeste da Bahia estão em estado de conflito pelo uso da água ou estão evoluindo rapidamente para condições de conflito: Rio Branco, Rio de Janeiro, Rio Cabeceira de Pedras, Rio Borá, Rio de Ondas, Rio das Fêmeas, Rio Grande (cabeceiras), e Rio Formoso. Essas sub-bacias representam 17% da área do Oeste da Bahia. Nestas oito sub-bacias críticas, os conflitos hídricos são iminentes, se os irrigantes realmente irrigarem nos meses mais secos do ano, quando a descarga geralmente fica em torno ou abaixo de Q90. Como uma alternativa de curto prazo, os conflitos podem ser evitados se os irrigantes evitarem a irrigação durante esses meses. Conforme mostrado na Figura 5.2.7, isso não se restringe a alguns meses do ano. Em muitos anos secos, quase metade das descargas diárias do ano estavam abaixo do Q90, com um caso extremo na estação D (rio Formoso) no ano muito seco de 2015, quando o Q diário estava abaixo de Q90 durante 72% do ano. Para ter certeza, esse valor de Q_{90} já inclui dados de 2015.

Devido ao declínio das chuvas e dos recursos hídricos, os limites de concessão de outorgas hídricas (80% do LP Q90) podem ser alcançados com uma frequência muito maior do que a originalmente planejada, se informações hidroclimáticas desatualizadas forem usadas. A combinação de forte aumento na demanda de água para irrigação e a manutenção de baixas vazões pode trazer consequências muito mais críticas para o gerenciamento da água na região nos próximos anos. Discutimos a seguir três caminhos diferentes para reduzir o estresse hídrico e aumentar a segurança do fornecimento de água: (i) Evitar a irrigação durante o período de baixa vazão; (ii) interromper a instalação de novos sistemas de irrigação; (iii) investir em um sistema de monitoramento hidroclimático.

(i) Evitar irrigação durante o período de baixa vazão

Evitar a irrigação durante os períodos de baixa vazão pode ser alcançado com o plantio de apenas duas safras por ano, uma de novembro a fevereiro, e uma segunda de março a junho. Esta é a reação mais natural para melhorar a segurança hídrica. Essa prática maximiza o uso da chuva durante a estação chuvosa de seis meses e reduz o uso da irrigação para dois meses, reduzindo o consumo de água não apenas pelo curto período de irrigação, mas também pelas baixas taxas de ET no final do período do ciclo. Além de aumentar a segurança hídrica, essa prática também reduz os custos de produção, evitando os altos custos de energia durante o final da estação seca no Brasil, quando tarifas adicionais de energia (bandeira vermelha) são cobradas.

Por outro lado, esta prática tem vários inconvenientes. O cultivo múltiplo aumenta a receita por parcela, proporciona diversificação de renda, reduz a pressão de pragas e ajuda a manter um conjunto mais estável de mão-de-obra agrícola, evitando o desemprego sazonal e as consequências sociais relacionadas (Richards et al. 2015). É também um fator importante na intensificação do uso da terra, que, se combinado com medidas adicionais de conservação, reduz a pressão para expandir a área plantada em detrimento dos ecossistemas naturais, possivelmente poupando a terra do desmatamento. Além disso, esta prática não é aplicável em culturas perenes.

(ii) Interromper a instalação de novos sistemas de irrigação

Interromper a instalação de novos sistemas de irrigação, seja através da proibição de novas outorgas de água ou por decisão coletiva dos irrigantes, é uma medida de curto prazo que ataca vigorosamente o problema do ponto de vista da demanda crescente. Esta alternativa foi solicitada pelo Comitê da Bacia do Rio Corrente como medida de precaução (Deliberação Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Corrente 01/2015).

Essa opção, no entanto, não resolve os conflitos das regiões já em estado de conflito, em particular na bacia do Rio Grande, onde as demandas de água já são muito altas em alguns lugares. Também não resolve o problema de diminuir a disponibilidade de água. Além disso, há consequências econômicas sobre empregos, receita tributária e crescimento econômico. Embora severa, esta medida pode ser necessária em algumas regiões com demandas muito altas, em particular se as descargas mínimas continuarem a diminuir. Uma atualização constante dos valores vazão mínima é desejável neste caso.

(iii) Investir em um sistema de monitoramento hidroclimático

As duas alternativas discutidas anteriormente podem mitigar os conflitos da água, mas todos têm seus reveses e riscos. O Oeste da Bahia é uma fronteira agrícola em constante mudança, carecendo de um elemento crucial para a gestão: dados. Como afirmado anteriormente, a gestão de recursos hídricos baseada na probabilidade de longo prazo de eventos hidroclimáticos requer pelo menos uma atualização constante dos valores baixos de descarga. Mas isso não parece ser suficiente. Nas regiões de maior estresse hídrico descritas acima, uma gestão real, na qual a disponibilidade e a demanda de recursos hídricos para a irrigação são realmente medidas e monitoradas, é o caminho mais seguro para fornecer segurança hídrica a essa região. Tal sistema de monitoramento permitirá uma gestão regional mais confiável e sustentável da agricultura irrigada, maximizando o uso dos recursos hídricos, a produção de alimentos e o desenvolvimento econômico, enquanto reduz o risco de conflitos hídricos.

Este sistema de monitoramento deve ter três componentes: (1) medição e relatórios de curto prazo da vazão do rio em pontos chave nessas bacias, em particular nas sub-bacias onde a concentração das áreas de irrigação é maior; (2) um sistema de previsão hidroclimática para prever a disponibilidade de recursos hídricos no período de menor disponibilidade (setembro e outubro) com vários meses de antecedência, a fim de influenciar a decisão do irrigador de conduzir uma lavoura irrigada e quando plantar essa lavoura irrigada; e (3) monitoramento e relatório de curto prazo do consumo real de água para irrigação na escala da sub-bacia. O último pode ser feito usando qualquer uma das três possibilidades: (a) Instalação de hidrômetros em cada estação de bombeamento; (b) correlação do consumo de água com o consumo de energia e monitoramento do último; e (c) monitoramento da evapotranspiração real por meio de produtos de sensoriamento remoto operacional, como o produto de evapotranspiração MOD16, calibrado corretamente com dados de campo para uma representação confiável da realidade. Essas medições devem ser integradas em um centro de monitoramento, que periodicamente emitirá recomendações de quanto área pode ser irrigada naquele ano.

5.4.1. Considerações finais

Tem sido argumentado que as crises da água são principalmente crises de governança (UNESCO, 2006). A governança é um conceito mais inclusivo do que o próprio governo, abraçando a relação entre uma sociedade e seu governo. Os governos mediam o comportamento por meio de instituições, políticas, leis, normas (como a emissão de permissões de captação de água) e ações (como fiscalização), mas a governança também se relaciona a atividades domésticas, redes de influência, forças de mercado, setor privado e sociedade civil (Rogers e Hall, 2003). Este conceito foi incorporado pela Política Brasileira de Recursos Hídricos (Lei 9433 de 8 de janeiro de 1997), que estabelece que a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada com a participação do governo, usuários e comunidades. O sistema de monitoramento sugerido forneceria aos atores regionais (agências governamentais, agronegócio e sociedade civil organizada) os dados necessários e ferramentas de tomada de decisão para tomar decisões importantes.

Uma dessas decisões-chave é a determinação da quantidade de área que pode ser irrigada em cada ottobacia em cada ano, uma decisão crítica nessa região com altíssima variabilidade interanual da precipitação. A decisão correta sobre a quantidade de área a ser irrigada a cada ano, de acordo com a disponibilidade estimada de recursos hídricos, pode contribuir para evitar conflitos de uso de água durante a baixa estação, proporcionando segurança hídrica tanto aos grandes irrigantes quanto aos pequenos agricultores. Se usado sabiamente, pode também promover o planejamento de longo prazo da expansão sustentável da irrigação na região, apoiando o aumento na produção de alimentos, rações e fibras, melhorando a segurança alimentar e a segurança hídrica.

5.5 Levantamento da biomassa natural por meio de levantamento de campo, dados do projeto RadamBrasil e por imagens de satélite

5.5.1 Metodologia

A metodologia empregada para o desenvolvimento do mapa de vegetação nativa é semelhante à utilizada por Dias et al. (2016), que utilizaram diferentes bases de dados para produzir um mapa de biomassa da vegetação nativa para o Brasil. O mapa de vegetação produzido pelo projeto RadamBrasil e o mapa de vegetação produzido pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) foram usados para desenvolver o mapa de vegetação nativa do Oeste da Bahia e, posteriormente, para o desenvolvimento dos mapas de biomassa acima do solo (*Above Ground Biomass* – AGB), e biomassa abaixo do solo (*Belowground Biomass* – BGB).

Primeiramente, as classes de vegetação natural produzidas pelo INEMA foram mantidas e as classes associadas às áreas antropizadas foram substituídas por classes de vegetação natural do RadamBrasil. Onde ambos os mapas apresentavam áreas antropizadas, a classe foi reclassificada utilizando como o critérios a proximidade com áreas preservadas próximas, conforme Manual Técnico de Vegetação do IBGE (IBGE, 2012). Ao final da fusão dos mapas de vegetação, o mapa de vegetação nativa era composto por 16 fisionomias naturais predominantes. Este método para desenvolver o mapa de vegetação nativa introduz algumas incertezas, pois diferentes fisionomias podem ocorrer em polígonos grandes, especialmente em um bioma caracterizado por um mosaico de fisionomias como o Cerrado.

Em segundo lugar, cada pixel recebeu uma média de AGB e BGB de acordo com a fisionomia definida neste mapa de vegetação. Os valores de AGB para as fisionomias do Cerrado foram obtidos a partir da literatura disponível (Tabela 5.5.1). Na maioria dos casos, a incerteza associada aos métodos (delineamento do experimento) e estimativa de biomassa (equação alométrica ou sensoriamento remoto) usados para cálculo de AGB e BGB não foram fornecidos, o que torna impossível atribuir valores de incerteza aos mapas de AGB e BGB. A falta de medição da incerteza do AGB e do BGB também afetou os relatórios nacionais, como a Terceira Edição do Relatório Anual de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa publicado em 2015, que apresenta um único valor de AGB ou BGB para essas fisionomias em todos os limites do Cerrado.

Atualmente, a estimativa de AGB de sensoriamento remoto está disponível apenas para fisionomias florestais e não abrange áreas com baixa biomassa como arbustos e gramíneas. Durante a execução deste projeto, estabelecemos parceria com o Dr. S. Saatchi do JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) da NASA (Pasadena, Califórnia). Nesta parceria buscamos, obter correlações entre os valores de biomassa obtidos na literatura e o eco das imagens de radar do ICESAT (*Ice, Cloud, and land Elevation Satellite*). O ICESAT é um satélite americano da NASA destinado a medir balanço de massa de geleiras, bem como características da topografia e da vegetação terrestre. As análises indicaram uma baixa correlação entre os dados de campo e o eco do ICESAT, o que inviabilizava o uso desta técnica. Assim, passamos a usar uma solução alternativa, ou seja, a associação de um valor de referência a cada tipo de fisionomia de cerrado, mesma solução adotada pela Terceira Edição do Relatório Anual de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Os valores usados estão na Tabela 5.5.1.

Além das incertezas quanto à estimativa de AGB e BGB, foi necessário considerar que o valor de biomassa foi homogêneo para todos os pixels com a mesma classe de vegetação, diferentemente do ambiente natural onde a ABG e a BGB para mesma fisionomia variam conforme as condições bióticas a estação do ano (radiação solar, regime pluviométrico), tipos de solo e fertilidade.

Tabela 5.5.1 – Coberturas do solo de acordo com classificação do INEMA e do RadamBrasil utilizadas para o desenvolvimento da vegetação nativa espacial de acordo com as Formações florestais, Formações savânicas e Formações campestres. A biomassa acima do solo (AGB) e abaixo do solo (BGB) usou esses valores de referência para o desenvolvimento de estoques de AGB e BGB de vegetação nativa no período de 1990.

Classes de cobertura do solo de acordo com a classificação do INEMA e do RadamBrasil	Classificação de cobertura e uso do solo (Seção 5.3)	AGB ($t\ ha^{-1}$)	Referência	Origem dos dados	BGB ($t\ ha^{-1}$)
Floresta Estacional	Formações florestais	40,5	Avitabile et al. (2016)	Sensoriamento remoto	12,4
Veredas	Formações florestais	25,3	Santana et al. (2013)	Inventário florestal	7,28
Floresta Estacional Decídua Montana	Formações florestais	40,5	Avitabile et al. (2016)	Sensoriamento remoto	12,4
Floresta Estacional Decídua Submontana	Formações florestais	40,5	Avitabile et al. (2016)	Sensoriamento remoto	12,4
Floresta Estacional Semidecidual Montana	Formações florestais	40,5	Avitabile et al. (2016)	Sensoriamento remoto	12,4
Formações Pioneiras de Influência aluvial	Formações florestais	25,3	Santana et al. (2013)	Inventário florestal	7,28
Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	Formações florestais	40,5	Avitabile et al. (2016)	Sensoriamento remoto	12,4
Floresta Estacional Semidecidual Submontana	Formações florestais	40,5	Avitabile et al. (2016)	Sensoriamento remoto	12,4
Campo limpo	Formações campestres	5,50	Castro e Kauffman (1998)	Inventário florestal	13,9
Savana Parque	Formações campestres	8,71	Santana et al. (2013)	Inventário florestal	12,7
Savana Gramíneo-Lenhosa	Formações campestres	5,50	Castro e Kauffman (1998)	Inventário florestal	13,9
Caatinga arbustiva	Formações savânicas	33,6	Lima Júnior et al. (2014)	Inventário florestal	3,43
Savana	Formações savânicas	16,5	Santana et al. (2013)	Inventário florestal	22,6
Savana Estépica arbórea aberta/arborizada	Formações savânicas	33,6	Lima Júnior et al. (2014)	Inventário florestal	3,43
Savana – Savana estépica	Formações savânicas	33,6	Lima Júnior et al. (2014)	Inventário florestal	3,43
Savana arbórea aberta/ arborizada	Formações savânicas	16,5	Santana et al. (2013)	Inventário florestal	22,6
Savana arbórea densa / Florestada	Formações savânicas	24,4	Santana et al. (2013)	Inventário florestal	9,34

5.5.2 Resultados

Foram produzidos mapas anuais de AGB e BGB para o período 1990 a 2018. Os padrões de AGB e BGB para anos selecionados (1990, 1997, 2004, 2011 e 2018) são apresentados nas Figuras 5.5.1 e 5.5.2, respectivamente. Os estoques do AGB diminuíram de 1990 a 2018, com o gradiente oeste-leste (Figura 5.5.1a-e). Em 1990, maiores valores de AGB (> 15 Mg-C ha^{-1}) estavam concentrados no extremo noroeste da Bacia do Rio Grande e no norte da bacia de Corrente, enquanto os valores de AGB no extremo oeste eram predominantemente abaixo de 1,5 Mg-C ha^{-1}. Durante 1997, 2004, 2011 e 2018, o AGB diminuiu principalmente no nordeste da região, próximo à fronteira entre os estados do Piauí e Bahia, e no leste das bacias do Corrente e Carinhanha (Figura 5.5.1a-e).

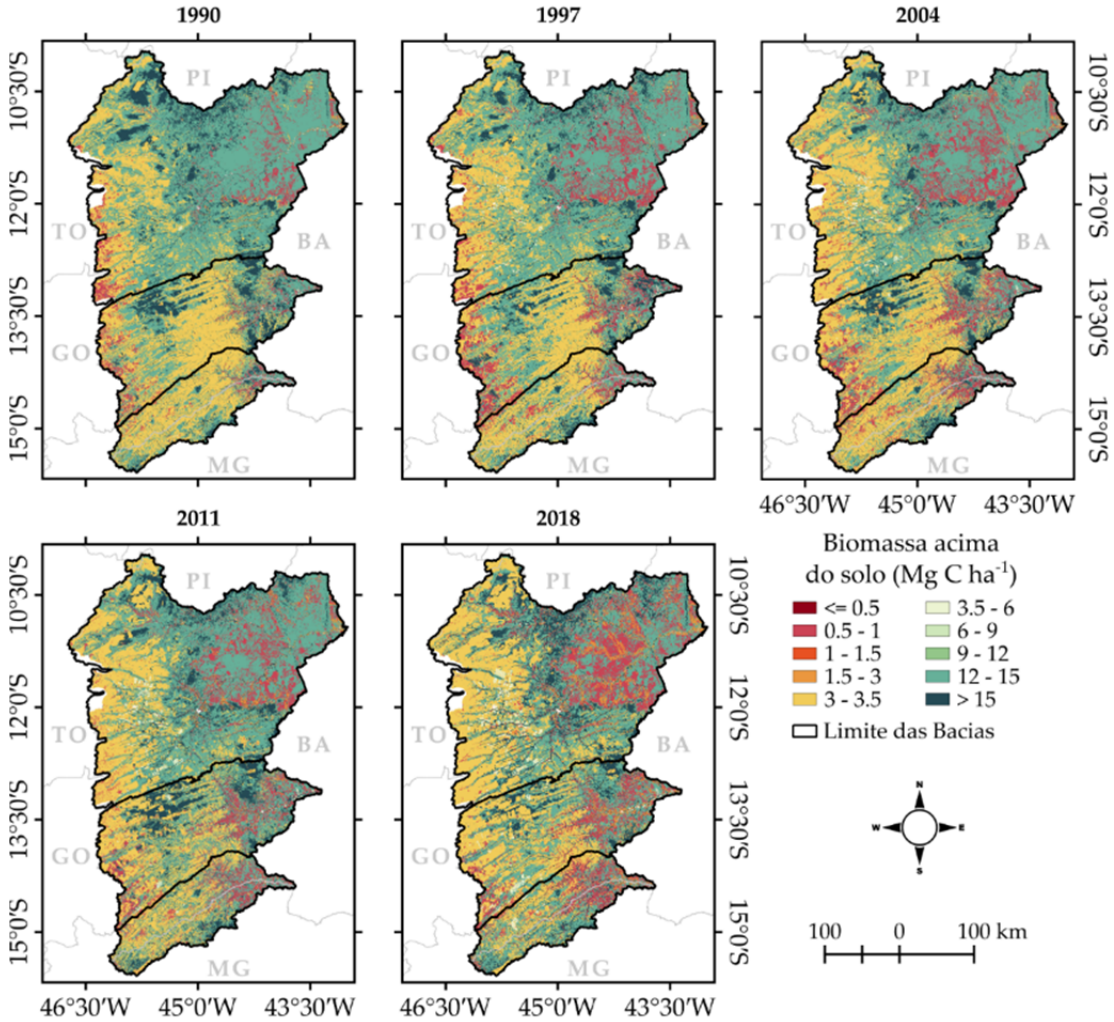


Figura 5.5.1 – Mapas de biomassa acima do solo para anos selecionados, entre 1990 e 2018.

Os padrões do BGB estão de acordo com o AGB, diminuindo gradualmente de 1990 a 2018, de oeste para leste (Figura 5.5.2a-e). Em 1990, os valores do BGB variaram entre 1,5 e 3 Mg-C ha^{-1} no extremo oeste, devido à predominância de agricultura de sequeiro e pastagens nesta região. Em 1997, 2004, 2011 e 2018, é possível observar que houve redução do BGB com áreas de substituição de 3,5 e 9 Mg-C ha^{-1}, por áreas que variaram de 1,5 a 3 Mg-C ha^{-1}.

As incertezas das estimativas da AGB e da BGB estão principalmente associadas aos dados de entrada e ao uso de valor homogêneo para AGB e BGB para fisionomias semelhantes, exigidas pela falta de dados observados, conforme mencionado na metodologia. Assim, não é possível quantificar a incerteza numérica associada aos valores AGB e BGB. Esses mapas foram usados como entrada para o Modelo de Carbono do Oeste da Bahia (WBCM) para reconstruir estoques e balanço de carbono, descritos na Seção 5.8.

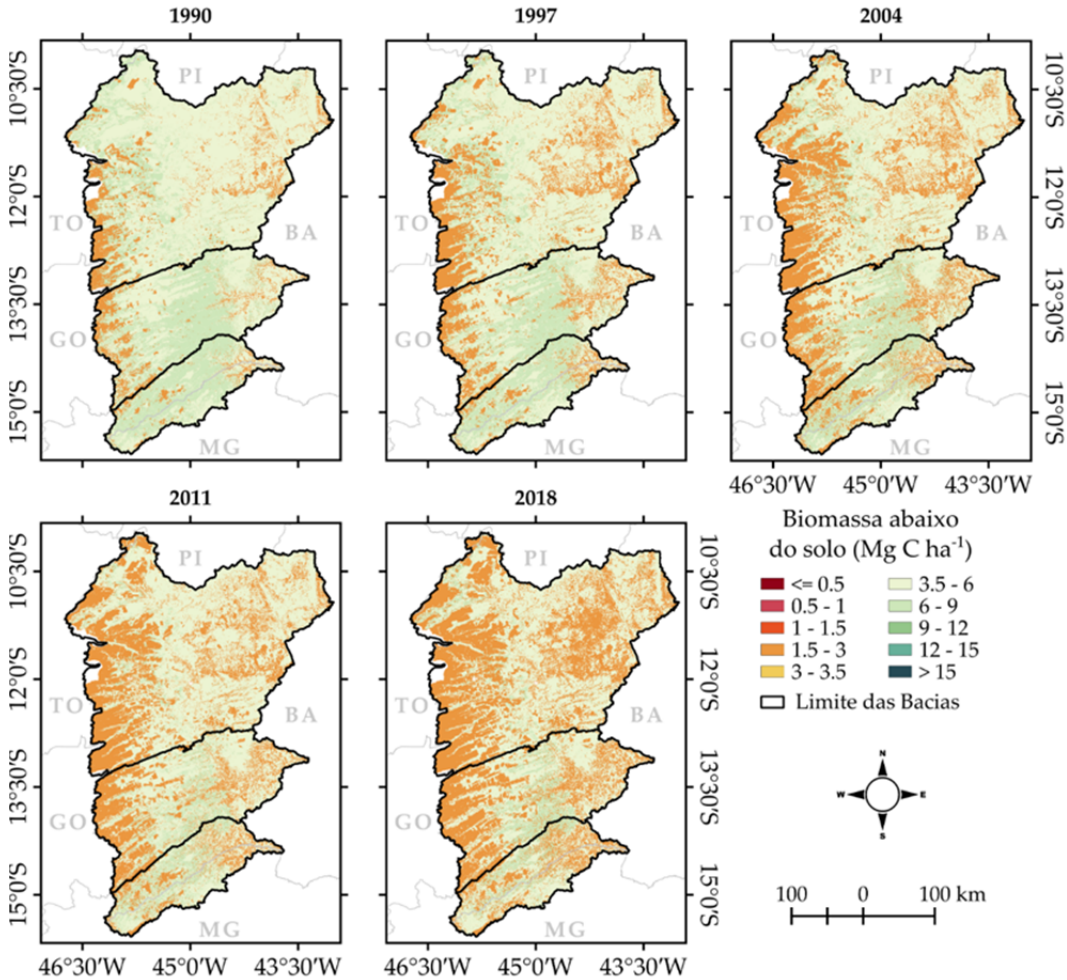


Figura 5.5.2 - Mapas de biomassa abaixo do solo para anos selecionados, entre 1990 e 2018.

5.6 Amostragem das propriedades físicas e do teor de carbono do solo para os principais tipos de uso e manejo do solo na região

5.6.1 Métodos – Propriedades físicas do solo

As amostras de solo foram coletadas em duas campanhas de campo no ano de 2017 no Oeste da Bahia para cinco classes de uso e cobertura do solo (CUCS): (1) Cerrado (CDO), (2) Floresta (FLO), (3) Agricultura de sequeiro (SEQ), (4) Agricultura Irrigada (IRR) e (5) Pastagem (PAST) (Figura 5.6.1).

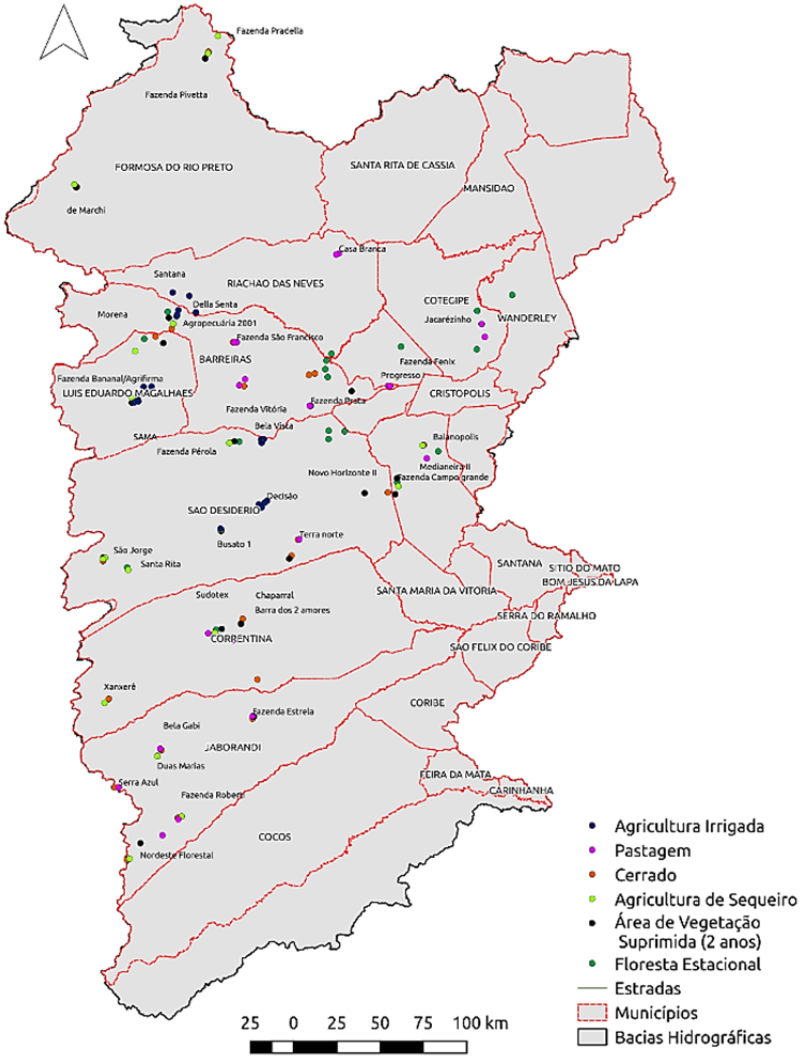


Figura 5.6.1 – Área de estudo e localização das amostras de solo coletadas considerando diferentes usos e cobertura da terra no Oeste da Bahia.

Cada CUCS foi amostrada em 20 pontos de amostragem considerando que o ano de abertura da área para agricultura ou pastagem ocorreu entre 1990 e 2017, e o acesso logístico às fazendas, incluindo condições da estrada e permissão pelo agricultor para entrar na fazenda. Em alguns casos, as áreas de CDO e FLO foram amostradas ao longo da estrada entre fazendas em áreas de vegetação natural e não dentro das fazendas. No total, 700 amostras foram coletadas considerando 5 CUCSs × 20 pontos de amostra × 7 níveis de profundidade. Em cada ponto de coleta, amostras não-perturbadas foram coletadas para profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 30, 50 e 70 cm, utilizando amostrador de solo Uhland, com cilindros metálicos de 100 cm^3 de volume. As 100 amostras de 0-5 cm de profundidade foram utilizadas para calcular a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}), umidade do solo em capacidade de campo e ponto de murchamento (θ_{fc}, θ_{wp}), textura (fração de areia grossa - f_{ag}, areia fina - f_{af}, e silte - f_s), porosidade total (Φ_{tot}), microporosidade (Φ_m), macroporosidade (Φ_M), densidade de partículas do solo (ρ_s), enquanto todas as camadas (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 30, 50 e 70 cm) foram usadas para calcular a densidade do solo (ρ_a).

A K_{sat} dos solos foi determinada pelo método do permeâmetro de carga constante (Youngs, 1991). O fluxo constante de água que fluía através da amostra de solo foi medido e

aplicado na equação para o cálculo direto de K_{sat}. Para análise textural e densidade de partículas, as amostras foram secas ao ar livre e peneiradas em uma peneira de malha 100. As frações do solo (f_{ag}, f_{af} e f_s) foram separadas segundo Ruiz (2005), utilizando o método de peneira para a fração areia (2 - 0,05 mm) e o método da pipeta para determinação da fração de silte (0,05 - 0,002 mm) e de argila (< 0,002 mm). A curva de retenção de água no solo foi medida usando uma mesa de tensão nos potenciais matriciais de 1 e 6 kPa, e uma câmara de Richards com placas porosas, nos potenciais matriciais de 10, 50, 100, 500 e 1500 kPa (Richards, 1943). O método de centrifugação foi utilizado para medir o teor de água no solo com potencial matricial de 30 kPa. A curva de retenção de umidade do solo foi obtida para a camada de 0-5 cm para todas as CUCSs, e também para camada de 15-20 cm em áreas irrigadas. As análises de ρ_a e Φ_{tot} foram realizadas utilizando métodos descritos pela EMBRAPA (1997). Φ_m foi determinado pelo teor de água em um anel volumétrico sob uma tensão de 0,6 m de coluna de água, e a macroporosidade do solo Φ_M foi estimada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade do solo.

5.6.2 Métodos – Teor de carbono no solo

Amostras de solo foram coletadas em duas campanhas de campo ao longo de 2017 para cinco Classes de Uso e Cobertura do Solo (CUCS): (1) Formações de Cerrado (CDO), (2) Formações Florestais (FLO), (3) Agricultura de Sequeiro (SEQ), (4) Agricultura Irrigada (IRR) e (5) Pastagem (PAST). Todas as amostras de IRR foram coletadas no meio do ciclo da cultura durante julho de 2017, enquanto amostras de outras CUCS foram coletadas durante novembro e dezembro de 2017, no início do ciclo da cultura de sequeiro. Os pontos de amostragem para cada CUCS foram os mesmos descritos na Seção 5.6.1.

No total, 1400 amostras de solo (700 inalteradas e 700 perturbadas) foram coletadas considerando 5 CUCSs × 20 pontos de amostra × 7 níveis de profundidade. Em cada ponto de amostragem, as amostras foram coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-40,40-60 e 60-100 cm. Para as três últimas profundidades, as camadas foram consideradas homogêneas e as amostras coletadas no meio da camada a 30, 50 e 70 cm, respectivamente. As amostras perturbadas foram compostas por 3 sub-amostras coletadas em locais próximos, distantes de aproximadamente 10 m uma da outra.

As 700 amostras não perturbadas foram usadas para calcular a densidade do solo (ρ_a, g cm^{-3}), enquanto as 700 amostras perturbadas foram usadas para estimar a concentração de carbono orgânico no solo (SOC, g-C kg^{-1} solo). As análises de ρ_a e SOC foram realizadas no laboratório CAMPO (Paracatu, MG) utilizando o método do anel volumétrico (Blake e Hartge, 1986) e o método colorimétrico de Walkey e Black (1934).

Tanto a ρ_a quanto o SOC foram usadas para estimar os estoques de carbono (C_S) do solo para cada camada do solo, multiplicando a SOC e ρ_a pela espessura da camada. Para o perfil do solo, o método de massa equivalente de Ellert e Bettany (1996) foi usado para calcular o estoque de carbono do solo – SCSz. Neste método, o estoque de carbono do solo é calculado considerando a quantidade de massa em um solo de referência (cobertura natural do solo), a fim de remover possíveis efeitos da compactação do solo nos sistemas agrícolas, evitando superestimações do carbono nas camadas superficiais. Este método é matematicamente descrito pela Equação 5.6.1, e o solo de referência foi o solo CDO.

$$SCS_z = \sum_{i=1}^{n-1} C_{ti} + [M_{tn} - (\sum_{i=1}^{n} M_{ti} - \sum_{i=1}^{n} M_{si})] \times C_{tn} \qquad (5.6.1)$$

onde SCS_z é o estoque total de C (Mg-C ha^{-1}) no solo até uma profundidade z equivalente à mesma massa de solo que no perfil de referência, $\sum_{i=1}^{n-1} C_{ti}$ é a soma do teor de carbono total (Mg-C ha^{-1}) nas camadas de 1 (superfície) até camada n-1 (penúltima) no perfil de tratamento, $\sum_{i=1}^{n} M_{si}$ é a soma da massa de solo (Mg ha^{-1}) nas camadas 1 (superfície) a n (maior profundidade) no perfil de referência do solo, $\sum_{i=1}^{n} M_{ti}$ é a soma da massa de solo (Mg ha^{-1}) nas camadas 1 (superfície) a n (maior profundidade) no perfil de tratamento, M_{tn} é a massa de solo na camada mais profunda no perfil de tratamento e C_{tn} é a concentração de carbono (Mg-C Mg^{-1}) na camada mais profunda no perfil de tratamento. SCSz foi calculado apenas para a camada 0-100 cm (SCS100).

O teste t de Student foi utilizado para avaliar diferenças entre SCS_{100} em diferentes CUCSs, e o teste de Tukey-Cramer, utilizado para comparar as diferenças de C_s entre as CUCss considerando $\alpha = 0{,}05$. Estatísticas descritivas (média e desvio padrão e intervalo de confiança) também foram calculados.

A Tabela 5.6.1 foi usada para fins de correspondência entre as classes de uso e cobertura do solo, que dependem principalmente de uma análise radiométrica e as classes de uso e cobertura do solo amostradas no campo.

Tabela 5.6.1 – Correspondência entre as Classes de Cobertura e Uso do Solo obtidas por sensoriamento remoto e amostradas no campo

Classes de cobertura e uso do solo usadas no desenho experimental da amostragem de carbono no solo	Classes de cobertura e uso do solo correspondentes na classificação por sensoriamento remoto (Seção 5.3.)
FLO – formações florestais	FF – formações florestais
CDO – Cerrado	FS – formações savânicas FC – formações campestres
SEQ – agricultura de sequeiro	SEQ – agricultura de sequeiro
IRR – agricultura irrigada	IRR – agricultura irrigada
PAST – pastagem	PAST – pastagem
SEQ/PAST – agricultura de sequeiro/pastagem	SEQ/PAST – agricultura de sequeiro/pastagem
Teor de carbono não-amostrado. Assumiu-se igual a zero.	corpos d'água áreas urbanas

5.6.3 Resultados – Propriedades físicas do solo

Os resultados da densidade do solo (ρ_a) sugerem uma superfície compactada pelo uso agrícola, com médias variando entre 1,52 e 1,61 g cm^{-3} (Figura 5.6.2a e Tabela 5.6.2). Sob cobertura natural, FLO e CDO, ρ_a foi menor e estatisticamente diferente das áreas agrícolas com média ρ_a ~1,36 g cm^{-3} (Tabela 5.6.2 e Figura 5.6.2a). Ao longo do perfil do solo, ρ_a mostrou uma tendência de aumento de 0 a 30 cm para todas as CUCSs (Figura 5.6.3). Esse aumento de ρ_a nas camadas subsuperficiais é maior nas áreas sob solo manejado do que nos solos sob FLO e CDO com valores acima de 1,65 g cm^{-3} (Figura 5.6.3).

Tabela 5.6.2 – Parâmetros físicos médios do solo para camada de 0-5 cm sob diferentes coberturas e uso da terra no Oeste da Bahia utilizados neste estudo

CUCS	ψ_e kPa	b	ρ_a g.cm^{-3}	K_{sat} cm.hr^{-1}	ρ_s g.cm^{-3}	Φ_{tot}	θ_{cc} cm^3.cm^{-3}	θ_{pmp} cm^3.cm^{-3}	θ_{ad} cm^3.cm^{-3}
CDO	-0,71	-4,18	1,36	16,29	2,53	0,4813	0,1274	0,0848	0,0425
FLO	-0,87	-5,10	1,35	14,47	2,52	0,4619	0,1789	0,1109	0,0680
IRR	-1,46	-4,26	1,57	3,01	2,61	0,3991	0,1494	0,0858	0,0636
PAST	-1,80	-5,00	1,61	5,10	2,58	0,3762	0,1663	0,1052	0,0611
SEQ	-1,20	-5,30	1,52	6,22	2,59	0,4108	0,1719	0,1177	0,0542

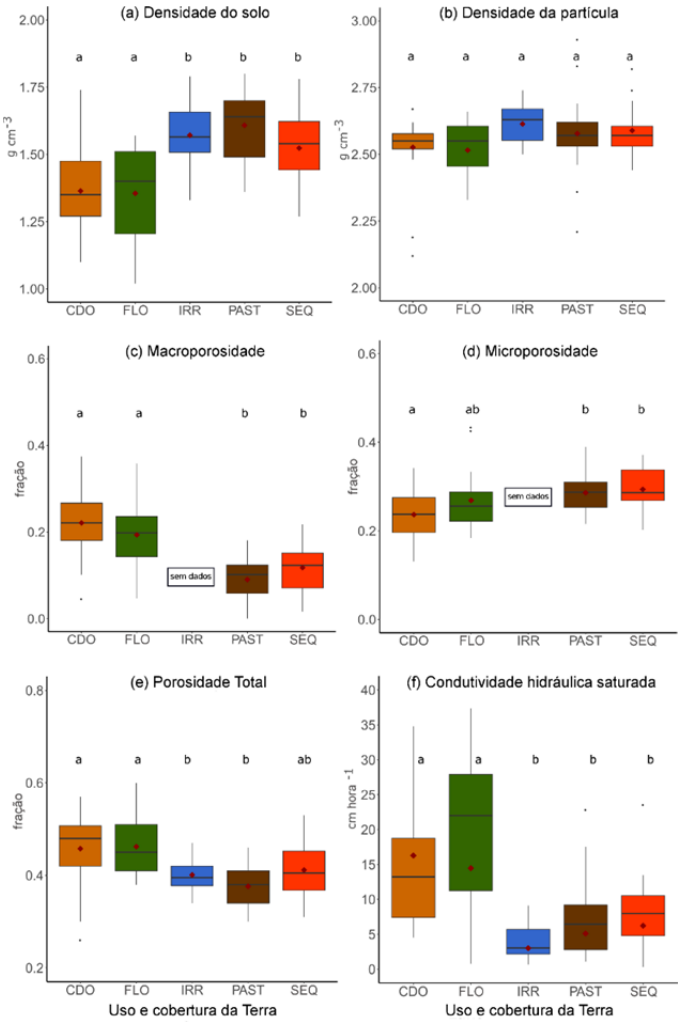


Figura 5.6.2 – Propriedades físicas e hidráulicas do solo considerando a profundidade de 0-5 cm para diferentes CUCSs no Oeste da Bahia. Nos gráficos box plot, o limite inferior da caixa indica o 25º percentil, a linha preta dentro da caixa marca a mediana, e o limite superior da caixa indica o 75º percentil. Barras acima e abaixo da caixa indicam a faixa de variação dos dados. A média é indicada pelo ponto vermelho. O número de amostras é: Cerrado(CDO) = 22; Floresta(FLO)=19; Áreas Irrigadas (IRR=20); Pastagem (PAST)=21; Agricultura de sequeiro(SEQ)=20. Letras diferentes significam que as médias são estatisticamente diferentes de acordo com o teste de Tukey-Cramer ao nível de significância α = 0,05.

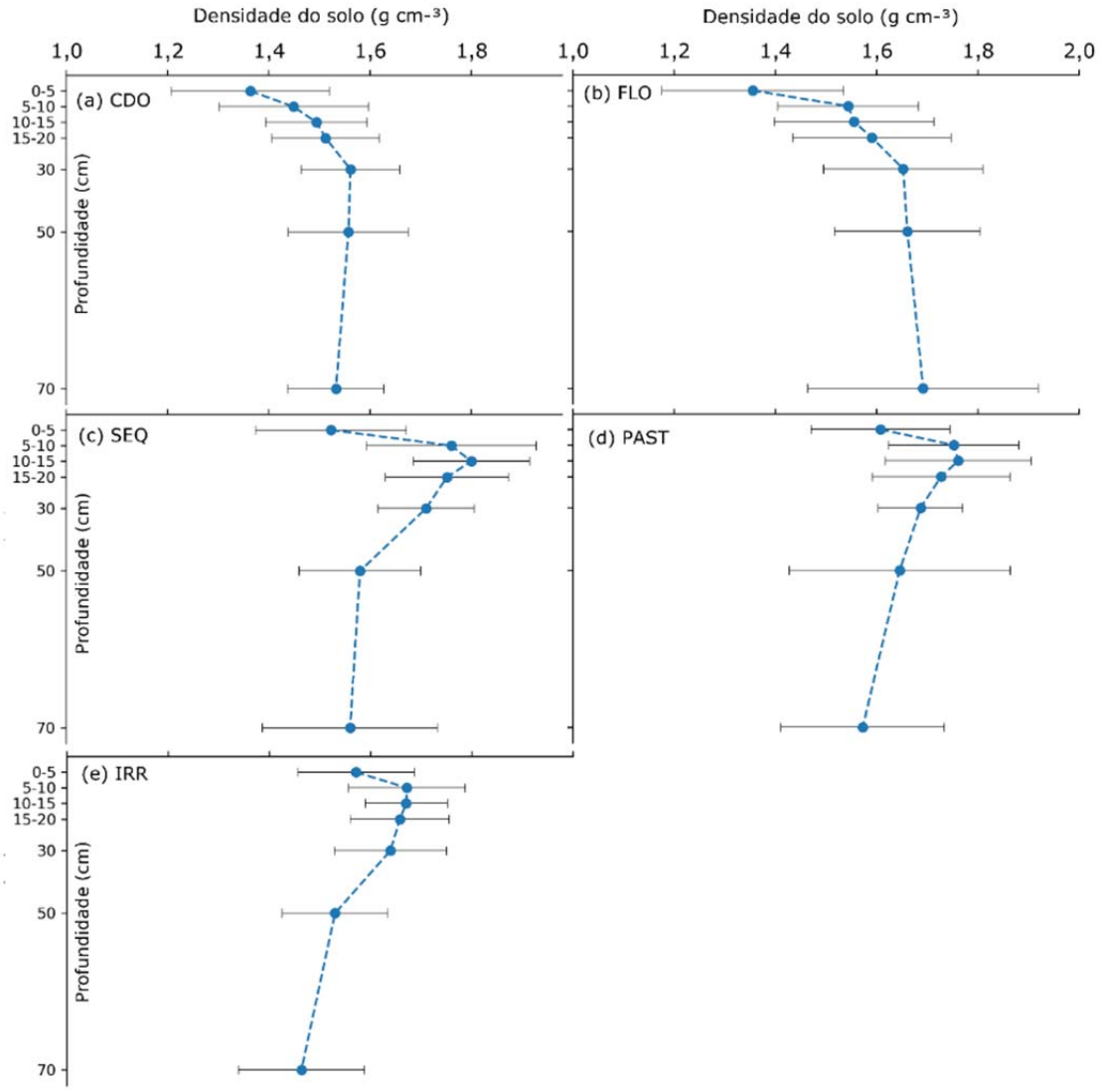


Figura 5.6.3 – Perfil médio e desvio padrão da densidade do solo para diferentes classes de uso e cobertura do solo. São 714 amostras distribuídas em áreas de CDO (22); FLO (19); IRR (20); PAST (21); SEQ (20), multiplicado por 7 profundidades.

A densidade de partículas (ρ_s) variou entre 2,5 g.cm^{-3} e 2,65 g.cm^{-3} para todas as CUCSs, não apresentando diferenças estatísticas de acordo com o teste de Tukey-Cramer, ao nível de signifância $\alpha = 0{,}05$. A porosidade total do solo (Φ_{tot}) variou entre 26% e 60%, com média de 43% para todas as amostras coletadas (Tabela 5.6.2 e Figura 5.6.2b). O padrão de compactação encontrado em ρ_a também é observado em Φ_{tot}, com redução de Φ_M no uso agrícola do solo em comparação com as áreas de CDO e FLO. Nos ecossistemas naturais, Φ_{tot} variou entre 26% e 57% para CDO e entre 38% e 60% para FLO, enquanto nos sistemas agrícolas a porosidade total do solo variou entre 30% e 53% (Figura 5.6.2e). O Φ_{tot} médio no CDO e FLO é maior que 45%, enquanto em condições de uso do solo sob agricultura, Φ_{tot} foi menor que 41% (Tabela 5.6.2).

A compactação do solo diminui Φ_M nas áreas de PAST e SEQ, reduzindo a capacidade do solo em drenar rapidamente o excesso de água do solo após uma forte precipitação – menores valores de K_{sat}. A redução de Φ_M contribui para um aumento de Φ_m, o que pode

alterar a aeração do solo e as condições de crescimento das raízes. A Φ_M média nas áreas agrícolas variou entre 9% e 12%, enquanto Φ_m foram acima de 25%. Embora os valores de Φ_M e Φ_m não tenham sido medidos para a classe IRR, diferenças significativas das demais classes agrícolas foram encontradas para a porosidade total do solo em relação a CDO e FLO (Figura 5.6.2e).

Os solos sob cobertura vegetal natural apresentaram maiores taxas de infiltração (K_{sat}) em relação às áreas manejadas, com valores médios de 16,29 cm hr^{-1} para CDO e 14,47 cm hr^{-1} para FLO, enquanto entre os usos da terra na agricultura, as taxas médias de infiltração foram muito menores, variando de 3,01 cm hr^{-1} em terras irrigadas a 6,22 cm hr^{-1} em SEQ (Tabela 5.6.2, Figura 5.6.2f).

Todas as CUCSs apresentaram baixo teor volumétrico de água na capacidade de campo (-10 kPa), variando de 0,17 cm^3 cm^{-3} a 0,27 cm^3 cm^{-3}. Embora os diferentes CUCSs apresentem valores diferentes de capacidade de campo (θ_{cc}) e ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), a diferença média entre θ_{cc} e θ_{pmp} (água disponível para a planta) para cada CUCS é tipicamente em torno de 0,06 cm^3 cm^{-3}, destacando a baixa capacidade de retenção de água para esses solos (Tabela 5.6.2).

Os parâmetros do modelo de Campbell and Norman (1998) (Equação 5.6.2) foram ajustadas aos dados da curva de retenção de umidade do solo

$$\psi_m = \psi_e \times \left(\frac{\theta}{\theta_s}\right)^{-b} \qquad (5.6.2)$$

onde ψ_m é o potencial matricial de água no solo em kPa, ψ_e é o potencial matricial de entrada de ar na coluna de água naquele solo em kPa, θ é o conteúdo volumétrico de água no solo em cm^3 cm^{-3}, θ_s é o conteúdo volumétrico de água no solo em condições saturadas em cm^3 cm^{-3} (equivalente a Φ_{tot}), e b é o parâmetro empírico de Campbell, relacionado à distribuição do tamanho de partícula do solo.

A Tabela 5.6.2 mostra também todas as propriedades hidráulicas e físicas para o modelo de Campbell e Norman, estimado por CUCS. Solos sob vegetação natural apresentaram menor potencial de entrada de ar do que solos sob agricultura ou pastagem, com valores médios iguais a -0,71 kPa para CDO e -0,87 kPa para FLO. Os maiores valores de potencial matricial de entrada de ar foram encontrados em solos sob pastagem (ψ_e = 1,80 kPa) e agricultura irrigada (ψ_e = 1,46 kPa), os quais estão associados à maior compactação (Tabela 5.6.2, Figura 5.6.2). No parâmetro b de Campbell, os valores médios variaram entre -4,06 e -5,30, que são semelhantes aos valores da literatura para solos arenosos.

5.6.4 Resultados – Teor de carbono no solo

A estimativa do estoque de carbono do solo por camada acompanhou as tendências de concentração de carbono orgânico no solo (Tabela 5.6.3). Na camada de 0-5 cm, os valores de SOC para as áreas de IRR e FLO não foram estatisticamente diferentes (α = 0,05). Valores de CDO, PAST e SEQ não são estatisticamente diferentes (α = 0,05) de acordo com o teste de Tukey Cramer. No entanto, as áreas de IRR e FLO são estatisticamente diferentes de CDO, PAST e SEQ (Tabela 5.6.3). Na camada de 5-10 cm, não há diferenças estatísticas entre os SOC em IRR, PAST, CDO e SEQ em α = 0,05, enquanto o único SOC significativamente diferente nesta camada foi entre as áreas FLO e PAST, CDO e SEQ. Na camada de 10-15 cm, o SOC foi estatisticamente diferente entre as áreas PAST e FLO. Não foram encontradas diferenças estatísticas (α = 0,05) nas CUCS para camadas abaixo de 15 cm.

Tabela 5.6.3 – Concentração de carbono orgânico no solo (SOC) ao longo do perfil (0-100 cm) para diferentes CUCS em g kg^{-1}. O desvio padrão é representado por valores entre parênteses. Médias seguidas pela mesma letra não são estatisticamente diferentes ao nível □ = 0,05 de acordo com o teste de Tukey

CUCS	0-5 cm	5-10 cm	10-15 cm	15-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-100 cm
IRR	1.17(0.38)^{a}	0.91(0.24)^{ab}	0.84(0.26)^{ab}	0.69(0.23)^{a}	0.58(0.20)^{a}	0.48(0.15)^{a}	0.40(0.10)^{a}
FLO	1.38(0.60)^{ab}	1.17(0.63)^{a}	1.03(0.55)^{bc}	0.71(0.45)^{a}	0.64(0.43)^{a}	0.39(0.27)^{a}	0.30(0.22)^{a}
PAST	0.74(0.60)^{c}	0.61(0.49)^{b}	0.49(0.52)^{a}	0.46(0.47)^{a}	0.34(0.37)^{a}	0.26(0.31)^{a}	0.25(0.21)^{a}
CDO	0.86(0.55)^{c}	0.86(0.54)^{b}	0.86(0.54)^{ab}	0.69(0.46)^{a}	0.54(0.34)^{a}	0.37(0.27)^{a}	0.31(0.26)^{a}
SEQ	0.71(0.44)^{c}	0.68(0.41)^{b}	0.58(0.41)^{ab}	0.43(0.36)^{a}	0.47(0.39)^{a}	0.28(0.21)^{a}	0.24(0.26)^{a}

Considerando todo o perfil do solo (0-100 cm de profundidade), as estimativas de SCS_{100} para FLO variaram de 24,20 a 160,20 Mg C ha^{-1} e de 16,75 a 146,83 Mg C ha^{-1} para CDO, com médias de 82,46 ± 43,63 Mg C ha^{-1} e 70,26 ± 41,56 Mg C ha^{-1}, respectivamente (Tabela 5.6.4). As diferenças entre os usos agrícolas do solo e FLO mostraram que a redução da SCS_{100} apresentou maior significância para SEQ e PAST do que a IRR (Tabelas 5.6.5 e 5.6.6). A incerteza associada à diminuição do SCS_{100} de FLO para PAST (-37%) e SEQ (-30%) é inferior a 5%. Por outro lado, a comparação entre FLO e IRR apresentou redução de 5% na SCS_{100}, com 70% de incerteza.

Tabela 5.6.4 – Estoque de carbono do solo em Mg-C ha^{-1} para a camada de 0-100 cm para diferentes classes de uso e cobertura do solo no Oeste da Bahia

CUCS	n	Média	Desvio padrão	Intervalo de confiança (α = 0,05)
FLO	19	82,46	43,63	21,03
IRR	20	78,06	25,54	11,79
CDO	23	70,26	41,56	17,97
SEQ	20	57,45	33,31	15,58
PAST	21	51,69	25,54	19,68

Tabela 5.6.5 – Nível de significância (p-valor) dos resultados do teste t de Student para comparação entre médias de Estoque de Carbono do Solo de 0 a 100 cm (SCS_{100}) para diferentes classes de uso da terra e cobertura do solo.

	FLO	CDO	IRR	SEQ	PAST
FLO	–	0,3626	0,7044	0,0530	0,0313
CDO	0,3626	–	0,4554	0,2685	0,1547
IRR	0,7044	0,4554	–	0,0338	0,0223
SEQ	0,0530	0,2685	0,0338	–	0,6348
PAST	0,0313	0,1547	0,0223	0,6348	–

Tabela 5.6.6 – Estoque de carbono do solo para 0-100 cm de profundidade para os três principais usos do solo para agropecuária, em Mg-C ha^{-1}, e mudança percentual em relação à duas coberturas do solo nativas.

CUCS	SCS_{100}	FLO	CDO
PAST	51,69	-37%	-26%
IRR	78,06	-5%	11%
SEQ	57,45	-30%	-18%

De maneira geral, todas as áreas sob práticas agrícolas mostraram baixa SCS_{100} em comparação com áreas de vegetação natural (Tabela 5.6.4). Com relação às àreas de floresta, a maior diferença alcançou -37% quando áreas PAST foram comparadas a áreas FLO a 97% de nível de significância, seguida por -30% para SEQ a 95% de nível de significância, e por -5% para IRR a 30% de nível de significância. Em comparação com as áreas de Cerrado, o SCS_{100} no SEQ mostrou uma redução de -18% a 73% de significância, enquanto no PAST uma diferença de -26% foi encontrada, a 84% de significância. Para as áreas de IRR, o SCS_{100} foi maior que o do CDO em 11%, a 54% do nível de significância.

5.7 Interpolação dos resultados no espaço e no tempo, usando modelos do ciclo do carbono no sistema solo-vegetação – Parte 1: Cálculo da taxa de recarga do aquífero

5.7.1 Metodologia

O foco desta seção é a simulação da interação dos processos relacionados ao sistema solo-planta-atmosfera e ao sistema hidrológico, ou seja, como o clima e as mudanças no uso do solo afetam a produção de vazão. Para tanto foram utilizados dois modelos o INLAND (*Integrated Model of Land Surface Processes*) e o THMB (*Terrestrial Hydrology Model with Biogeochemistry*). Uma descrição dos modelos é apresentada na Seção 5.7.1.1. O INLAND recebe como entrada os dados climáticos, simula a interação atmosfera-biosfera e gera os escoamentos de superfície e de sub-superfície. Esses dados de escoamento junto com o modelo digital de elevação são passados para o THMB que simula o ciclo hidrológico e determina os valores de vazão (Figura 5.7.1).

Figura 5.7.1 – Sequência de execução dos modelos

Esta seção consiste em duas etapas: calibração e experimento numérico. Na primeira etapa os dois modelos foram calibrados utilizando o software Optis (Seção 5.7.1.2). Depois,

utilizando a calibração encontrada, um experimento numérico foi realizado para avaliar a influência da cobertura do solo na produção de água. Durante a calibração, o Optis, na busca do melhor ajuste, executa repetidas vezes os modelos.

Com o intuito de analisar as alterações causadas pela mudança na cobertura do solo, informações sobre a cobertura do solo (Seção 5.3) foram incluídas no fluxo normal dos modelos (Figura 5.7.1). Assim, o INLAND simula o escoamento para cada classe de cobertura do solo paralelamente, os resultados obtidos são ponderados (pixel a pixel) pela porcentagem da área coberta por cada classe e depois repassados aos THMB para o cálculo da vazão (Figura 5.7.2).

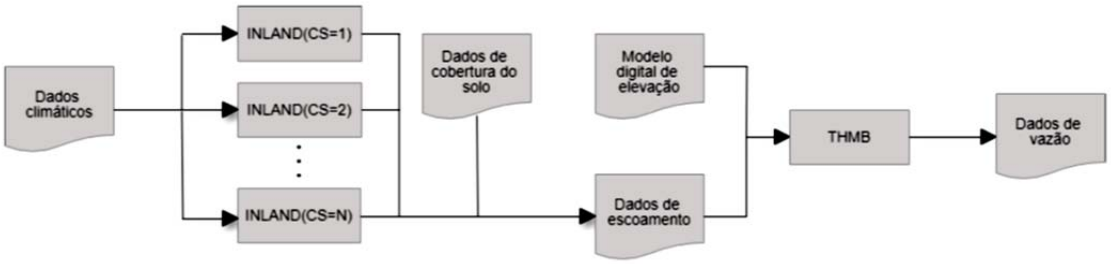


Figura 5.7.2 – Sequência de execução dos modelos, utilizando uma configuração do INLAND para cada classe de cobertura do solo.

No processo de calibração, os resultados simulados foram comparados aos dados hidrológicos descritos na Seção 5.7.1.3. Conforme a análise realizada nessa seção, o período disponível de dados é de 36 anos (1980 a 2015) para um total de 25 estações.

Utilizando a calibração encontrada, um experimento numérico foi realizado visando compreender os efeitos das mudanças de cobertura do solo na vazão. Foram usados os padrões históricos espaciais de cobertura e uso do solo, desenvolvidos na Seção 5.3 deste relatório. Todas as simulações foram calibradas contra dados das quatro estações com maiores áreas de drenagem (Seção 5.7.1.4).

5.7.1.1 Modelos

O INLAND (Modelo Integrado de Processos Superficiais) é um modelo que simula vários processos físicos como as trocas de energia, água e carbono que ocorrem na superfície. Os processos são organizados hierarquicamente e calculados em intervalos que variam de uma hora a um ano. No modelo estão representadas seis camadas de solo e 12 tipos funcionais de plantas. O balanço hídrico do solo no modelo é controlado pela taxa de infiltração, pela evaporação da água na superfície do solo, pela transpiração das plantas e pela redistribuição de água no perfil do solo (Figura 5.7.3). A precipitação que atinge o solo é dividida entre escoamento superficial (grunoff) e água armazenada para infiltração e evaporação superficial (Wpud). Essa divisão está relacionada à lâmina de água empoçada antes do escorrimento superficial (Wpud) e a lâmina máxima suportada. Após a divisão, são calculadas as taxas de evaporação do Wpud e da primeira camada do solo. Em seguida, ocorre a infiltração da água armazenada no Wpud no solo. A umidade do solo é calculada baseada nas equações de fluxo de Richards (1931), assim como a taxa de transpiração da vegetação. A água que não fica retida no solo e percola abaixo da última camada de solo é considerada como escoamento de subsuperfície ou drenagem profunda ou percolação profunda (gdrain). A infiltração de água

pode ser simulada utilizando a lei de Darcy ou o modelo de Green-Ampt (Green e Ampt, 1911) enquanto que a curva de retenção de água no solo pode ser simulada utilizando o método de Li et al. (2006) ou Campbell e Norman (1998). Nestas simulações usamos a curva de retenção de Campbell e Norman (1998), cujos parâmetros foram obtidos na Seção 5.6 deste relatório. Todos esses processos de dinâmica da água apresentados acima são calculados em função das características do solo, do clima e da vegetação.

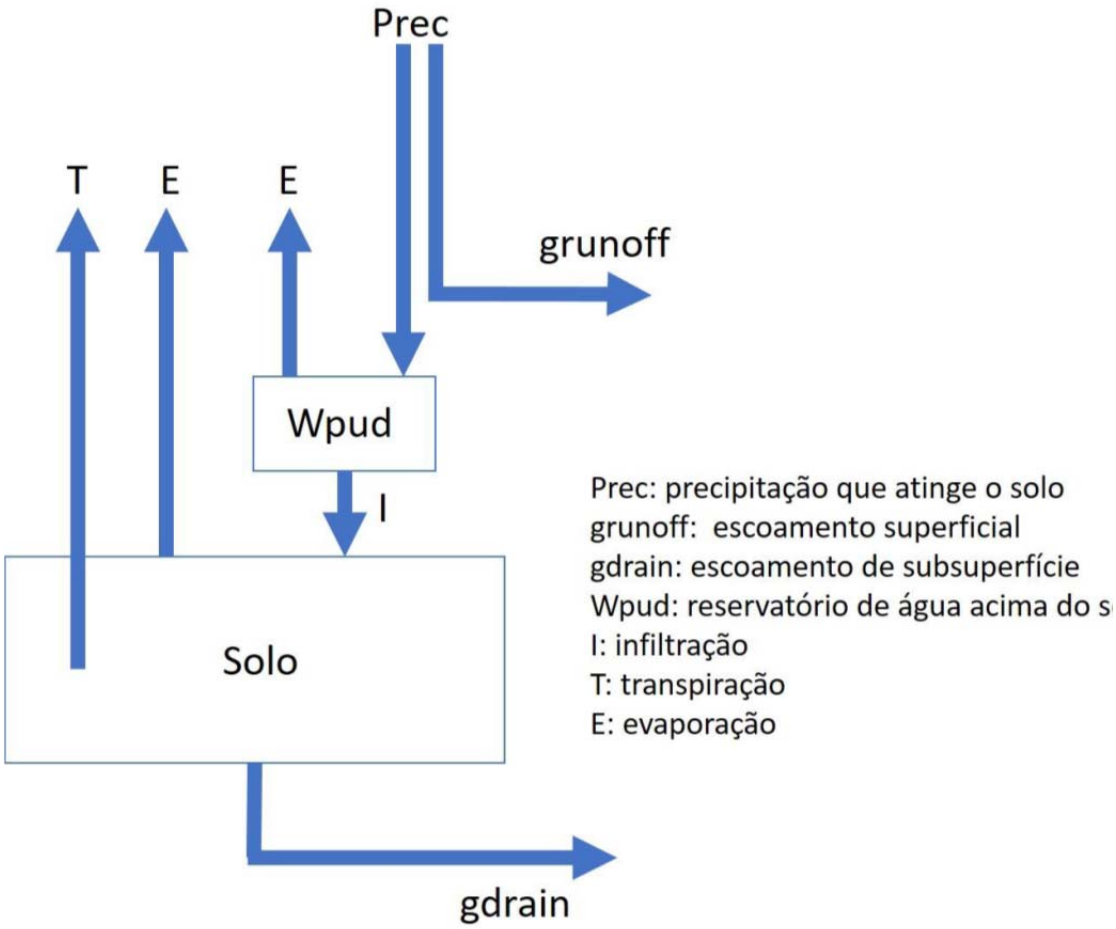


Figura 5.7.3 – Dinâmica da água no solo no modelo INLAND

O THMB (*Terrestrial Hydrology Model with Biogeochemistry*) é um modelo hidrológico desenvolvido por Coe et al. (2002) e aperfeiçoado por Coe et al. (2008). Esse modelo simula os processos hidrológicos de superfície terrestre como vazão dos rios e o nível e a extensão das planícies de inundação. Para tanto, este modelo necessita dos dados de escoamento (grunoff e gdrain) gerados pelo modelo INLAND. O modelo simula quatro reservatórios: (i) água nos rios; (ii) escoamento superficial; (iii) escoamento de subsuperfície; e (iv) planície de inundação. A variação do volume desses reservatórios é definida por equações diferenciais que levam em consideração os tempos de residência, as taxas de precipitação e evaporação, a velocidade efetiva do rio e sua morfologia.

5.7.1.2 Optis

O Optis é um software de calibração hierárquica multisítio e multiobjetivo baseado no algoritmo genético NSGA-II (Deb et al., 2002). Baseado nas definições iniciais das funções objetivo e dos parâmetros a serem calibrados, o Optis executa o modelo múltiplas vezes em busca das melhores soluções (Figura 5.7.4). O resultado final, para uma calibração multiobjetivo, é um conjunto com soluções equivalentes conhecido como fronteira de Pareto.

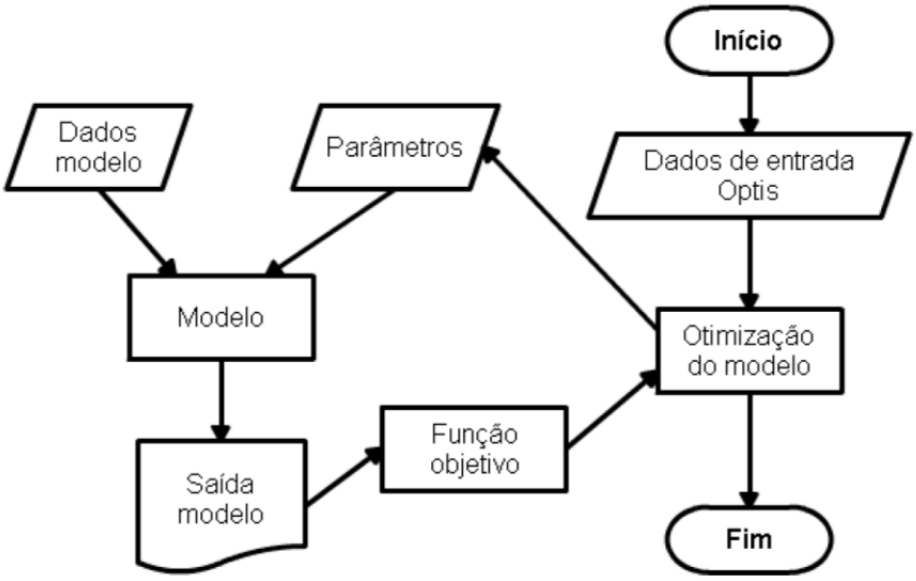


Figura 5.7.4 – Estrutura do Optis

5.7.1.3 Bancos de dados

Neste projeto foram utilizadas várias fontes de dados diferentes. Para entrada do modelo INLAND são necessários dados hidroclimáticos (Seção 5.2.1). Para o THMB é necessário o modelo digital de elevação (foi utilizado os dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (Farr et al., 2007), e também foram utilizados os dados de cobertura do solo (Seção 5.3).

No banco de dados da ANA (Agência Nacional das Águas) foram encontradas 194 estações fluviométricas no Oeste da Bahia (dados acessados em 18/12/2017). Dentre estas, 57 estações possuíam uma série histórica de vazão diária. Junto com as vazões diárias, a ANA fornece algumas informações sobre esses dados, como nível de consistência (bruto ou consistido), método de obtenção de vazão (curva de descarga, transferência de vazões, soma de vazões e ADCP – *Acoustic Doppler Current Profiler*) e status (branco, real, estimado, duvidoso e régua seca).

Devido a importância que os dados de vazão terão no processo de calibração, foi preciso verificar a qualidade desses dados. É desejado que os dados sejam consistidos (tendo assim passado por uma análise inicial, eliminando os valores espúrios), que a vazão tenha sido obtida por curva de descarga ou ADCP (evitando que o valor tenha sido obtido de forma indireta), e que o status seja real (evitando dados duvidosos).

A primeira questão era a necessidade de dados para o período com dados de cobertura do solo (1990 a 2015). Analisando a consistência dos dados foi verificado que, entre as 57 estações com dados para o Oeste da Bahia, 38 possuíam séries históricas com dados consistidos dentro do período 1990 a 2015. Dessas 38, 11 possuíam poucos anos dentro desse período (7 anos ou menos) e foram descartadas, resultando em 27 estações com um período compartilhado máximo de 25 anos (1990 a 2015).

5.7.1.4 Análise das áreas de drenagem e calibração

Uma análise foi realizada nas áreas de drenagem das 25 estações descritas na Tabela 5.2.1, para analisar o tamanho, localização e a cobertura do solo de cada uma delas. Primeiramente foi preciso identificar essas áreas. Para isso, foi utilizado o software GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*) e os dados de elevação do terreno (Farr et al., 2007). Depois de identificadas, foi possível perceber que existem sobreposições dentro das 25 áreas de drenagem, sendo que quatro grandes áreas contêm todas as outras, são elas: 46902000, 46870000, 45960001, 45260000 (Figura 5.7.5).

O Optis foi configurado com quatro funções objetivo, uma para cada estação. A medida de erro usada na avaliação da função objetivo foi o erro absoluto entre os valores médios simulados e observados.

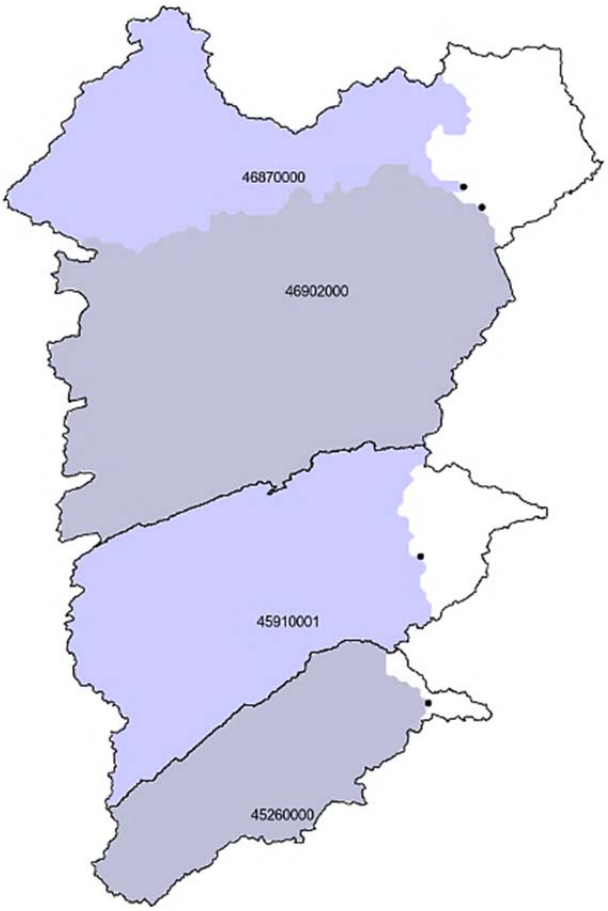


Figura 5.7.5 – Localização e área de drenagem das estações fluviométricas usadas para calibração hidrológica no Oeste da Bahia

5.7.2 Resultados

A Tabela 5.7.1 mostra os resultados do desempenho do modelo após calibrado. Os resultados foram padronizados em termos de vazão específica (ou escoamento produzido por unidade de área), para melhor comparação entre bacias de tamanhos diferentes. O erro médio absoluto variou entre 4,0 $mm.ano^{-1}$ e 31,8 $mm.ano^{-1}$. Percentualmente, os menores erros são os das bacias centrais, enquanto os maiores erros são os das bacias ao norte e ao sul da região.

Tabela 5.7.1 – Valores médios de vazão específica observada e simulada para o período de 1990 a 2015, e os erros absoluto e relativo das simulações

	Estação fluviométrica			
	46870000	46902000	45910001	45260000
Vazão observada (mm/ano)	146,0	185,8	199,3	234,3
Vazão simulada (mm/ano)	167,9	189,8	192,4	202,6
Erro absoluto (mm/ano)	21,5	4,0	6,9	31,8
Erro relativo (%)	14,8%	2,2%	3,5%	13,5%

Os resultados do modelo calibrado incluem a componente de drenagem profunda (variável gdrain). A Figura 5.7.6 mostra os padrões espaciais e temporais da percolação profunda no Oeste da Bahia no período de 1990 a 2015. Os padrões espaciais indicam uma forte dependência da percolação profunda com a precipitação anual. Nota-se também uma maior taxa de recarga nas regiões à oeste, na cabeceira dos rios Grande, Corrente e Carinhanha, com valores superando 500 mm/ano. Por outro lado, na parte leste da região, onde os padrões de precipitação anuais são menores, a percolação profunda atinge valores próximos a zero, isto é, toda a chuva é direcionada para evapotranspiração. Por outro lado, mesmo na região oeste, onde os valores de chuva são, em média, mais elevados, existem anos mais chuvosos em que a recarga do aquífero supera 500 mm/ano, enquanto existem outros anos mais secos em que a recarga fica em torno de 100 mm/ano, ou seja, uma variabilidade de aproximadamente 400 mm/ano entre anos chuvosos e secos.

Em seguida, a Figura 5.7.7 mostra o efeito da mudança de uso do solo na percolação profunda. A diferença na percolação profunda é calculada usando o padrão de uso do solo para o ano em questão em relação aos padrões de uso do solo vigentes em 1990. Assim, o mapa de 1990 apresenta apenas valores iguais a zero, enquanto os valores aumentam à medida que os padrões de uso do solo divergem do padrão de 1990. Os resultados indicam que a mudança de uso do solo tem um efeito positivo sobre a taxa de recarga do aquífero, com valores tipicamente entre 50 e 100 mm/ano, bem menor (menos que a metade) do que os efeitos da variabilidade da precipitação.

A Figura 5.7.8 mostra valores médios da variação da precipitação média anual juntamente com a percolação profunda calculados em cada uma das três bacias – Grande Corrente e Carinhanha. Verifica-se, em todas as três bacias, uma forte correlação entre a precipitação e drenagem profunda.

Os resultados destas simulações (essencialmente os mapas da Figura 5.7.6) foram repassados ao grupo de águas subterrâneas (Seção 4 deste relatório), que os utilizou nas suas simulações.

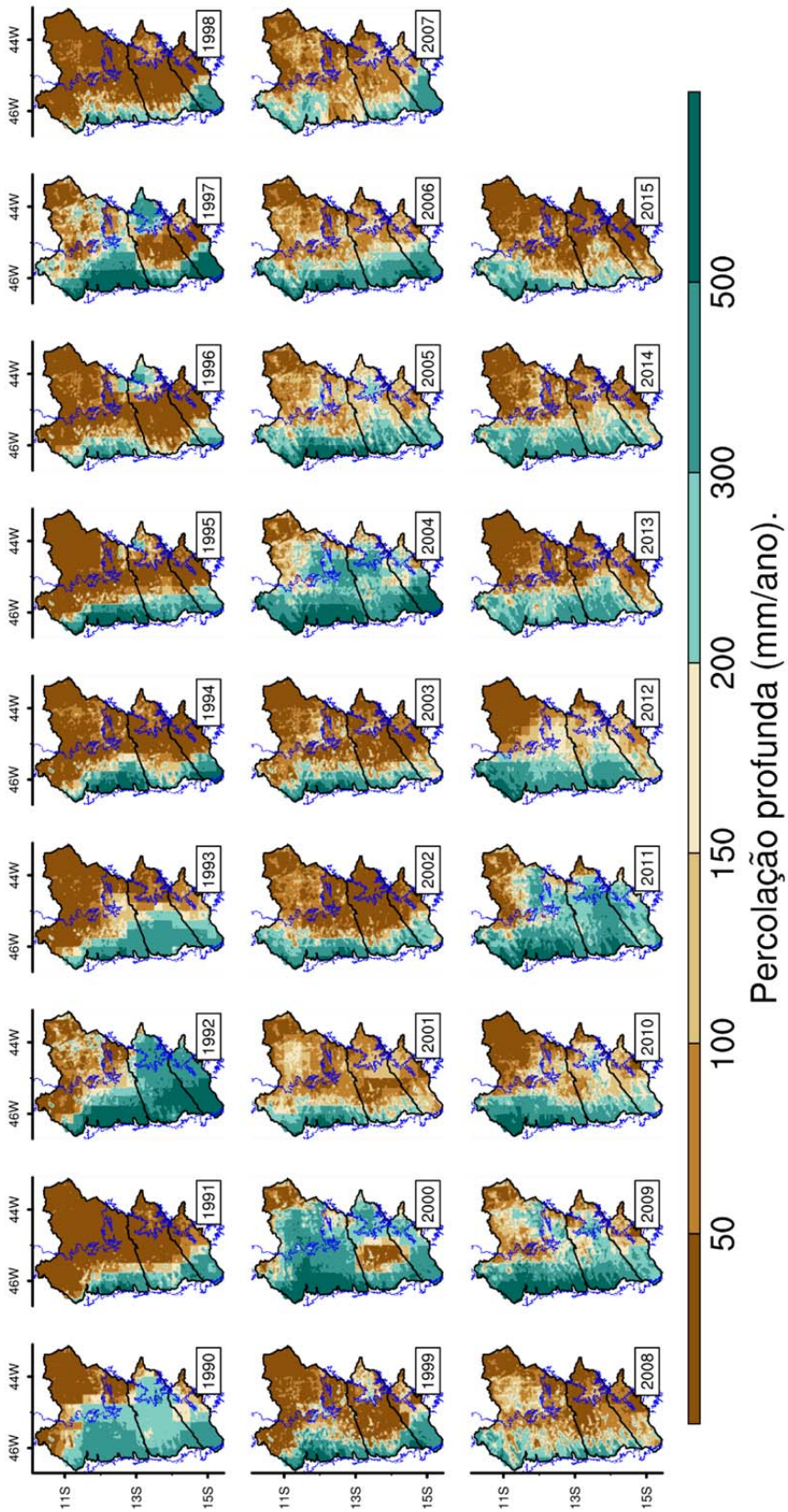


Figura 5.7.6 – Evolução da percolação profunda na Região Oeste da Bahia de 1990 a 2015. O contorno do aquífero Urucuia está em azul na figura.

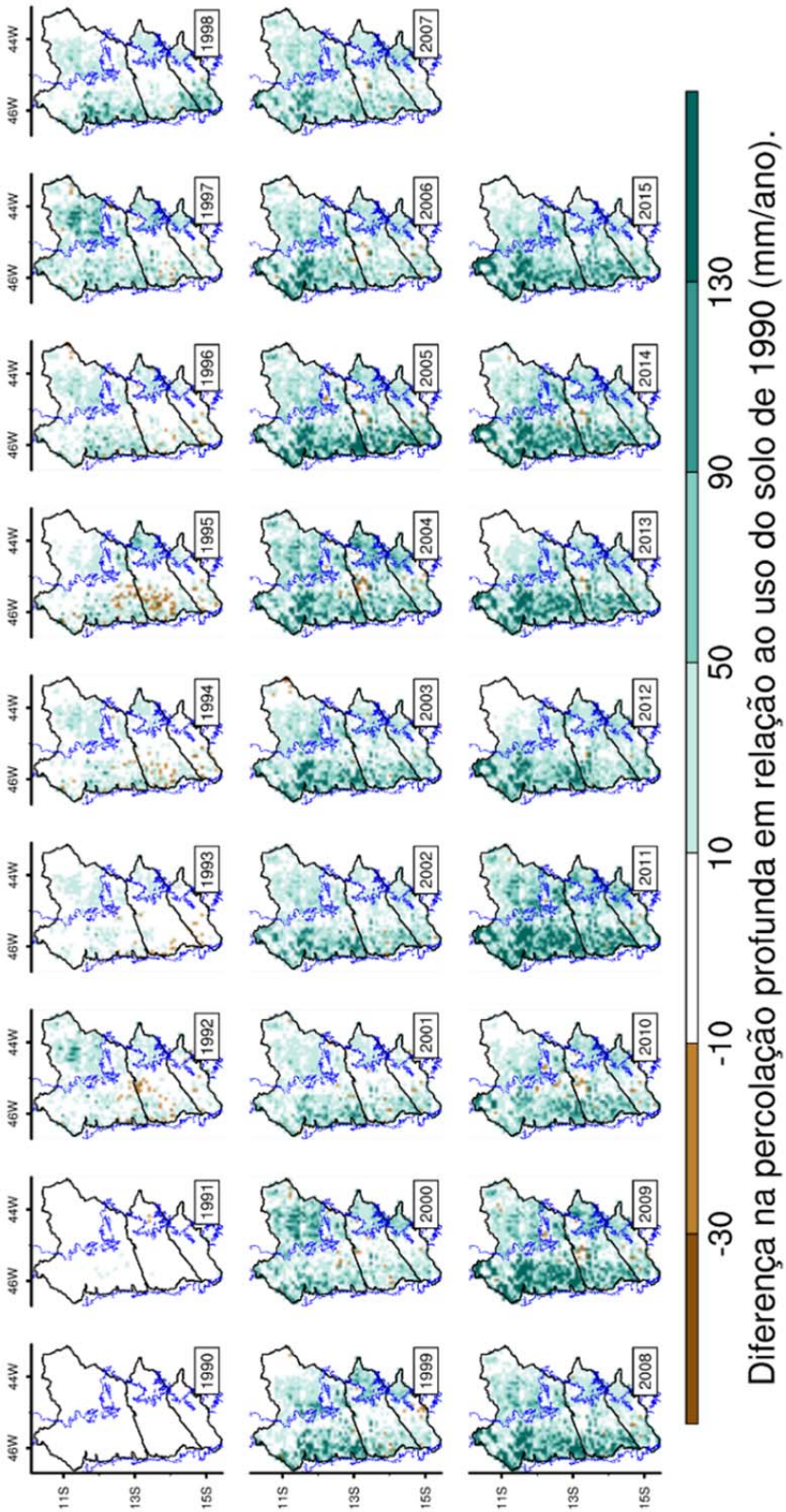


Figura 5.7.7 – Efeito da mudança do uso do solo na percolação profunda. A figura mostra a diferença na percolação profunda em cada ano em relação ao uso do solo de 1990. Valores positivos indicam aumento da percolação profunda com o tempo.

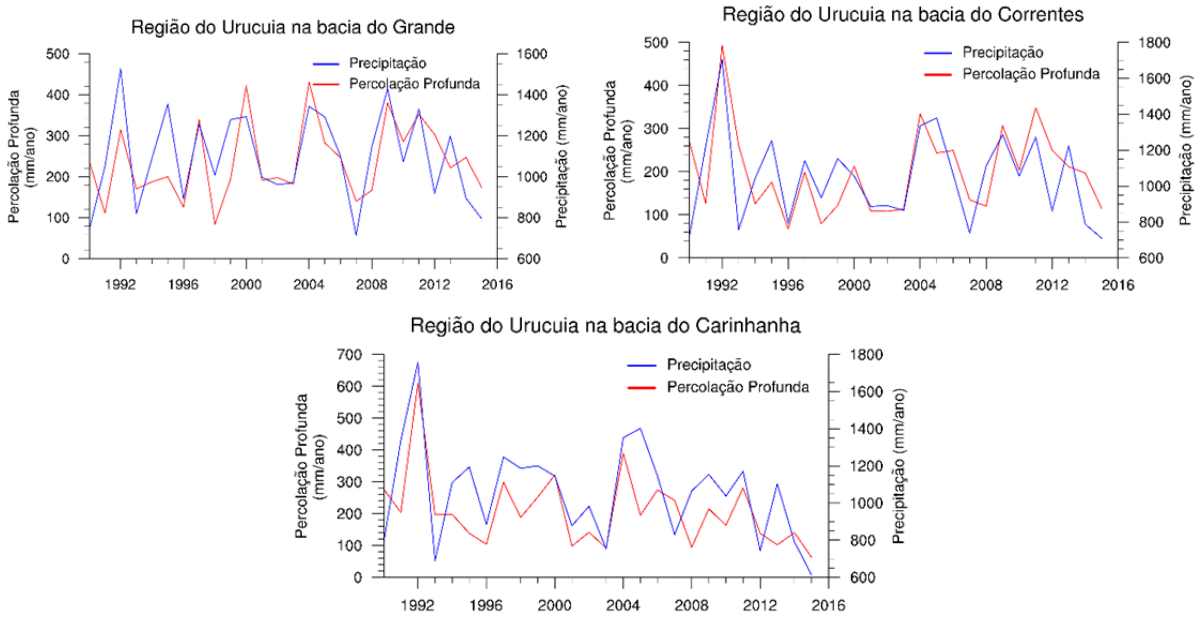


Figura 5.7.8 – Evolução temporal da taxa de recarga do aquífero para as bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha. A recarga correlaciona principalmente com a precipitação, apesar de ser também influenciada pelo uso do solo.

5.8 Interpolação dos resultados no espaço e no tempo, usando modelos do ciclo do carbono no sistema solo-vegetação – Parte 2: Cálculo do balanço de carbono regional

5.8.1. Métodos

A reconstrução histórica do estoque de carbono foi calculada utilizando um modelo simples de contabilidade de carbono, o *Western Bahia Carbon Model* (*WBCM*). Um modelo de contabilidade rastreia mudanças nos estoques de carbono de ano para ano, em vez de tentar modelar os processos biológicos individuais que constituem o balanço de carbono, ou seja, a fotossíntese e a respiração (Moore et al., 1981). O WBCM usa o conjunto de dados de classificação de uso e cobertura da terra (Seção 5.3) e os mapas de biomassa de vegetação nativa AGB e BGB (desenvolvidos na Seção 5.5) e carbono no solo (SCS – Seção 5.6.4) como entradas.

O primeiro passo para a reconstrução histórica de carbono é fornecer os mapas de AGB, BGB e SCS_{100} para o primeiro ano do período (1990). Para isso, o WBCM insere os dados de AGB, BGB e SCS_{100} e a classificação de cobertura e uso do solo para 1990 e atribui esses valores a cada CUCS, produzindo mapas de AGB, BGB e SCS_{100} para 1990. O modelo segue o mesmo procedimento para gerar um novo mapa para os anos subseqüentes. Se não houve mudanças entre as classes $CUCS_{t-1}$ e $CUCS_t$, então os valores de vegetação nativa de AGB, BGB e SCS_{100} são mantidos. Caso contrário, se forem detectadas alterações, cada pixel receberá um novo valor de AGB, BGB e SCS_{100}, de acordo com o valor de referência da Tabela 5.8.1. Para o SCS_{100}, os novos valores vieram da simulação de Monte Carlo aplicada aos dados observados para diferentes CUCS (Seção 5.6.4). Finalmente, no final de cada ano, o WBCM escreve o mapa ABG, BGB e SCS_{100} em Mg-C ha^{-1}. A falta de conhecimento sobre ganhos ou perdas de longo prazo de biomassa e carbono no ABG, BGB e SCS_{100} para cada

CUCS limitou o uso dessa informação nos mapas de reconstrução de carbono. Assim, este modelo assume que (1) AGB, BGB e SCS_{100} para CDO e FLO estão em um estado de equilíbrio, (2) nenhuma mudança ocorreu nos últimos 28 anos nos estoques de carbono do solo para coberturas naturais, (3) as terras agrícolas nas áreas de IRR e SEQ são terras agrícolas anuais, que mantiveram o AGB, (4) não há interações entre os reservatórios de carbono. Estas são hipóteses clássicas em modelos de contabilidade de carbono.

Tabela 5.8.1 – Parâmetros para Formações florestais (FF), Formações savânicas (FS), Formações campestres (FC), Agricultura de sequeiro (SEQ), agricultura Irrigada (IRR) , Colheita ou pastagem (RAG / PAST), Safra Irrigada (IRR), Pastagem (PAST) Reconstrução para o Oeste da Bahia.

Classe de uso ou cobertura do solo	**Descrição do parâmetro**	**Valor**	**Referência**
	AGB – Biomassa acima do solo (Mg ha^{-1})		
Formações florestais	VR de AGB para formações florestais	36,7	Tabela 5.5.1
Formações savânicas	VR de AGB para formações savânicas	26,4	Tabela 5.5.1
Formações campestres	VR de AGB para formações campestres	6,57	Tabela 5.5.1
Agricultura de sequeiro	VR de AGB para soja	7,04	Cruz et al. (2010)
Agricultura irrigada	VR de AGB para culturas em geral	8,50	Cruz et al. (2010)
Pastagens	VR de AGB para pastagem	1,28	Santos (2007)
Agricultura de sequeiro ou pastagens	VR de AGB para SEQ, IRR, PAST	4,34	Média de SEQ, PAST
	BGB – Biomassa abaixo do solo (Mg ha^{-1})		
Formações florestais	VR de BGB para formações florestais	11,1	Tabela 5.5.1
Formações savânicas	VR de BGB para formações savânicas	10,8	Tabela 5.5.1
Formações campestres	VR de BGB para formações campestres	13,5	Tabela 5.5.1
Agricultura de sequeiro	VR de BGB para soja	3,52	Cruz et al. (2010)
Agricultura irrigada	VR de BGB para culturas em geral	3,40	Cruz et al. (2010)
Pastagens	VR de BGB para pastagem	5,41	Santos (2007)
Agricultura de sequeiro ou pastagens	VR de BGB para SEQ, PAST	4,11	Média de SEQ, PAST
	SCS_{100} – Estoque de carbono no solo (0-100 cm) (Mg-C ha^{-1})		
Formações florestais	SCS_{100} para FLO	82,5 ± 43,6	Tabela 5.6.4
Formações savânicas e campestres	SCS_{100} para CDO	70,3 ± 41,6	
Agricultura de sequeiro	SCS_{100} para SEQ	57,4 ± 33,3	
Agricultura irrigada	SCS_{100} para IRR	78,1 ± 25,5	
Pastagens	SCS_{100} para PAST	51,7 ± 25,5	
Agricultura de sequeiro ou pastagens	SCS_{100} para SEQ, PAST	54,5 ± 28,1	

5.8.2 Resultados

O SCS_{100} diminuiu ao longo do tempo (Figura 5.8.1a-e). Para 1990, o método de Monte Carlo simulou que SCS_{100} variou entre 24,0 Mg-C ha^{-1} e 127,0 Mg-C ha^{-1} em toda a

região e apresentou maior variabilidade em relação aos padrões AGB e BGB devido ao conhecimento prévio da variância do observado dados. Devido à resolução espacial (pixels com 30 m), é difícil observar o gradiente de SCS_{100} na região, embora esteja diretamente associado às CUCS.

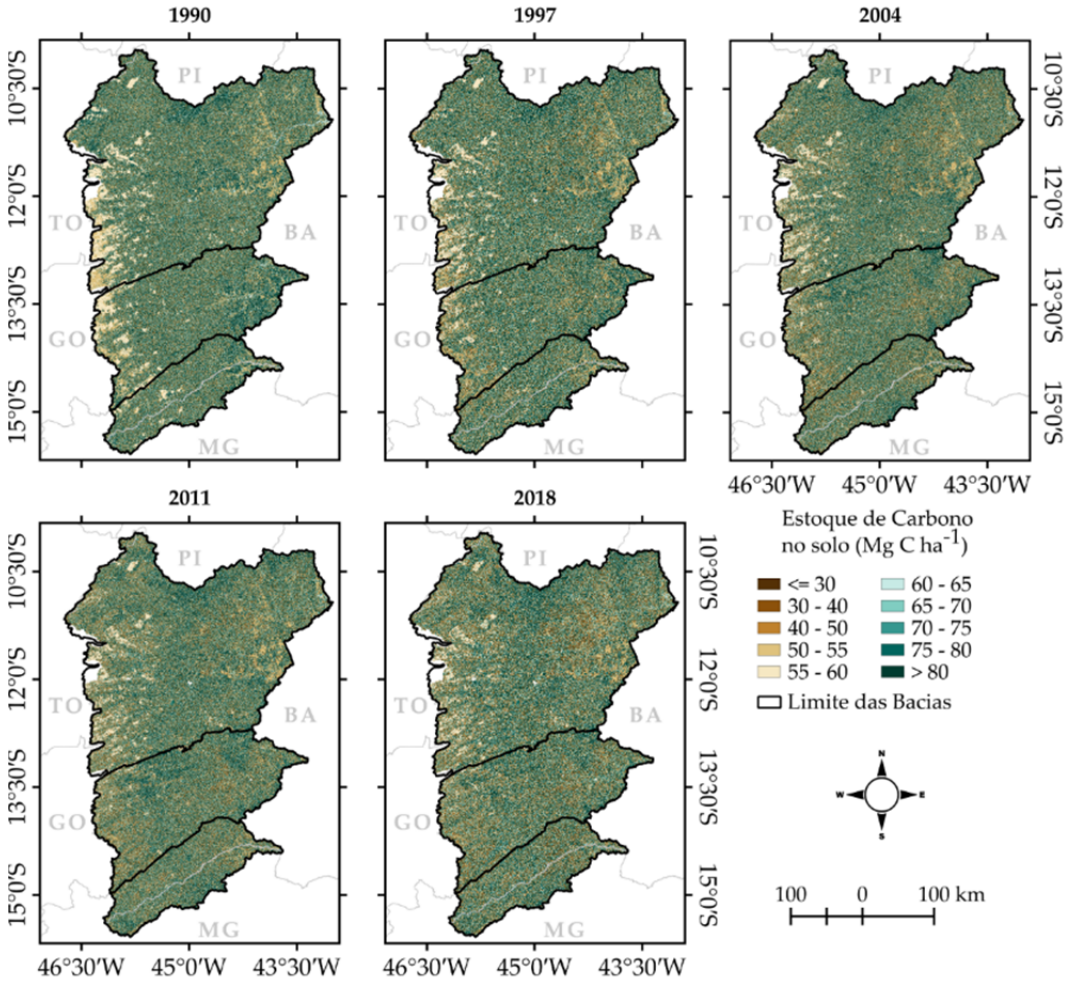


Figura 5.8.1 – Mapas de estoque de carbono no solo para anos selecionados entre 1990 e 2018.

A Tabela 5.8.2 apresenta os valores de SCS_{100} para todas as classes de uso do solo agrícolas e coberturas nativas para 1990, 1997, 2004, 2011 e 2018. O SCS_{100} total em 1990 foi de 92,5±24,1 Tg-C (Tabela 5.8.2). Para 1990, no Oeste da Bahia, as áreas de vegetação nativa continham uma SCS_{100} de 83,2±24,1 Tg-C, enquanto os usos do solo para agropecuária não-irrigada (SEQ + PAST + SEQ/PAST) mostraram estoques de 9,16 Tg-C e as áreas irrigadas estoque de 0,138 Tg-C. Estes valores mostram que 90% do SCS_{100} estavam em solos sob cobertura vegetal nativa, 9,90% em agropecuária não-irrigada e apenas 0,15% na agricultura irrigada em 1990.

Em 2018, a quantidade de SCS_{100} totalizou 87,3±25,0 Tg-C, dos quais 55,1±15,1 Tg-C correspondem a solos em áreas de vegetação natural (FF, SF e GF), 30,7±9,6 Tg-C em áreas de agropecuária não-irrigada, e 1,54±0,25 Tg-C em áreas irrigadas (Tabela 5.8.2). A quantidade de SCS_{100} estava distribuída da seguinte forma: 63,1% em solos sob vegetação nativa, 24,1% estocados em agropecuária não-irrigada e 1,76% em solos de áreas irrigadas.

A diferença entre 1990 e 2018 mostra que a quantidade de SCS_{100} na vegetação nativa (FF + SF + GF) diminuiu de 90% para 63,1%, enquanto nas áreas de agropecuária não-irrigada aumentou de 9,90% para 24,1%, e nas áreas irrigadas aumentaram de 0,15% para 1,76% (Tabela 5.8.2). No entanto, o aumento de SCS_{100} em +13,32 Tg-C em 2018 não foi suficiente para compensar as perdas de carbono por áreas naturais (-28,15 Tg-C) (Tabela 5.8.3)

Tabela 5.8.2 – Estoques de carbono no solo no Oeste da Bahia para todas as classes de uso e cobertura do solo, para anos selecionados. Valores em Tg-C (1 Tg-C = 10^{12} g-C)

CUCS	1990			1997			2004			2011			2018		
	Média	±	DP	Média	±	DP	Média	±	DP	Média	±	DP	Média	±	DP
FF	12,1	±	3,60	11,1	±	3,12	10,9	±	2,8	14,7	±	3,7	14,8	±	3,7
FS	45,8	±	13,3	42,9	±	12,3	39,4	±	11,3	40,3	±	11,5	32,5	±	9,2
FC	25,3	±	7,23	20,5	±	5,79	16,7	±	4,7	8,85	±	2,47	7,73	±	2,16
SEQ/PAST	0,44	±	0,00	0,43	±	0,07	0,48	±	0,09	1,46	±	0,27	3,52	±	0,66
SEQ	4,42	±	0,00	6,93	±	1,56	12,0	±	3,2	15,3	±	4,23	17,7	±	5,0
IRR	0,14	±	0,00	0,46	±	0,07	0,65	±	0,10	0,84	±	0,13	1,54	±	0,25
PAST	4,30	±	0,00	7,72	±	2,64	8,57	±	3,32	7,63	±	2,98	9,48	±	3,99
Total	92,5	±	24,1	90,1	±	25,5	88,73	±	25,5	89,1	±	25,3	87,3	±	24,97

O padrão de SCS_{100} também é observado nos armazenamentos de ABG e BGB. Em 1990, a quantidade de carbono estocado no AGB foi de 12,5 Tg-C. De 1990 a 2018, o AGB diminuiu 14,5%, correspondendo a uma perda total de 1,8 Tg-C (Tabela 5.8.3). O BGB diminuiu 24% entre 1990 e 2018, reduzindo o armazenamento de BGB de 6,91 Tg-C para 5,26 Tg-C em 2018 (Tabela 5.8.3).

É evidente que a redução do estoque total de carbono (TCS) está diretamente relacionada às perdas de carbono por remoção de áreas naturais (FF, SF e GF) e um aumento de áreas agrícolas até 1990 e 2018 (Tabela 5.8.3). O TCS em 1990 foi de 112±24,1 Tg-C, diminuindo para 108±25,5 Tg-C em 1995, 106±25,5 Tg-C em 2004 e alcançando 103±25,0 Tg-C em 2018 (Tabela 5.8.3). Embora tanto o AGB quanto o BGB contribuam, respectivamente, com uma redução do estoque de carbono de 1,8 Tg-C (14,5%) e 1,65 Tg-C (24,0%), a maior perda absoluta (5,2 Tg-C) foi nos solos. Embora a perda relativa seja relativamente baixa (8%), o estoque de carbono no solo é cerca de sete vezes maior que o AGB e doze vezes maior que o BGB (Tabela 5.8.3).

A expansão dos usos do solo para agropecuária na região é responsável pelo aumento da quantidade total de estoque de carbono nas classes de uso do solo para agricultura, mas não é suficiente para alterar o balanço de carbono para positivo. O balanço de carbono negativo para o Oeste da Bahia obtido neste estudo reforça que os solos são o principal método para compensar ou reduzir as emissões de carbono na região, uma vez que este reservatório é responsável por uma média de 83% do carbono total estocado na região. Além disso, mostram que um aumento de 12% dos estoques de carbono do solo é capaz de compensar as perdas de carbono na forma de vegetação viva acima e abaixo do solo (AGB e BGB) devido ao desmatamento.

Tabela 5.8.3 – Total do ABG, BGB, SCS_{100} e TCS no Oeste da Bahia (Tg-C) e variações percentuais para 1997, 2004, 2011 e 2018 em comparação com 1990.

	1990	1997	2004	2011	2018
	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP
AGB	12,5 -	11,6 -	11,0 -	11,8 -	10,7 -
BGB	6,91 -	6,47 -	6,02 -	5,67 -	5,26 -
SCS_{100}	92,5 ± 24,1	90,1 ± 25,5	88,7 ± 25,5	89,1 ± 25,5	87,3 ± 25,0
TCS	112 ± 24,1	108 ± 25,5	106 ± 25,5	107 ± 25,5	103 ± 25,0
			%		
AGB	100%	-7,0%	-12,0%	-5,5%	-14,5%
BGB	100%	-6,4%	-12,8%	-18,0%	-24,0%
SCS_{100}	100%	-2,6%	-4,1%	-3,7%	-5,6%
TCS	100%	-6,7%	-5,7%	-5,0%	-8,0%

5.9. Elaboração do inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE) pelas atividades agropecuárias

Esta seção apresenta os inventários de emissões de gases de efeito estufa pelas atividades agropecuárias, exceto para o CO_2, que já foi discutido na seção anterior.

5.9.1 Emissão pela fermentação entérica de bovinos

Para calcular as emissões pela fermentação entérica de bovinos, os dados de efetivo de bovinos e vacas leiteiras foram obtidos na Pesquisa Agrícola Municipal do IBGE. De acordo com esses dados, o efetivo bovino na região foi de 1,3 milhões e 2,1 milhões de cabeças de gado bovino no período entre 1990 e 2015 (Figura 5.9.1). Durante todo o período estudado, o número de vacas leiteiras foi de aproximadamente 10% do efetivo bovino.

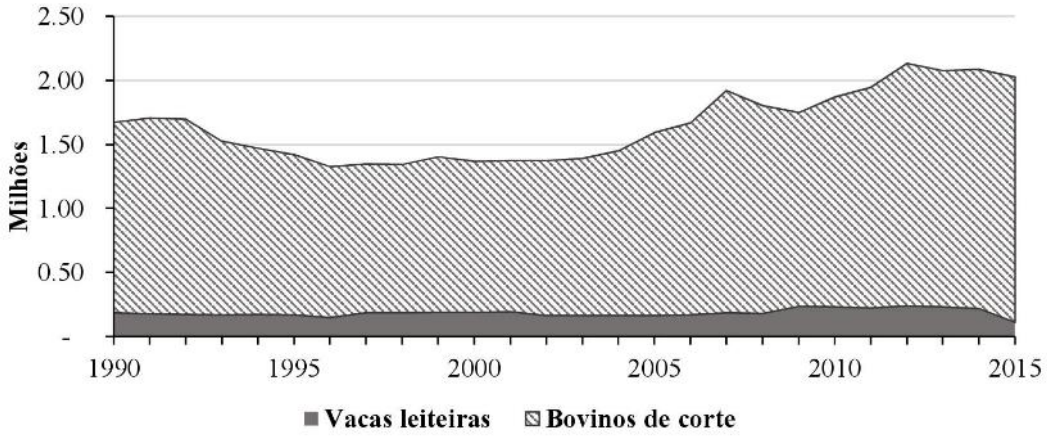


Figura 5.9.1 – Dados de efetivos bovinos divididos em número de vacas leiteiras e bovinos de corte.

Os números de bovinos de corte foram obtidos pela diferença entre o efetivo de bovinos e o número de vacas leiteiras. Além disso, os animas foram subdivididos em machos, fêmeas e jovens de acordo com as proporções definidas nos Inventários Nacionais para o estado da Bahia.

Além das emissões diretas de N_2O por dejetos de animais usados como adubo e depositados diretamente em pastagens e fertilizantes sintéticos, também foram consideradas as emissões indiretas de GEE pelos solos agrícolas nos processos de deposição atmosférica do N volatilizado e da lixiviação do N (em fertilizantes sintéticos e de dejetos animais usados como adubo). Entre 1990 e 2006, a quantidade de fertilizantes sintéticos de nitrogênio fornecidos aos agricultores da Bahia foi obtida no anexo das Emissões de Óxido Nitroso de Solos Agrícolas e Relatório de Referência de Manejo de Adubo da Terceira Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC (Alves, 2015). Já entre 2007 e 2014, os dados de quantidade comercializada de fertilizantes para a Bahia foram obtidos da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA) disponíveis no IBGE. A quantidade de fertilizantes utilizado no Oeste da Bahia foi estimado com base na proporção de áreas cultivadas, exceto as áreas plantadas de soja que é uma cultura que tipicamente faz fixação biológica de nitrogênio.

5.9.2. Cálculo das emissões de CH_4 e N_2O

As estimativas das emissões de GEE pelas atividades agropecuárias seguiram as fontes de dados, fatores e metodologias utilizadas pelo 3ª Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, que estão descritos nos Relatórios de Referência (Alves, 2015; Berndt et al., 2015).

Os resultados compreendem o período entre 1990 e 2014. Os resultados demonstram que as emissões de CH_4 são maiores ao leste da região estudada (Figura 5.9.2). A emissão passou de 1,78 Tg-CH_4 nos primeiros 5 anos da série para 5,81 Tg-CH_4 nos últimos 5 anos. Os maiores valores de emissão foram encontrados nas cidades de São Félix do Coribe, Santana, Cristópolis, Canápolis, Wanderley, Montalvânia e Juvenília.

As emissões de N_2O também aumentaram na região entre 1990 e 2014. Inicialmente as emissões estavam concentradas na parte leste da região e expandiram para oeste. A emissão passou de 9,34 Gg-N_2O nos primeiros 5 anos da série para 81,53 Gg-N_2O nos últimos 5 anos. Os maiores valores são encontrados nas cidades de Wanderley, Cristópolis, Sítio do Mato, Montalvânia e Juvenília. Nesses municípios, as emissões de N_2O estão principalmente associadas à pecuária bovina.

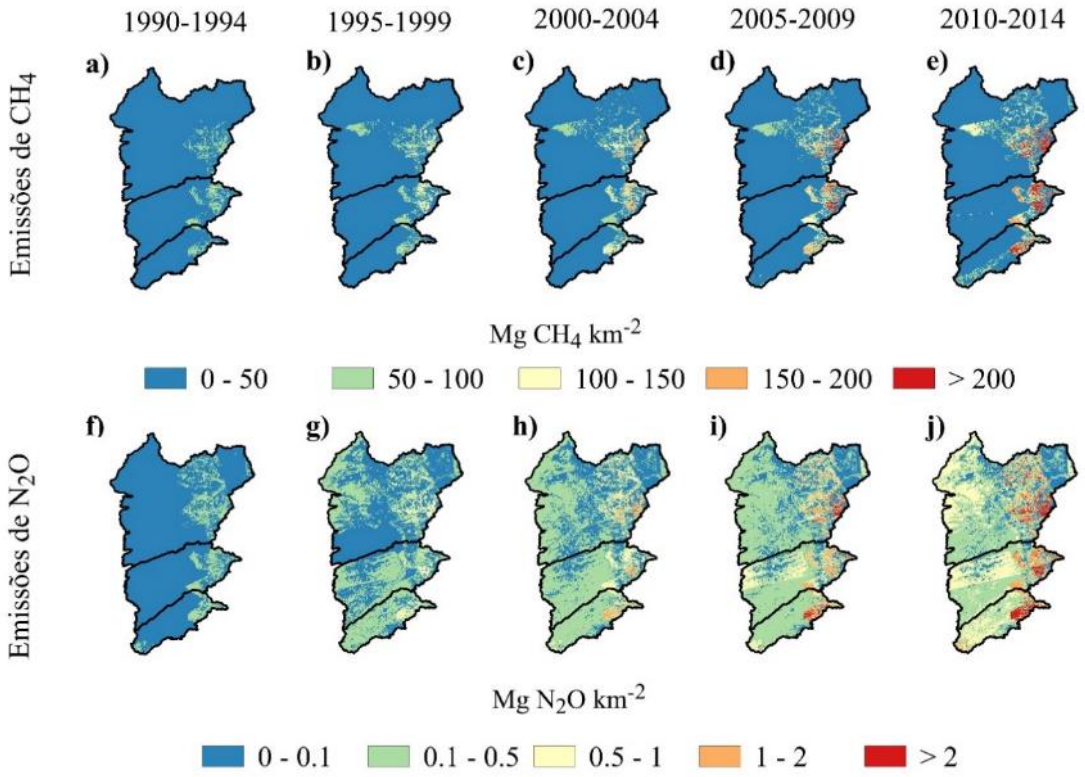


Figura 5.9.2 – Emissões de CH_4 por fermentação entérica e manejo de dejetos animais para os anos de a) 1990-1994, b) 1995-1999, c) 2000-2004, d) 2005-2009 e e) 2010-2014 e emissões de N_2O (uso de fertilizantes sintéticos + uso de dejetos animais como adubo + deposição atmosférica + lixiviação) para os anos de f) 1990-1994, g) 1995-1999, h) 2000-2004, i) 2005-2009 e j) 2010-2014.

5.10 Divulgação dos resultados e publicações.

Três tipos de atividades de divulgação foram realizadas neste objetivo específico. Em primeiro lugar, a criação de website com um servidor de mapas para a divulgação dos diversos mapas produzidos pelo projeto, além dos mapas produzidos por terceiros, para uma melhor visualização integrada dos resultados. Em segundo lugar, foi preparado um atlas impresso com os principais mapas produzidos pelo projeto. Em terceiro lugar, a produção de literatura científica. Estas atividades estão descritas detalhadamente a seguir.

5.10.1 Servidor de mapas

OBahia – acrônimo para Oeste da Bahia – é uma plataforma multidisciplinar de acesso aberto que engloba os resultados desenvolvidos neste projeto. A plataforma foi totalmente desenvolvida utilizando tecnologias *OpenSource* (de código aberto), permitindo a autonomia no desenvolvimento de aplicações que acompanham o desenvolvimento tecnológico e que permitem a interoperabilidade entre as informações disponibilizadas utilizando os padrões OGC (*Open Geospatial Consortium*). O principal objetivo é o compartilhamento de dados geoespaciais para o Oeste da Bahia juntamente com seus respectivos metadados de forma

padronizada, simples e dinâmica seguindo a filosofia de dados abertos, desta forma incentivando a colaboração interdisciplinar e o compartilhamento de conhecimentos científico-acadêmicos com a comunidade em geral. A plataforma também possibilita o compartilhamento de dados não espaciais (tabelas, fotos, PDFs, arquivos zipados, etc).

A página inicial do OBahia (Figura 5.10.1) é composta por um mapa interativo onde o usuário pode selecionar as mais de 100 camadas disponíveis por meio de uma árvore de dados, navegar pelo mapa com o mouse, dar zoom em uma região de interesse para ver maiores detalhes no mapa, calcular distâncias e áreas, fazer pesquisas sobre as camadas, obter os metadados relacionados às camadas e acessar as demais páginas da aplicação (Camadas, Documentos, Ajuda e Sobre a Plataforma) As camadas são distribuídas em grandes categorias, uma de dados gerados pelo projeto e outra de dados públicos produzidos por terceiros, agrupados conforme a fonte. Dentre os dados gerados pelo projeto, encontram-se mapas anuais de uso do solo de 1990 a 2018, mapas anuais de pivôs centrais para o mesmo período, mapas de vazões específicas e mapas de variação de nível da água do Aquífero Urucuia. Dentre os dados públicos produzidos por terceiros, encontram-se a rede hidrográfica da região, localização dos poços de monitoramento hidrogeológico, classificação de solos, dados do Cadastro Ambiental Rural, e relevo, dentre outros.

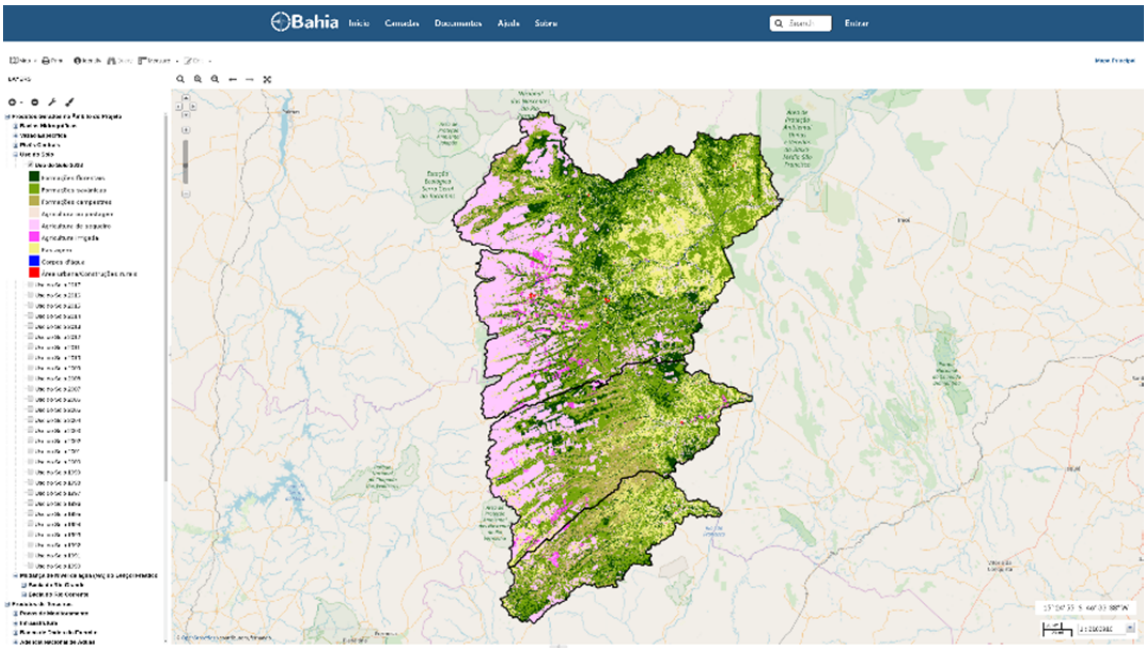


Figura 5.10.1 – Plataforma Obahia com os dados de cobertura e uso do solo para o ano de 2018 e o limite das bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha.

Na página de documentos da plataforma, o usuário pode fazer buscas avançadas sobre as camadas e documentos contidos na plataforma utilizando palavras chave, o tipo de dado (tabelas, arquivos de texto, figuras, fotos, PDFs, etc), extensão cartográfica, dentre outras. Cada camada possui uma página de metadados completa contendo informações sobre a elaboração da camada, extensão cartográfica, sistema de projeção, significado dos atributos, escala, qualidade do produto, origem dos dados, etc.

A plataforma encontra-se hospedada nos servidores da Universidade Federal de Viçosa e pode ser acessada por meio do link http://obahia.dea.ufv.br/. Com esta plataforma

será possível que os interessados tenham informações atualizadas sobre a região para que possam tomar as decisões cabíveis para o diagnóstico agrícola e ambiental e para a segurança alimentar e hídrica da região.

5.10.2 Atlas impresso

Um atlas impresso foi produzido apresentando os principais resultados do projeto disponíveis na forma de mapas. O atlas procurou registrar de forma impressa os principais resultados relacionados à demanda e disponibilidade de recursos hídricos subterrâneos e superficiais nas Bacias dos Rios Grande, Corrente e Carinhanha. A primeira seção apresenta a evolução da cobertura e uso do solo na região, incluindo a evolução das áreas de agricultura de sequeiro, de pastagem e das áreas irrigadas ao longo do período de 1990 a 2018. A segunda seção de mapas apresenta com mais detalhes a evolução das áreas irrigadas para as oito regiões hidrográficas com maior densidade de irrigação. A terceira seção apresenta a variação anual do nível de água no aquífero Urucuia desde 2011, de acordo com a disponibilidade de dados. Finalmente, a quarta seção apresenta valores regionalizados de vazão específica relacionados à disponibilidade de recursos hídricos superficiais. A impressão do atlas foi encaminhada para a gráfica em abril de 2019.

5.10.3 Artigos científicos

A conclusão natural de um processo de investigação científica como a que foi conduzida por meio deste projeto é a publicação dos resultados em literatura científica. Entretanto, esse processo tem uma dinâmica própria, incluindo revisão por pares, formatação e diagramação pela revista científica, o que pode levar de meses a anos. Dentro deste objetivo específico, nosso plano é publicar três artigos científicos, sendo que os dois primeiros já se encontram publicados, enquanto o terceiro está em processo de revisão. As referências dos dois artigos publicados (Dionizio e Costa, 2019; Pousa et al., 2019) estão na lista de referências, e separatas dos mesmos estão em anexo a este relatório.

Referências

Alves BJR. 2015 Relatório de Referência: Emissões de Óxido Nitroso pelos Solos Agrícolas e Manejo de Dejetos da Terceira Comunicação Nacional do Brasil para Convenção Quadro para Mudanças Climáticas das Nações. Disponível em: http://sirene.mcti.gov.br/publicacoes. Acessado em 2 de dezembro 2017.

Ambrizzi T.; Souza E.B.; Pulwarty R.S. The Hadley and Walker Regional Circulations and Associated ENSO Impacts on the South American Seasonal Rainfall. In The Hadley Circulation: Present, Past and Future; Diaz H.F.; Bradley R.S.; Kluwer Academic: Dordrecht, The Netherlands, 2004, 21, 203–235.

Avitabile, V., Herold, M., Heuvelink, G. B. M., Lewis, S. L., Phillips, O. L., Asner, G. P., et al. (2016). An integrated pan-tropical biomass map using multiple reference datasets. Global Change Biology, 22(4), 1406–1420. https://doi.org /10.1111/gcb.13139

Bayazit M. Nonstationary of hydrological records and recent trends in trend analysis: A state-of-the-art review. Environ. Process. 2015, 2, 247-542.

Berndt A, Lemes AP, Romero LA, Sakamoto LS, Lima MAL. 2015. Methane Emissions from Enteric Fermentation and Animal Manure Management Reference Report of the Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponível em: http://sirene.mcti.gov.br/publicacoes. Acessado em 2 de dezembro 2017.

Campbell, G.S.; Norman, J.M. An Introduction to Environmental Biophysics, 2ª Edição, 1998, 474 p.

Castro, E. A., Kauffman, J. B. (1998). Ecosystem structure in the Brazilian cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. Journal of Tropical Ecology, 14(3), 263-283.

Coe, M. T, Costa, M. H., e Howard, E. A. (2008). Simulating the surface waters of the Amazon River basin: impacts of new river geomorphic and flow parameterizations. Hydrological Processes, 22, 2542-2553.

Coe, M. T., Costa, M. H., Botta, A., e Birkett, C. (2002). Long-term simulations of discharge and floods in the Amazon Basin. Journal of Geophysical Research, 107, 1-17.

Cruz, T. V. da, Peixoto, C. P., Martins, M. C. (2010). Crescimento e produtividade de soja em diferentes épocas de semeadura no Oeste da Bahia. Scientia Agraria, 11(1), 033. https://doi.org/10.5380/rsa.v11i1.15941

Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., e Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6, 182-197.

Dias, L. C. P., Pimenta, F. M., Santos, A. B., Costa, M. H., Ladle, R. J. (2016). Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture. Global Change Biology, 22(8), 2887–2903. https://doi.org/10.1111/gcb.13314

Dionizio, E. A., M. H. Costa, 2019: Influence of Land Use and Land Cover on Hydraulic and Physical Soil Properties at the Cerrado Agricultural Frontier. *Agriculture*, 9, 24, doi:10.3390/agriculture9010024.

EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análise solo. EMBRAPA, Rio de Janeiro. 212 pp.

Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., e Alsdorf, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. Reviews of Geophysics, 45, 1-33. DOI: 10.1029/2005RG000183.

Green, H. W., e Ampt, G. A. (1911). Studies on soil physics. The Journal of Agricultural Science, 4, 1-24.

Kane R.P. Prediction of Droughts in North-East Brazil: Role of ENSO and Use of Periodicities. Int. J. Climatol, 1997, 17, 655-665.

Landau E.C.; Guimarães D.P.; Souza D.L. Concentração de áreas irrigadas por pivôs no Oeste da Bahia. In Anais do Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. GEONORDESTE, Aracajú, Brasil, 18-21 November 2014.

Li, K. Y., De Jong, R., Coe, M. T., e Ramankutty, N. (2006). Root-water-uptake based upon a new water stress reduction and na asymptotic root distribution function. Earth Interactions, 10, 1-22.

Lima Jr, C. D., Accioly, L. J. D. O., et al. (2014). Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação Scientia Forestalis, v. 42, n. 102, p. 289-298.

Marengo, J.A.; Torres R.R.; Alves L.M. Drought in Northeast Brazil—Past, Present, and Future. Theor. Appl. Climatol. 2017, 129, 1189-1200.

Pettitt A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. Appl. Statist. 1979, 2, 126-135.

Pfafstetter, O. Classificação de Bacias Hidrográficas. Departamento Nacional de Obras de Saneamento. 1989.

Pousa, R., Costa, M. H., Pimenta, F. M., Fontes, V. C., Brito, V. F. A., Castro, M. (2019). Climate Change and Intense Irrigation Growth in Western Bahia, Brazil: The Urgent Need for Hydroclimatic Monitoring. *Water*, 10, 933; doi:10.3390/w11050933.

Richards, L. A. (1931). Capillary conduction of liquids through porous mediums. Journal of Applied Physics, 1, 318.

Richards, L.A.; Fireman, M. Pressure-plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. Soil Science 1943, 56, 395–404. doi:10.1097/00010694-194312000-00001.

Richards, P.; Pellegrina, H.; VanWey, L.; Spera, S. Soybean development: The impact of a decade of agricultural change on urban and economic growth in Mato Grosso, Brazil. PLoS One 2015, 10, e0122510.

Rogers, P.; Hall, A.W. Effective Water Governance; Global Water Partnership Technical Committee Background Papers No. 7; Global Water Partnership: Stockholm, Sweden, 2003.

Ruiz, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte+argila). Revista Brasileira de Ciência do Solo 2005, 29, 297–300. doi:10.1590/S0100-06832005000200015.

Rybski D., Bunde A., Havlin S. and von Stoch H. Long-term persistence in climate and the detection problem. Geophys. Res. Lett. 2006, 33, 1-4.

Santana, O. A., Encinas, J. I., Inácio, E. dos S. B., Amorim, L. B. de, Vilaverde, J. L. J. (2013). Relação entre o índice de avermelhamento do solo e o estoque de carbono na biomassa aérea da vegetação de cerrado. Ciência Florestal, 23(4), 783–794. https://doi.org/10.5902/1980509812362

Serinaldi, F; Kilsby, C.G. Stationarity is undead: Uncertainty dominates the distribution of extremes. Adv. Wat. Res. 2015, 77, 17-36.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization); World Water Assessment Programme. Water, a Shared Responsibility; The United Nations World Water Report 2; Berghahn Books: Paris, France; New York, NY, USA, 2006; pp. 43–86.

Verdin, K. L., Verdin, J. P. A topological system for delineation and codification of the Earth's river basins. J. Hydrol. 1999, 218, 1-12.

Verstraeten G., Poesen J., Demarée G. and Salles C. Long-term (105 years) variability in rain erosivity as derived from 10-min rainfall depth data for Ukkel (Brussels, Belgium): Implications for assessing soil erosion rates. J. Geophys. Res. 2006, 111, 1-11.

Walkley, A., Black, I. A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37(1), 29–38. https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

Xavier, A. C., King, C. W., e Scanlon, B. R. (2016). Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). International Journal of Climatology, 36, 2644-2659. doi: 10.1002/joc.4518

Youngs, E. Hydraulic Conductivity of Saturated Soils. In Soil analysis : physical methods; Marcel Dekker., Ed.; 1991; pp. 161–207.

Parte 5: Ações de Governança no Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia

Equipe: Aziz Galvão da Silva Júnior, Ph.D.
Everardo Chartuni Mantovani, Ph.D.
Ruã Jeferson Ferreira Coutinho (estagiário)

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO 239
2 ARTIGOS E RELATÓRIOS 240
3 VISITAS TÉCNICAS 282
3.1 VISITA DELEGAÇÃO BRASILEIRA AO NEBRASKA 282
3.2 VISITA DELEGAÇÃO NEBRASKA A BAHIA 282
4 POS-DOUTORADO PROF. AZIZ GALVÃO 315
5 WORKSHOPS 319
5.1 UFV 319
5.2 AIBA 322
6 REUNIÕES COM PARCEIROS 326

1. Introdução

A gestão eficiente da água, ou seja, o conjunto de operações realizadas em um determinado período de tempo, envolve recursos físicos, humanos, financeiros e depende de informações sobre a disponibilidade e demanda hídricas. A alocação da água é, portanto, uma questão econômica e política, regulamentada por um conjunto de leis formais e regras informais propostas, implementadas e controladas por diferentes grupos de interesse.

O termo governança é definido como o conjunto dos sistemas políticos, sociais, econômicos e administrativos implementados para a gestão dos recursos hídricos e os serviços prestados pelo uso da água em diferentes níveis da sociedade. Governança compreende os mecanismos e processos pelos quais o acesso, uso, controle, transferência e resolução de conflitos relacionadas a água são gerenciados. Essencialmente, um sistema de governança determina para quem, quando, como e qual tipo de água está disponível bem como o direto uso e apropriação dos benefícios relacionados à água. A sustentabilidade do uso de recursos naturais pressupõe o atendimento das necessidades da geração atual, sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Neste contexto, informações atuais e também previsões sobre a disponibilidade e a demanda hídricas dos diferentes setores econômicos são imprescindíveis para a gestão da água e aprimoramento de um sistema de governança sustentável dos recursos hídricos (FAO, 2018; OECD 2015a, OECD 2015b).

Para atender às demandas do projeto Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia: Quantificação e Monitoramento da Disponibilidade dos Recursos do Aquífero Urucuia e Superficiais nas Bacias dos Rios Corrente e Grande, foi elaborado um estudo para aperfeiçoar a governança dos recursos hídricos e desenvolvimento sustentável do Estado da Bahia, seguindo o modelo feitos no estado de Nebraska, nos Estados Unidos.

Portanto, esse relatório disponibiliza visitas e reuniões entre os principais atores do sistema de gestão de recursos hídricos da Bahia que buscaram avaliar o sistema de governança e o desenvolvimento de um sistema de informação integrada de recursos hídricos.

2. Artigos e Relatórios

1. Mantovani, E. C., Silva Júnior, A. G. 2017. **Irrigação como fator de desenvolvimento econômico e social.** Aiba Rural 3(7): 34-35
2. Silva Júnior, A. G., Mantovani, E. C. 2018. **Gestão dos Recursos Hídricos no Estado do Nebraska, USA: A Experiência dos NRD (Natural Resources Districts)**. Available at: https://pt.slideshare.net/equipeagroplus/projetourucuiaw1azizgalvonrd
3. Silva Júnior, A. G., Mantovani, E. C., 2017. **Governança dos recursos hídricos: um exemplo de sucesso na agricultura.** Pivot Point Latino América. 10: 76-77
4. Silva Júnior, A. G., Mantovani, E. C., 2017. **Water resources governance: an example of success in agriculture.** Pivot Point Latin America. 10: 66-67
5. Silva Júnior, A. G., Mantovani, E. C., 2017. **Gobernanza de los recursos hídricos: un ejemplo exitoso en la agricultura**. Pivot Point Latinoamérica. 10: 66-67
6. Silva Júnior, A. G., Mantovani, E. C., 2017. **Uso sustentável de recursos hídricos para a produção de alimentos: o exemplo do estado de Nebraska, nos EUA**. Aiba Rural 3(8): 62-64.
7. Silva Júnior, A. G., Mantovani, E. C., Araujo, G., Lopes, J. C. 2018. **Importância e potencial da irrigação na agricultura familiar**. Aiba Rural 4(10): 34-36
8. Silva Júnior, A. G., Mantovani, E. C., Chaves, A., Araújo, G. 2018. **Nebraska Delegation Visit to Bahia. DWFI-UNL Report.** Available at: http://waterforfood.nebraska.edu/wp-content/uploads/2018/05/PostVisitBrazil_Report.pdf
9. Silva Júnior, A. G., Mantovani, E. C., Chaves, A., Araújo, G. 2018. **Visita da Delegação do Nebraska à Bahia. Relatório Convênio AIBA-Prodeagro/UFV-Funarbe**. Available at: https://pt.slideshare.net/equipeagroplus/projeto-urucuia-vista-da-delegao-do-nebraska-bahia
10. Silva Júnior, A. G., Mantovani, E. C., Neale, C. M.U. 2017. **Sistemas de Informação para Gestão Sustentável de Recursos Hídricos na Agricultura: O exemplo do Estado de Nebraska, USA.** Informe agropecuário 38(300):104-112.
11. Berkland, R., Neale, C. U., Silva Júnior, A. G., Mantovani, E. C. 2018. **Compartilhamento de Pivô Central na Agricultura Familiar Irrigada.** Aiba Rural 5(12):39-42.

ARTIGO 1: IRRIGAÇÃO COMO FATOR DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL

A demanda de alimentos no mundo não para de crescer. Estudos da FAO estimam uma população de cerca de nove bilhões de habitantes para 2050, e uma necessidade de expandir a produção de alimentos entre 60% e 70%, sendo que 90% desse valor deverão vir do aumento de produtividade e apenas 10% do aumento da área plantada. Neste contexto, existe o consenso de que a expansão da agricultura irrigada brasileira e mundial é a base para que estas demandas sejam atendidas.

CAPA

Irrigação como fator de desenvolvimento econômico e social

por EVERARDO CHARTUNI MANTOVANI[1], AZIZ GALVÃO DA SILVA JÚNIOR[2]

A demanda de alimentos no mundo não para de crescer. Estudos da FAO estimam uma população de cerca de nove bilhões de habitantes para 2050, e uma necessidade de expandir a produção de alimentos entre 60% e 70%, sendo que 90% desse valor deverão vir do aumento de produtividade e apenas 10% do aumento da área plantada. Neste contexto, existe o consenso de que a expansão da agricultura irrigada brasileira e mundial é a base para que estas demandas sejam atendidas.

A evolução da agricultura irrigada brasileira permitiu avançar do total de 1,5 milhões de hectares em meados de 1980 até os 5,1 milhões de hectares atuais. Tão importante quanto multiplicar por 3,4 a área irrigada foi a evolução de uso de sistemas com maior eficiência no uso de água, energia, mão de obra e operacionalidade de maneira geral. Sistemas pressurizados de irrigação por aspersão convencional e mecanizados e de irrigação localizada por gotejamento e microaspersão ocupavam 10% do total no mesmo período e hoje evoluíram para cerca de 70% do total irrigado, com destaque para o sistema pivô central.

Diferentemente da situação atual, o crescimento do passado que ampliou a área irrigada brasileira se deu em um cenário de pouca disponibilidade técnica, operacional, industrial e de recursos financeiros. Hoje, a situação do Brasil é totalmente diferente de 30 anos atrás. Ampliamos nossa capacidade de implantar de forma sustentável novas áreas irrigadas, multiplicaram-se os grandes projetos em diversas regiões, e a eficiência do sistema de produção irrigada tornou-se rotina no agrone-

agricultura irrigada, nos últimos 15 anos, se deu dentro da nova política nacional de recursos hídricos, criada com a lei federal nº 9.433 de 08/01/1997, uma das mais modernas do mundo e condizente com o novo status da água, que traz, em resumo: "A

A evolução da agricultura irrigada brasileira permitiu avançar do total de 1,5 milhões de hectares em meados de 1980 até os 5,1 milhões de hectares atuais. Tão importante quanto multiplicar por 3,4 a área irrigada foi a evolução de uso de sistemas com maior eficiência no uso de água, energia, mão de obra e operacionalidade de maneira geral. Sistemas pressurizados de irrigação por aspersão convencional e mecanizados e de irrigação localizada por gotejamento e microaspersão ocupavam 10% do total no mesmo período e hoje evoluíram para cerca de 70% do total irrigado, com destaque para o sistema pivô central.

Diferentemente da situação atual, o crescimento do passado que ampliou a área irrigada brasileira se deu em um cenário de pouca disponibilidade técnica, operacional, industrial e de recursos financeiros. Hoje, a situação do Brasil é totalmente diferente de 30 anos atrás. Ampliamos nossa capacidade de implantar de forma sustentável novas áreas irrigadas, multiplicaram- se os grandes projetos em diversas regiões, e a eficiência do sistema

de produção irrigada tornou-se rotina no agronegócio brasileiro. A partir de 1990, ampliamos nossa capacidade industrial e de importação nas áreas dos sistemas de irrigação convencionais, mecanizados e localizados. A área comercial e de serviços vem a cada dia se profissionalizando, relacionado ao planejamento, implantação e operação de áreas irrigadas nas mais diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. Por fim, evoluímos muito no conhecimento e formação técnica dos profissionais de nível superior, técnico e operacional.

É importante lembrar que todo esse desenvolvimento da agricultura irrigada, nos últimos 15 anos, se deu dentro da nova política nacional de recursos hídricos, criada com a lei federal n° 9.433 de 08/01/1997, uma das mais modernas do mundo e condizente com o novo status da água, que traz, em resumo: "A água é um bem de domínio público, um recurso natural limitado e dotado de valor econômico, sendo seu uso prioritário, em condições de escassez, para consumo humano e dessedentação de animais". Na figura a seguir apresenta-se uma visão dos focos da agricultura irrigada no Brasil.

Assim, é importante o desenvolvimento da agricultura irrigada, permitindo estabilidade e ampliação da produção brasileira e mundial de alimentos. Por outro lado, vivemos em um período de forte escassez de água em muitas regiões, que um foco bem direcionado para os trabalhos de ampliação da área irrigada brasileira. A resposta para tudo isso passa inexoravelmente por três vertentes:

1 Entendimento profundo, por parte da sociedade, da importância da irrigação para o aumento da produção agrícola no Brasil e no mundo;

2 Que o poder público crie condições e programas de incentivo, controle e ofereça melhorias em infraestrutura e logística, que beneficiarão a agricultura em geral;

3 Todos os envolvidos no sistema, sejam eles produtores, funcionários, empresários, industriais, técnicos, professores ou pesquisadores, tenham consciência que o único caminho é uma agricultura irrigada sustentável, com uso eficiente da água, energia e outros insumos.

Neste sentido, o conhecimento científico sobre a disponibilidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos é imprescindível. A disponibilidade de informações precisas permite que sistemas de monitoramento e gestão da água sejam propostos e implementos. O desafio é grande, mas utilizar de forma adequada a água é o único caminho para garantir que as necessidades da geração atual e das gerações futuras possam ser atendidas.

ARTIGO 2: GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DE NEBRASKA, EUA: A EXPERIÊNCIA DOS NRDS (NATURAL RESOURCES DISTRICTS)

O Nebraska é o estado com a maior área irrigada nos EUA. Cerca de 85% dos 3,5 milhões de ha irrigados são abastecidos por águas subterrâneas bombeados do aquífero Ogallala por mais de 100 mil poços. A importância econômica e as experiências de desastres ambientais, rebaixamento e contaminação do nível dos aquíferos, o impacto do bombeamento de águas subterrâneas na disponibilidade de águas superficiais e os conflitos entre usuários tornam a gestão dos recursos hídricos uma prioridade na área de políticas públicas na região das grandes planícies dos Estados Unidos, e no Nebraska em especial. No Nebraska, xxxo modelo de gestão dos recursos hídricos é baseado em organizações locais, os NRDs (Natural Resources Districts). Cada um dos 23 NRD tem autonomia para implementar sua própria estrutura de governança no uso de águas subterrâneas, e em conjunto com o órgão estadual, na gestão de águas superficiais. Há uma grande diversidade entre os distritos (precipitação, cursos d'água e reservas), a qual exige a estruturação de diferentes modelos de gestão, tornando a análise da gestão dos recursos hídricos no Nebraska ainda mais relevante e oportuna. Mesmo que um modelo não possa ser replicado, entender os desafios e soluções implementadas, especialmente aquelas com resultados positivos, é de extrema importância.

Introdução

A gestão dos recursos hídricos no estado de Nebraska é uma referência mundial. O Nebraska ocupa a 3º e a 5º posição na produção de milho e soja nos EUA, contribuindo com, respectivamente 12,2% e 7,2% do total americano (USDA, 2017). O Estado é o maior produtor de carne bovina (16% do total dos EUA) e o 2º maior produtor de etanol. A expressão "golden triangle" destaca a importância da sinergia entre as cadeias de produção de milho, etanol e carne bovina. A área irrigada de 3,5 milhões de ha no Nebraska é a maior entre os estados americanos, contribuindo com 13,5% do total irrigado dos EUA. Com dimensão semelhante ao estado do Paraná (200 mil km2), a irrigação no estado equivale a 70% de toda a área irrigada do Brasil, estimada em cerca de 5,4 milhões de ha. (Bleed, 2015; Alexandratos, 2012).

PAIS	ÁREA (milhões ha)
1. Índia	66,3
2. China	62,9
3. EUA	26,6
...	
9. Brasil	5,4
...	
12. NEBRASKA	3,4
MUNDO	**300,0**

O Nebraska tornou-se um estado americano em 1867 e a ocupação agrícola ocorreu no âmbito do programa do governo americano de colonização do oeste do país através de venda de terra a preços baixos ou mesmo doação, conhecido como Homestead Act. Além do uso das extensas áreas de pradarias como pastagem nas novas áreas do chamado high plains, a introdução de tecnologias mecânicas e anos com precipitações adequadas contribuíram para o aumento da produção agrícola e a atração de mais imigrantes nas décadas seguintes. Entretanto, seguidas e severas secas nos anos 30, agravadas por técnicas inadequadas de preparo do solo, provocaram erosão eólica que culminaram em tempestades de areia de proporções catastróficas, conhecidas como dust bowl. As consequências econômicas deste desastre ambiental coincidiram com a crise provocada pela quebra da bolsa de Nova York, levando a profundas transformações sociais, econômicas e culturais na sociedade americana. A partir de meados dos anos 30, o governo federal reagiu implementando medidas de conservação do solo e políticas públicas para a recuperação da economia e da agricultura. A criação de organizações como a Administração para a Segurança da Atividade Agrícola (FSC: Farm Security Administration) e o Serviço de Nacional de Conservação de Recursos Naturais (NRCS: Natural Resources Conservation Service), aliado ao desenvolvimento e transferência de tecnologias, foram decisivos para a recuperação dos solos e da economia nos anos 40. Nas décadas seguintes, o aprimoramento e aumento da eficiência da tecnologia de irrigação, em especial a tecnologia do pivô central e bombeamento de águas subterrâneas proporcionaram aumentos significativos de produtividade. Estas tecnologias permitiram também que a agricultura se expandisse além do meridiano 100, o qual divide as regiões sub-úmida a leste e semiárida a oeste, sendo também o limite tradicional para a agricultura de sequeiro (510 mm). A figura a seguir mostra o meridiano 1000 e as faixas de precipitação no estado do Nebraska, as quais variam de cerca de 250 mm a oeste a 860 mm a leste.

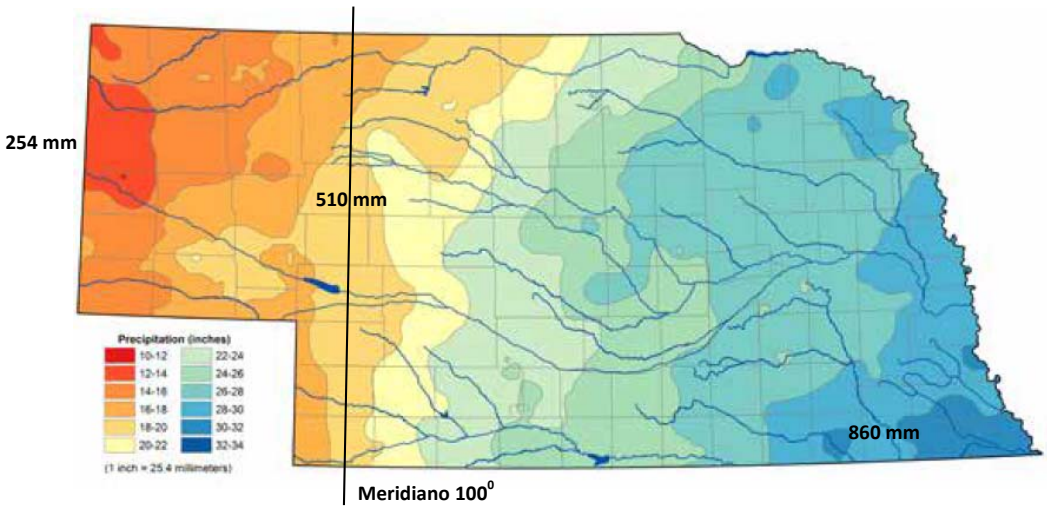


Figura 1 – Precipitação anual média no Estado de Nebraska (source: Bleed, 2015)

No Nebraska, 85% da água utilizada para a agricultura é bombeado do aquífero Ogallala, que se estende por uma área de 450 mil km2 nos estados de Dakota do Sul, Nebraska, Wyoming, Colorado, Kansas, Oklahoma, Novo México e Texas. Há no estado cerca de 100 mil poços registrados. A área ocupada pelo aquífero Ogallala e a densidade de poços por unidade de área são mostrados nas figuras a seguir.

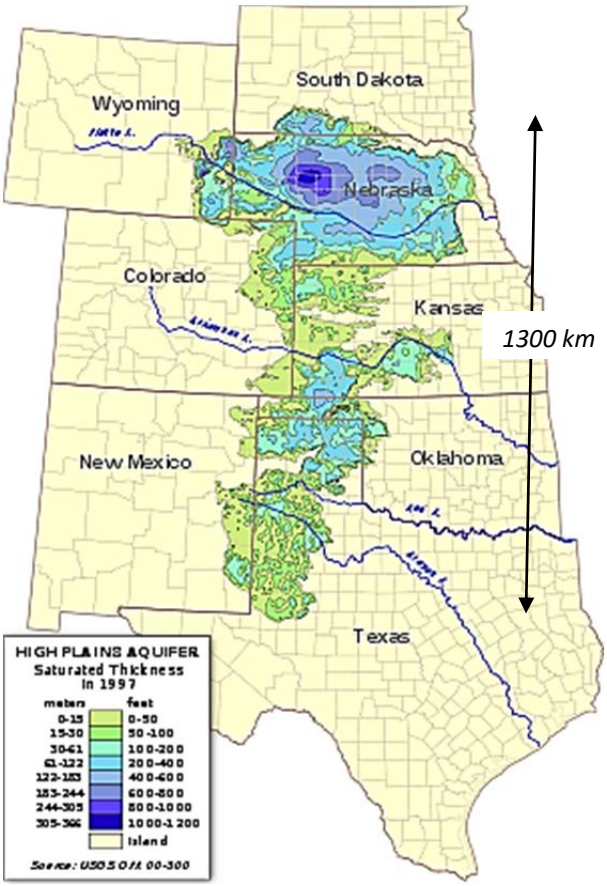


Figura 2 – Aqüífero Ogallala (source: Bleed, 2015)

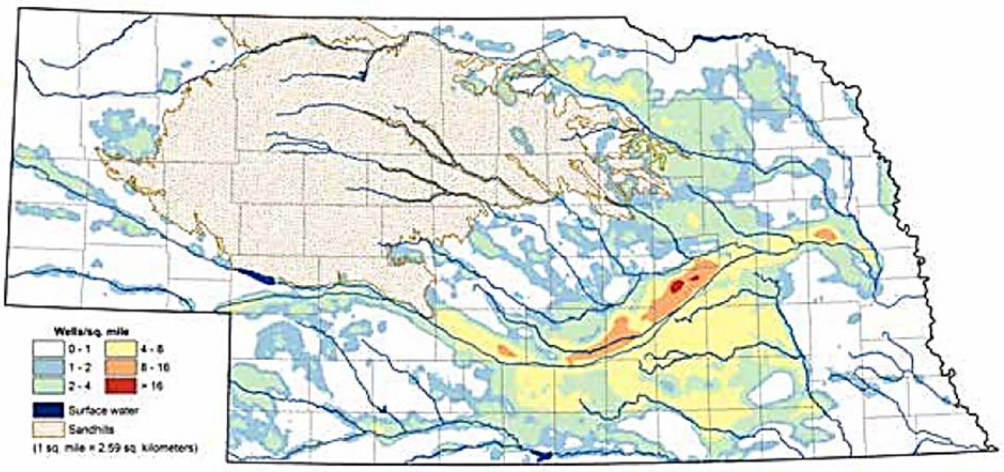


Figura 3 – Densidade de Poços por Área no Estado do Nebraska (source: Bleed, 2015)

O uso de águas subterrâneas e seu impacto nas águas superficiais acrescentou novas fontes de conflito pelo uso da água, envolvendo produtores rurais e outros usuários não só do estado de Nebraska, mas também dos estados vizinhos. Em 1942 os estados do Colorado, Nebraska e Kansas entrarem em acordo para o compartilhamento dos recursos hídricos do rio Republican, com a definição do volume permitido de água a ser utilizada por cada estado (Palazzo, 2014; Kuwauama, 2013). A partir dos anos 1950, ocorreu aumento significativo no

número de poços perfurados para irrigação e em 1990 o estado de Nebraska modificou os normas para cálculo do efeito do bombeamento de água na disponibilidade de águas superficiais. Em 1998, o estado do Kansas processou os estados de Nebraska e Colorado por quebra do acordo do uso da água. A suprema corte dos Estados Unidos nomeou uma comissão para avaliar o impacto do bombeamento do aqüífero na disponibilidade de águas superficiais no Kansas. Em 2002 a comissão confirmou o impacto, com a consequente moratória do uso de águas subterrâneas em algumas regiões do estado de Nebraska e a implementação de um modelo de gestão com base em um sistema extensivo de monitoramento. Mesmo com este sistema, o estado do Kansas moveu recentemente nova ação contra o estado do Nebraska, ainda não solucionada (Palazzo, 2014).

Já em 1895, poucos anos após tornar-se o 37º estado americano, foram implementadas as primeiras leis para a regulamentação do uso da água. Entretanto, a regulamentação do uso das águas subterrâneas somente passou a ter relevância a partir da seca dos anos 30. A expansão e intensificação da agricultura irrigada a partir do uso das reservas subterrâneas nas décadas seguintes e o acirramento de conflitos, inclusive entre estados, levou a implementação de um sistema de governança inovador e, considerando a escala e importância econômica, único no mundo.

Modelos de governança de recursos naturais são definidos por características específicas da região, estrutura de produção, aspectos sócio-econômicos e decisões políticas. Um modelo dificilmente pode ser replicado em outras regiões. Entretanto, a análise da experiência do modelo implementado no Nebraska é altamente relevante e oportuna. Em última instância, a gestão sustentável dos recursos hídricos, por definição, só pode ser avaliada no longo prazo quando as gerações futuras estiverem utilizando os recursos hídricos preservados por decisões tomadas no presente. O desastre ambiental dos anos 30 (dust bowl) e os desafios dos impactos das mudanças climáticas, tornam a questão hídrica uma prioridade na área de políticas públicas. Mesmo que um modelo não possa ser replicado, entender os desafios e soluções implementadas, especialmente aquelas com resultados positivos, é de extrema importância. No Nebraska, o modelo de gestão dos recursos hídricos é baseado em organizações locais, os NRDs (Natural Resources Districts). Cada NRD tem autonomia para implementar sua própria estrutura de governança. Esta diversidade permite que diversos modelos possam ser analisados, tornando a análise da gestão dos recursos hídricos no Nebraska ainda mais importante.

Gestão dos Recursos Hídricos no Nebraska e os Natural Resources Districts (NRD)

O sucesso de um modelo de governança dos recursos hídricos é definido pela sua capacidade de garantir para as gerações atuais e futuras os benefícios do uso da água conforme as necessidades e expectativas da sociedade. Em um modelo eficiente, três aspectos devem estar presentes: i) os recursos naturais devem ser preservados, ii) as próprias instituições envolvidos no sistema de governança devem também ser preservadas e iii) tanto os benefícios do uso dos recursos naturais quanto a estrutura de governança devem ser capazes de responder, adequadamente, a situações de crise e aos desafios atuais e futuros.

A água nos EUA é considerada um bem público. O usuário tem o direito de uso, mas não a posse. Entretanto, de acordo com a constituição do Nebraska e de outros estados, o usuário do recurso água na prática tem garantido os direitos semelhantes a posse de um bem privado, como a possibilidade de comercializar o direito de uso da água, de acordo com leis estaduais e desde que garantindo o direito de outros usuários.

A partir da colonização do oeste americano através da iniciativa homestead act, os agricultores passaram a utilizar e desviar águas superficiais, gerando os primeiros conflitos pelo uso deste recurso natural. Nos novos estados, a partir da década de 1890 leis foram implementadas com base no princípio comum na área de mineração conhecido como prior appropriation ou "first in time, first in right". Neste sistema os usuários mais antigos (senior) têm prioridade de uso em relação aos usuários mais recentes (junior). Nas regiões áridas, este sistema é considerado mais adequado que o sistema de compartilhamento igualitário do uso dos recursos naturais. Em anos de seca, compartilhar quantidades reduzidas do recurso água pode resultar em quantidade de água insuficiente para a produção agrícola. Ou seja, em caso extremo, não há produção alguma. O sistema de prior appropriation, garante, pelo menos, que os usuários mais antigos tenham condições de produção.

O direito de uso de águas superficiais tem sido administrado desde o final do século XIX pelo Governo dos Estados. No Nebraska, a função é exercida pelo Departamento de Recursos Naturais (DNR = Department of Natural Resources), fruto da fusão do Departamento de Recursos Hídricos (Department of Water Resources) e a Comissão Estadual de Recursos Naturais (State Natural Resource Commission). O DNR defini a seguinte prioridade para o uso de água: 1 usuário doméstico, 2. Usuários de irrigação mais antigos, 3. Usuários de irrigação mais recentes, 4 usuários industriais mais antigos.

No caso de águas subterrâneas, em 1933 foi aprovada no Nebraska a primeira lei definindo que para águas subterrâneas não seria aplicado o princípio de prior appropriation, como no caso das águas superficiais. Em épocas de escassez, o recurso deveria ser compartilhado entre os usuários. Este princípio foi ratificado por uma lei de 1975 conhecida como Groundwater Management Act.

Nos anos 40 e 50, pesquisas geológicas conduzidas pela Divisão de Pesquisa e Conservação da Universidade do Nebraska (University of Nebraska Conservation and Survey Division) foram determinantes para confirmar a presença de grandes reservas subterrâneas no estado, viabilizando a agricultura irrigada em larga escala.

A gestão do uso da águas subterrâneas é altamente complexa pelos seguintes motivos: i) reservas de águas subterrâneas são difíceis de observar e mensurar ii) águas superficiais e subterrâneas estão, normalmente, hidrologicamente conectadas e esta relação é complexa e muitas vezes de difícil verificação, iii) a movimentação e o impacto do uso das águas subterrâneas é bastante lento, ao contrário de águas superficiais no qual o impacto de contaminação, por exemplo, pode ser percebido dentro de alguns dias ou poucas semanas, iv) o impacto do uso de água é de longo prazo, ou seja, mesmo se o bombeamento de um poço for interrompido o efeito esperado pode demorar anos para ser percebido e v) a análise científica de águas subterrâneas só é viável com o uso de modelos complexos e uso de estimativas.

O crescimento vertiginoso da agricultura irrigada a partir de águas subterrâneas nos anos de seca da década de 70, viabilizada pelo desenvolvimento e transferência de tecnologias de bombeamento e pivô central, intensificou a preocupação com os impactos do uso da água tanto relacionado a contaminação quanto a disponibilidade de água subterrâneas e impactos na vazão dos cursos d'água para outros usuários. Esta situação provocou contenciosos entre estados, conforme citado anteriormente e, aliada a necessidade de minimização de impactos como enchentes e a própria complexidade do gerenciamento de águas subterrâneas, levou a implementação de um modelo inovador, os NRD (Natural Resources Districts)

Os NRD surgiram em 1972 a partir da fusão de distritos locais (local districts). Estes distritos surgiram ainda na década de 1930, no âmbito de iniciativas de conservação do solo e

da água para recuperação e prevenção dos impactos ambientais da erosão eólica (dust bowl). Os primeiros distritos tinham responsabilidade amplas e autonomia para definir e implementar ações para regular o uso do solo. Ações raramente eram implementadas e como os problemas ambientais continuaram a ocorrer, o estado de Nebraska implementou uma lei criando distritos locais para fins específicos (special local districts). Nos anos 60, o número de distritos locais aumentou vertiginosamente levando a um caótico sistema que sobrepunha autoridade entre os distritos e com os próprios órgãos do estado. No final da década de 60, a Associação dos Distritos para Conservação da Água e dos Solos contratou um estudo para consolidar os 154 distritos locais existente na época. Alguns distritos e agências federal opuseram-se a iniciativa com receio de perder autonomia e poder. Entretanto, a necessidade de controlar enchentes levou a aceitação geral de que a definição da área da nova estrutura deveria se basear nas bacias hidrográficas (Bleed, 2015).

Após intensas e longas negociações, e mesmo questionamentos à Suprema Corte, em 1972 foi sancionada uma lei estadual criando o sistema composto por 24 Distritos de Recursos Naturais (DNR) no estado do Nebraska. Em 1989 dois distritos, Papio e Missouri, fundiram-se e atualmente o sistema é composto por 23 distritos tendo como referência as bacias hidrográficas conforme mostrado nas duas figuras a seguir.

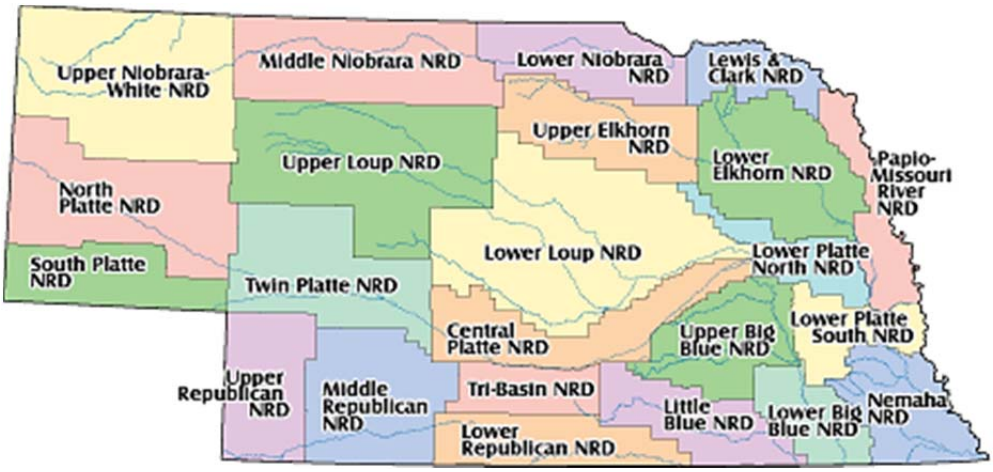


Figura 4 – Natural Resources Districts do Estado de Nebraska (source: Bleed, 2015)

Figura 5 – Principais Rios do Estado de Nebraska (source: Bleed, 2015)

Nos primeiros anos de criação dos NRDs, as prioridades eram o controle de enchentes, obras de drenagem e a conservação dos solos. Com o aumento do uso de águas subterrâneas e da importância da agricultura com pivô central, em 1975 a jurisdição para o controle das águas subterrâneas passou para os NRDs, no âmbito da Groundwater Management and Protection Act. Na época, a diferenciação da regulamentação das águas superficiais, a cargo do estado (DNR Departamento f Natural Resources) e autonomia para gestão das águas subterrâneas pelos NRDs não causou controvérsias, o que pode ser explicado pelo desconhecimento, por parte dos formuladores de políticas públicas, da relação entre águas subterrâneas e superficiais (Blee, 2015).

A estrutura de cada NRD é definida localmente e o conselho é formado por representantes da comunidade. O direito de definir e implementar as próprias regras para regulação e uso de águas subterrâneas é garantido pela legislação estadual. A efetividade de um sistema de governança, no curto prazo, pode ser descrita através de um conjunto de características, que permitem que os atores locais obtenham resultados considerados positivos por eles mesmo (Babbit, 2015, Ostrom, 1990). Os NRDs incorporam e implementam, totalmente ou em parte, estas características, listadas a seguir.

1. Habilidade de influenciar/definir as próprias regras com a participação dos principais agentes envolvidos/afetados;
2. Existência de regras claras quanto ao uso da água e de como as regras serão implementadas;
3. Mecanismos eficientes de resolução de conflitos;
4. Relação favorável entre custos e benefícios do gerenciamento dos recursos hídricos;
5. Efetividade do sistema legal para implementação de ações (enforcement);
6. Apesar das diferenças no uso de águas, os envolvidos devem ser tratados de forma equânime;
7. Flexibilidade para buscar soluções inovadoras para novos desafios;
8. Disponibilidade de recursos financeiros suficientes para contratar pessoal e implementar programas e projetos;
9. Integração entre instituições e regulamentações relacionadas aos recursos;
10. Conhecimento sobre o sistema a ser gerenciado, refletido no conhecimento dos membros do distrito, tecnologia, sistema de monitoramento e programas educativos e de treinamento;
11. Liderança com capacidade de tomar decisões que afetam diretamente outros membros e grupos1.
12. Controle local, refletido na capacidade de implementar ações específicas para uma situação e região;
13. Existência de mecanismos efetivos de monitoramento dos recursos naturais;
14. Planejamento proativo considerando questões de longo prazo;
15. Confiança baseada em relações interpessoais as quais permitem comunicação e confiança também nas ações e iniciativas a serem implementadas.

[1] É interessante considerar que muitos DNR estão localizados em comunidade de poucos habitantes, nas quais as lideranças tem intenso contato social com os outros membros. Tomar uma decisão que restringe direitos não é trivial nestas circunstâncias.

Um exemplo de efetividade do sistema de governança local foi a implementação em 1978, somente 3 anos após a entrada em vigor da lei de regulamentação do uso de águas subterrâneas, de significativas restrições quanto ao uso de água subterrâneas pelo NRD Upper Republican. Atualmente, este sistema é bastante efetivo e cada NRD tem suas próprias regras de monitoramento e sanções quanto a qualidade e uso de águas (ver tabelas em anexo). A figura a seguir mostra os limites de monitoramento no qual os resultados devem ser relatados formalmente e os limite para intervenções válidas para o NRD Upper Big Blue.

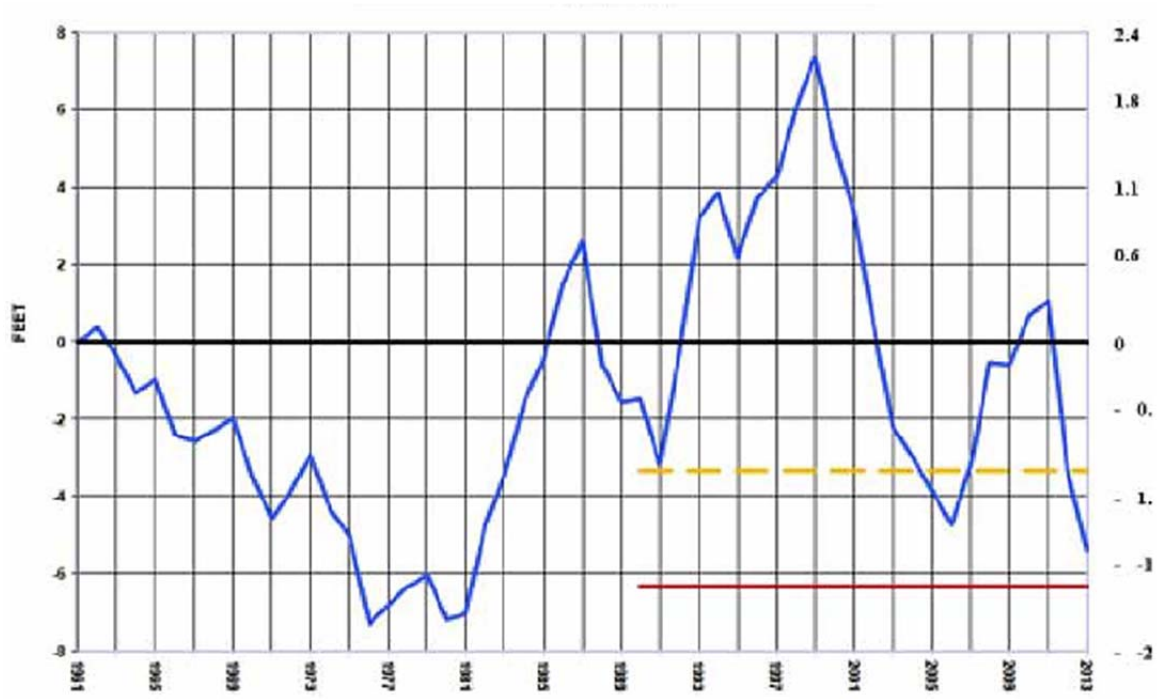


Figura 6 – Limites de divulgação/reporting (linha amarela pontilhada) e de restrição no uso (lina vermelha contínua) no NRD Upper Big Blue (source: UPBBNRD, 2017)

Além do sistema de NRD para gestão de águas subterrâneas, o estado de Nebraska implementou uma iniciativa inovadora para integrar as gestões das águas superficiais e subterrâneas, chamada Lei de Gestão Integrada de Águas Superficiais e Subterrâneas (Integrated Management Law). Muitos estados do Oeste dos EUA gerenciam as águas subterrâneas utilizando também o conceito de prior appropriation. No Nebraska, manteve-se sistemas diferenciados para águas superficiais (prior appropriation) e um sistema baseado no compartilhamento do recurso entre usuários, denominado, reasonable-use/correlative right system. A implementação prática deste sistema exige uma avaliação anual de todas as bacias hidrográficas do estado e o estabelecimento das regiões nas quais as reservas subterrâneas estão conectadas. A determinação de áreas completamente apropriadas (fully appropriated) e sobreutilizadas (overappropriated) é altamente relevante do ponto de vista prático pois determina a implementação de ações de monitoramento, restrições e inclusive moratória no uso de água e perfuração de poços. O mapa abaixo representa as áreas consideradas completamente apropriadas e sobreutilizadas.

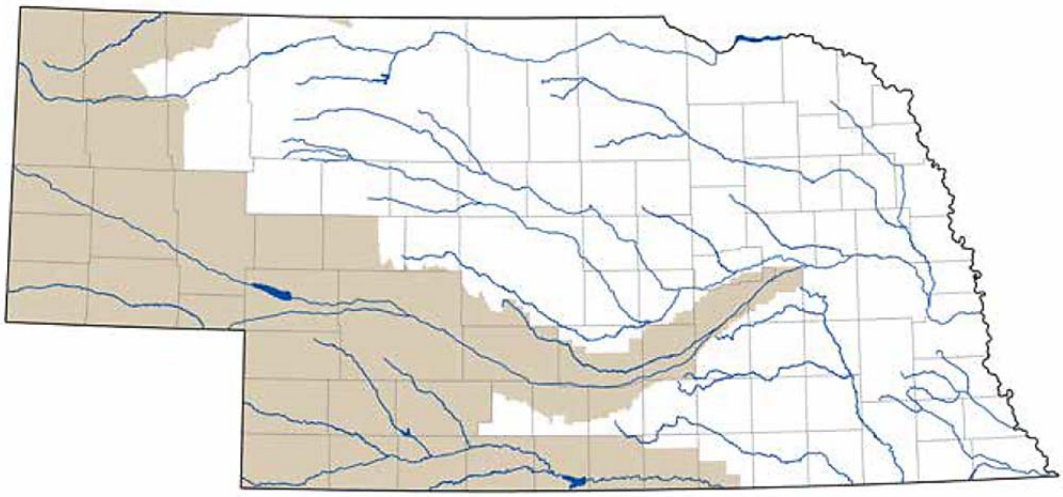


Figura 7 – Áreas considerados completamente apropriadas (fully appropriated) ou sobreutilizadas (overappropriated). (source: Bleed, 2015)

Uma bacia é considerada pelo orgão estadual (DNR) completamente apropriada se o uso atual de águas hidrologicamente conectadas reduzir a disponibilidade de águas subterrâneas ou superficiais, impossibilitando a manutenção dos benefícios esperados. Neste caso, a lei determina a imediata suspensão do uso de águas superficiais e perfuração de novos poços na bacia. Outra exigência é o desenvolvimento de um Plano de Gestão Integrada (integrated management plan), o qual deve ser concluído entre 3 e 5 anos a partir da declaração de que a bacia está completamente apropriada. Este plano deve atender diversas exigências, entre elas a obtenção de informações, cientificamente comprovadas, da disponibilidade das águas superficiais e subterrâneas. Além destas informações, o plano deve indicar de forma clara e transparente os procedimentos para monitorar o nível das reservas subterrâneas e as vazões dos cursos d'águas. Uma exigência chave é a definição clara de objetivos e metas que garantam a sustentabilidade do uso de água considerando seus vários usos alternativos e os impactos ambientais e sócio-econômicos na bacia hidrográfica.

A lei autoriza também a declaração de que uma bacia está sobreutilizada. Esta definição tem como base aspectos jurídicos. O critério básico é a bacia ser objeto de um acordo interestadual e restrições quando ao uso de água já tiverem sido imposta. No Nebraska, duas bacias enquadram-se neste critério, as bacias dos rios Republican e Platte. O conflito relacionado entre os estados do Kansas, Nebraska e Colorado ocorreu na bacia do rio Republican. No caso de ser considerada uma área sobreutilizada, é exigida a elaboração de um plano para toda a bacia.

Em relação a questão da qualidade da água, foi dada aos NRDs autonomia para a elaboração do conjunto de normas para o distrito, desde que contemplem as normas federais descritas na Lei Federal de Proteção Ambiental (Federal Environmental Protection Act). Todos os NRDs tem programas para o monitoramento, prevenção e implementação de ações para minimizar impactos de contaminação. A referência máxima para cada nível de contaminação (MCL: maximum contaminant limit) é definida por lei federal. As ações a serem implementadas são divididas em três fases, de acordo com faixas de contaminação em relação a porcentagem da MCL. O principal contaminante é o nitrato com MCL de 10 partes por milhão. A seguir é mostrado os poços que ultrapassaram o MCL para nitrato.

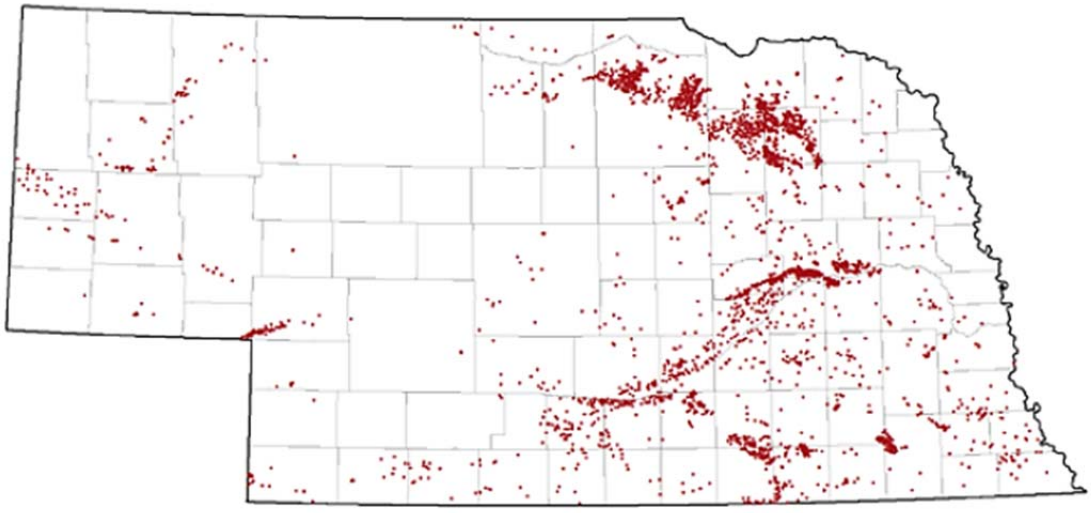
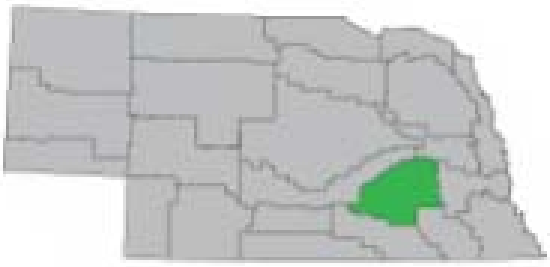


Figura 8 – Áreas nas quais os recursos hídricos superficiais e subterrâneos são considerados completamente apropriadas (fully appropriated) ou sobreutilizadas (overappropriated).

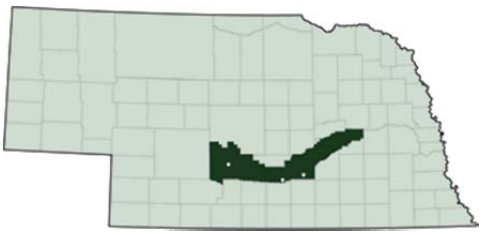
A seguir são descritas informações sobre três NRDs, que fazem parte também de uma rede de assistência técnica e transferência de tecnologia (Irmak, 2010).

NRD *UPPER BIG BLUE* (UBBNRD)



O NRD Upper Big Blue está localizado na porção norte da bacia do rio Big Blue. A precipitação anual média é de 800 mm. Há poucas cidades no distrito que tem uma população total de apenas 54 mil habitantes e área de 740 mil ha. O Rio Big Blue fornece água para irrigação, mas também provoca enchentes. As águas subterrâneas localizam-se a cerca de 35 metros de profundidade. A principal atividade econômica do distrito é a agricultura irrigada, com cerca de 520 mil ha irrigados. Esta área representa 15% de toda a área irrigada do estado do Nebraska e 2% dos EUA. A área irrigada já alcançava 300 mil ha nos anos 60 e a preocupação com os níveis das reservas subterrâneas levou a implementação de leis já na década de 70. O UBBNRD foi o segundo NRD a implementar regras para monitoramento e uso de água, após o Upper Republican NRD.

NRD *CENTRAL PLATTE* (CPNRD)



O NRD Central Platte extende-se por cerca de 330 quilómetros ao longo do rio Platte no centro de Nebraska. A precipitação média varia de 559 mm por ano no sudoeste do distrito a 660 mm na parte nordeste do distrito. A população total é de 138 mil habitantes. Há abundantes reservas de águas subterrâneas localizadas entre 15 a 180 m de profundidade. Águas subterrâneas encontram-se também sob terras arenosas cobertas com gramíneas conhecida como Sandhills, que ocupam cerca de 5 milhões de ha. A área irrigada do distrito atinge 416 mil hectares, sendo 38 mil há abastecidos por águas superficiais e 319 mil ha, abastecida por 21 mil poços subterrâneos.

Como no UBBNRD, a prioridade inicial do NRD era o controle de inundações. Nos anos 80, o CPNRD voluntariamente implementou um programa para gerenciamento de águas subterrâneas, tanto no aspecto de uso quanto qualidade da água. A preocupação com o declínio do nível de água aumentou nos anos 90. Conforme legislação federal, os cursos d'água devem atender a vazão mínimo no âmbito de lei de proteção de espécies ameaçadas (Federal Endangered Species Act). O sistema de monitoramento conta hoje com 575 poços, verificados duas vezes ao ano (primavera e outono) quanto ao nível de água e 1 vez a cada três anos para verificação do nível de nitrato.

Um amplo estudo hidrológico iniciou-se em 1998 com a participação do CPNRD, outros NRDs, o órgão estadual (NDR), usuários do setor de energia e outros envolvidos. O modelo desenvolvido neste estudo (COHYST: Cooperative Hydrology Study) é, atualmente, o instrumento básico de direcionamento de ações no NRD na gestão de recursos hídricos e naturais, como a biodiversidade.

De acordo com a Lei de Gestão Integrada, uma porção significativa do CPNRD foi considerada completamente apropriada e algumas áreas da parte oeste declaradas sobreutilizadas. Como forma de auxiliar os produtores atingidos a cumprirem as novas restrições quanto ao uso da água, o NRD permitiu a transferência de permissão. Também foi implementado um programa de compra de diretos de uso.

ARTIGO 3: GOVERNANÇA DOS RECURSOS HÍDRICOS: UM EXEMPLO DE SUCESSO NA AGRICULTURA

A origem da palavra "rivalidade" está relacionada a uma questão chave para a agricultura. Em latim "rivus" significa ribeiro, arroio e regato, e é a raiz da palavra rio em português. Com o acréscimo do sufixo "alis" surgiu a palavra "rivalis", que significava originalmente "aqueles que compartilham o uso de um rio". Ao longo da história, o uso da água tornou-se motivo de disputas e, algumas vezes, a causa de conflitos graves. Por outro lado, as regiões mais eficientes na produção de alimentos no mundo são exatamente aquelas que, além de outros fatores favoráveis, gerenciam eficientemente os diferentes interesses relacionados ao uso da água. Uma referência mundial de sucesso é o conjunto de leis e Instituições que gerenciam os recursos hídricos do estado agrícola do Nebraska nos Estados Unidos.

Os primeiros registros da irrigação no Nebraska datam de 1889. Os 3,5 mil hectares irrigados neste período transformaram-se em 3,4 milhões de hectares em 2016. Com área semelhante ao estado do Paraná, o Nebraska é hoje o estado com maior área irrigada, o 4º mais importante em termos de renda agrícola, o 2º maior produtor de milho e o 4º maior produtor de soja dos Estados Unidos. A agricultura irrigada está diretamente ligada às cadeias de produção de carne bovina e etanol de milho, que ocupam respectivamente o 1º e o 2º lugares na produção americana. A tecnologia de irrigação por pivô central, o uso de águas subterrâneas e a implementação de um sistema inovador de gestão dos recursos hídricos são os fatores chave do sucesso da agricultura no Nebraska. O primeiro poço para irrigação foi perfurado em 1926 e hoje estão registrados cerca de 100 mil poços, a grande maioria utilizada para abastecer as 55 mil unidades de pivô central espalhadas pelo estado. O pivô central foi patenteado em 1949 pelo agricultor Frank Zybach. A compra em 1954 desta patente por Robert Daugherty, da empresa Valmont, viabilizou a difusão desta tecnologia. A irrigação por pivô central, em conjunto com uso de insumos modernos e técnicas adequadas de manejo do solo, contribuiu decisivamente para a recuperação da agricultura na região das grandes planícies dos Estados Unidos, que após a crise econômica provocada pela quebra da bolsa de Nova York em 1929, sofreu os efeitos ambientais catastróficos de uma intensa erosão eólica, conhecido como dust bowl.

O estado do Nebraska está localizado em uma posição privilegiada de um imenso aquífero chamado Ogallala. Este aquífero ocupa uma área de 450 mil km2, estendendo-se de norte a sul por cerca de 1,3 mil km desde o estado da Dakota do Sul até o Texas. A intensificação da agricultura irrigada e a utilização de fertilizantes químicos e defensivos provocaram o rebaixamento da água do aqüífero a níveis críticos e o aumento da contaminação pelo uso de fertilizantes e defensivos. Como as águas superficiais e subterrâneas estão hidrologicamente conectadas, o bombeamento excessivo em algumas regiões afetou também a vazão de rios interestaduais importantes. Estes problemas, divulgados amplamente na imprensa, acirraram conflitos entre usuários e entre estados, resolvidos por uma decisão da suprema corte dos Estados Unidos que aumentou ainda mais as exigências de planejamento, monitoramento e regulação do uso da água no Nebraska.

Na mídia, e em parte da opinião pública, a agricultura tem sido apontada como a grande responsável pelos impactos ambientais negativos, e em particular, pelo agravamento da crise hídrica. Um artigo científico do ecologista Garret Hardin, publicado em 1968 na prestigiosa revista Science, disseminou a visão pessimista e fatalista do esgotamenteo dos

recursos naturais. Usuários de recursos comuns, como irrigantes que utilizam a água de um aquífero, mesmo com informações adequadas sobre o recurso e agindo de forma racional do ponto de vista econômico, acabarão sobreutilizando e, finalmente, destruindo os recursos naturais e inviabilizando as atividades econômicas de todos os usuários. Esta situação passou a ser conhecida como "tragédia dos bens comuns". A ganhadora do prêmio Nobel em Economia, Elinor Ostrom, demonstrou, através da análise de diversos exemplos reais, que o esgotamento de recursos naturais é um risco real, mas não é inevitável. Mesmo considerando a importância dos interesses econômicos individuais, é possível que usuários compartilhem recursos de forma sustentável, com benefícios a longo prazo para todos os usuários e para a sociedade. De modo geral, os sistemas de governança de recursos naturais eficientes são baseados em regras claras e constantes que levam em consideração as características locais, além de disporem de mecanismos de monitoramento efetivo. Sanções proporcionais à gravidade e à frequência do delito cometido são aplicadas de forma equânime a todos os infratores. A existência de mecanismos para solucionar conflitos entre usuários e, principalmente, o envolvimento efetivo dos usuários e grupos de interesse locais na formulação, monitoramento e aplicação de regras são também características presentes nos sistemas de governança eficientes. O sistema do Nebraska, baseado na divisão de responsabilidade entre o Governo Estadual e os Distritos de Recursos Naturais (NRD) locais, que contam com a participação intensa e efetiva dos produtores rurais, é considerado inovador. O Governo Estadual é responsável pela gestão das águas superficiais e 23 NRDs espalhados pelo estado tem autonomia para gerenciar as águas subterrâneas. Universidades, órgão de pesquisas e de extensão disponibilizam modelos e dados científicos que consideram características regionais e locais específicas e permitem o monitoramento eficiente de todos os pontos de captação de água.

Evidentemente, há grandes diferenças entre as condições do Nebraska, e de outros exemplos de sucesso e de fracasso, em relação às condições específicas do Brasil. Modelos não pode simplesmente serem copiados. Por outro lado, os resultados obtidos no Nebraska e o potencial de aumento da área irrigada no Brasil, estimado entre 29 e 61 milhões de ha, demostram a importância de um sistema de governança dos recursos hídricos que estimule investimentos estratégicos dos agricultores. A lei das águas de 1997, a criação da Agência Nacional de Águas (ANA) e dos órgãos estaduais específicos, além da implantação dos comitês de bacias hidrográficas, foram passos decisivos no desenvolvimento do sistema de governança dos recursos hídricos. Entretanto, é imprescindível aprimorar sistemas de governança regionais e locais. A inexistência de dados e informações suficientes e confiáveis é um grande gargalo na elaboração de normas e implantação de sistemas de monitoramento específicos para a grande maioria das regiões. Neste contexto, uma inciativa da Associação dos Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA) é altamente relevante. A AIBA e o Governo da Bahia viabilizaram a realização de um estudo coordenado pela Universidade Federal de Viçosa em parceria com instituições de pesquisas, como o Instituto Water for Food da Universidade de Nebraska, com o objetivo de avaliar a disponibilidade de recursos hídricos superficiais e subterrâneos na região Oeste da Bahia. Esta região, que já é uma referência na produção de alimentos no Brasil, está localizada sobre o aquífero Urucuia, o qual tem área estimada de 120 mil km2, (30% da área do aquífero Ogallala). Com a disponibilidade de mais informações científicas e os esforços das lideranças regionais e estaduais, a expectativa é que o sistema de governança dos recursos hidricos do Oeste da Bahia viabilize a expansão sustentável da agricultura irrigada, contemplando, como no Nebraska, os interesses de todos aqueles que compartilham o uso dos rios (e do aquífero) da região.

ARTIGO 4: USO SUSTENTÁVEL DE RECURSOS HÍDRICOS PARA A PRODUÇÃO DE ALIMENTOS: O EXEMPLO DO ESTADO DO NEBRASKA, EUA. USO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS

A agricultura produz alimentos suficientes para alimentar a população mundial, estimada atualmente em 7 bilhões de pessoas. Entretanto, cerca de 800 milhões de pessoas sofrem fome crônica por não terem acesso a alimentos em quantidade e qualidade suficientes (FAO, 2015). Apesar dos problemas sociais estarem longe de serem solucionados, é um compromisso moral da geração atual preservar os recursos naturais para que as próximas gerações possam atender suas necessidades. Considerando a estimativa da população mundial atingir 9 bilhões de pessoas em 2050, será necessário aumentar a produção agrícola em cerca de 60%. Neste contexto, a agricultura tem o duplo desafio de ampliar a produção de alimentos e, ao mesmo tempo, contribuir com a preservação dos recursos naturais.

por **Aziz Galvão da Silva Júnior**[1]
Everardo Mantovani[2]

A agricultura produz alimentos suficientes para alimentar a população mundial, estimada atualmente em 7 bilhões de pessoas. Entretanto, cerca de 800 milhões de pessoas sofrem fome crônica por não terem acesso a alimentos em quantidade e qualidade suficientes (FAO, 2015). Apesar dos problemas sociais estarem longe de serem solucionados, é um compromisso moral da geração atualpreservar os recursos naturais para que as próximas gerações possam atender suas necessidades. Considerando a estimativa da população mundial atingir 9 bilhões de pessoas em 2050, será necessário aumentar a produção agrícola em cerca de 60%. Neste contexto, a agricultura tem o duplo desafio de ampliar a produção de alimentos e, ao mesmo tempo, contribuir com a preservação dos recursos naturais.

A introdução de tecnologias modernas baseadas em insumos industriais, como sementes melhoradas, máquinas, defensivos e fertilizantes químicos foi imprescindível para aumentar a produção mundial de alimentos a partir dos anos 60. Entretanto, a expansão da área agrícola e o uso de produtos químicos provocaram impactos ambientais. Por este motivo, a racionalização do processo produtivo e o correto manejo dos recursos naturais, como o solo e a água, são cada vez mais importantes. A água desempenha papel chave em todos os processos biológicos, físicos e químicos na agricultura, determinando a eficiência de todos os outros insumos e influenciando grande parte dos impactos ambientais através do processo erosivo ou da emissão de efluentes para o solo e cursos d'água. O manejo correto do solo e as tecnologias modernas de irrigação garantem a disponibilização adequada de água para as plantas e aumentam significativamente a probabilidade de ganhos econômicos, além de serem instrumentos imprescindíveis para minimizar riscos inerentes à produção agrícola.

Ao contrário dos insumos industriais, a água é um bem comum, ou seja, é um recurso compartilhado por uma comunidade para o qual não existe um mercado com preços claramente definidos pela lei da oferta e da procura (demanda). Por este motivo,a gestão dos recursos hídricos é complexa e depende de características econômicas, além de fatores sociais e políticos determinados por grupos de interesse que criam e implementam regras de uso, monitoramento e sanções. Estas características regionais e específicas impedem que um modelo de gestão de recursos hídricos seja replicado integralmente. Entretanto, conhecer modelos de gestão e resultados positivos conduzidos em diferentes regiões do mundo é altamente oportuno. A eficiência de um modelo sustentável de gestão de recursos naturais só poderá ser comprovada a longo prazo, quando as futuras gerações estiverem efetivamente utilizando estes recursos para atender suas necessidades. Erros cometidos hoje podem ser irreversíveis.

A produção de alimentos no Nebraska

Os Estados Unidos, apesar de um mercado de mais de 300 milhões de habitantes, são os maiores exportadores de alimentos do mundo, com balança comercial positiva de 16,6 bilhões de dólares em 2016 (USDA, 2017). Os EUA ocupam o terceiro posto quanto à produção total de alimentos, após a China e a Índia. As produtividades alcançadas pelos agricultores americanos estão entre as mais altas do mundo em função do emprego de tecnologias modernas e uma eficiente infraestrutura. Destaca-se o uso da irrigação que ocupa uma área de 26,6 milhões de hectare e garante alta eficiência técnica e rentabilidade econômica. O Nebraska obteve em 2016 a 4ª maior receita agrícola entre os estados americanos, após a Califórnia, Iowa e Texas. Este estado ocupa a 3ª e a 5ª posição na produção de milho e soja nos EUA, contribuindo com respectivamente 43 e 8,5 milhões de toneladas destas *commodities*, ou 12,2% e 7,2% do total americano (USDA, 2017); além de ser o maior produtor de carne bovina (16% do total dos EUA) e o 2º maior produtor de etanol, com 25 usinas de processamento de milho para este biocombustível. A expressão "*golden triangle*"destaca a importância da sinergia entre as cadeias de produção de milho, etanol e carne bovina.

A introdução de tecnologias modernas baseadas em insumos industriais, como sementes melhoradas, máquinas, defensivos e fertilizantes químicos foi imprescindível para aumentar a produção mundial de alimentos a partir dos anos 60. Entretanto, a expansão da área agrícola e o uso de produtos químicos provocaram impactos ambientais. Por este motivo, a racionalização do processo produtivo e o correto manejo dos recursos naturais, como o solo e a água, são cada vez mais importantes. A água desempenha papel chave em todos os processos biológicos, físicos e químicos na agricultura, determinando a eficiência de todos os outros insumos e influenciando grande parte dos impactos ambientais através do processo erosivo ou da emissão de efluentes para o solo e cursos d'água. O manejo correto do solo e as tecnologias modernas de irrigação garantem a disponibilização adequada de água para as plantas e aumentam significativamente a probabilidade de ganhos econômicos, além de serem instrumentos imprescindíveis para minimizar riscos inerentes à produção agrícola.

Ao contrário dos insumos industriais, a água é um bem comum, ou seja, é um recurso compartilhado por uma comunidade para o qual não existe um mercado com preços claramente definidos pela lei da oferta e da procura (demanda). Por este motivo, a gestão dos recursos hídricos é complexa e depende de características econômicas, além de fatores sociais e políticos determinados por grupos de interesse que criam e implementam regras de uso, monitoramento e sanções. Estas características regionais e específicas impedem que um modelo de gestão de recursos hídricos seja replicado integralmente. Entretanto, conhecer modelos de gestão e resultados positivos conduzidos em diferentes regiões do mundo é altamente oportuno. A eficiência de um modelo sustentável de gestão de recursos naturais só poderá ser comprovada a longo prazo, quando as futuras gerações estiverem efetivamente utilizando estes recursos para atender suas necessidades. Erros cometidos hoje podem ser irreversíveis.

A Produção de Alimentos no Nebraska

Os Estados Unidos, apesar de um mercado de mais de 300 milhões de habitantes, são os maiores exportadores de alimentos do mundo, com balança comercial positiva de 16,6 bilhões de dólares em 2016 (USDA, 2017). Os EUA ocupam o terceiro posto quanto à produção total de alimentos, após a China e a Índia. As produtividades alcançadas pelos agricultores americanos estão entre as mais altas do mundo em função do emprego de tecnologias modernas e uma eficiente infraestrutura. Destaca-se o uso da irrigação que ocupa uma área de 26,6 milhões de hectare e garante alta eficiência técnica e rentabilidade econômica.

O Nebraska obteve em 2016 a 4a maior receita agrícola entre os estados americanos, após a Califórnia, Iowa e Texas. Este estado ocupa a 3º e a 5º posição na produção de milho e soja nos EUA, contribuindo com respectivamente 43 e 8,5 milhões de toneladas destas commodities, ou 12,2% e 7,2% do total americano (USDA, 2017); além de ser o maior produtor de carne bovina (16% do total dos EUA) e o 2º maior produtor de etanol, com 25 usinas de processamento de milho para este biocombustível. A expressão "golden triangle" destaca a importância da sinergia entre as cadeias de produção de milho, etanol e carne bovina.

A irrigação é a tecnologia chave para o sucesso da agricultura no Nebraska. A área irrigada de 3,5 milhões de ha é a maior entre os estados americanos, contribuindo com 13,5% do total irrigado dos EUA. Com dimensão semelhante ao Paraná (200 mil km2), a irrigação no estado equivale a cerca de 70% de toda a área irrigada do Brasil, estimada em cerca de 5,4 milhões de ha em 2015 (Bleed, 2015; Alexandratos, 2012).

Tabela 1 – Área irrigada de países selecionados

PAIS	ÁREA (milhões hectares)
1. Índia	66,3
2. China	62,9
3. EUA	26,6
...	
9. Brasil	5,4
...	
12. NEBRASKA	3,4
MUNDO	**300,0**

No Nebraska, 85% da água utilizada para a agricultura é bombeada do aquífero Ogallala por cerca de 100 mil poços. Este aquífero ocupa uma área de 450 mil km2 e estende-se por 1.300 km desde o estado de Dakota do Sul até o Texas, passando pelo Nebraska, Wyoming, Colorado, Kansas, Oklahoma e Novo México. A área ocupada pelo aquífero Ogallala nos EUA e a densidade de poços por unidade de área no Nebraska são mostrados nas figuras a seguir.

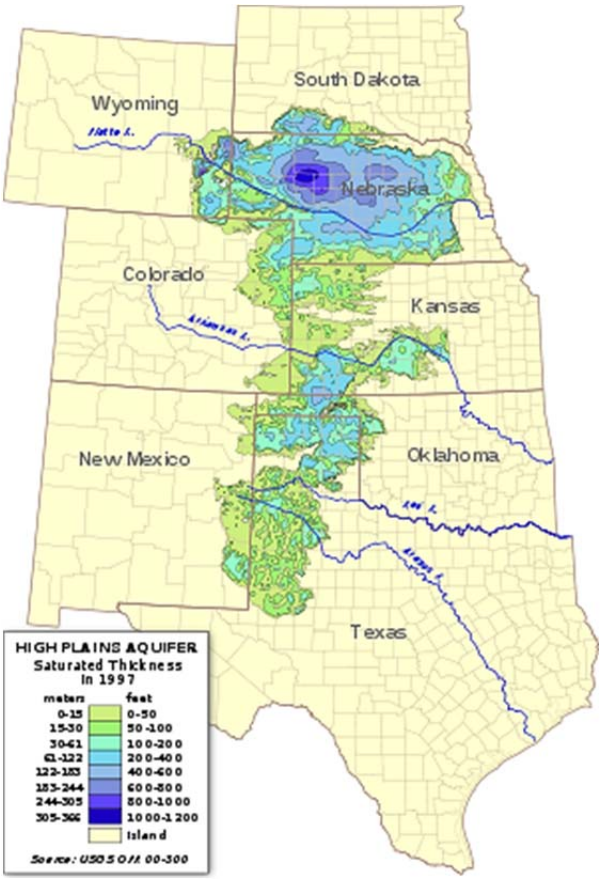


Figura 1 – Aquífero Ogallala (source: Bleed, 2015)

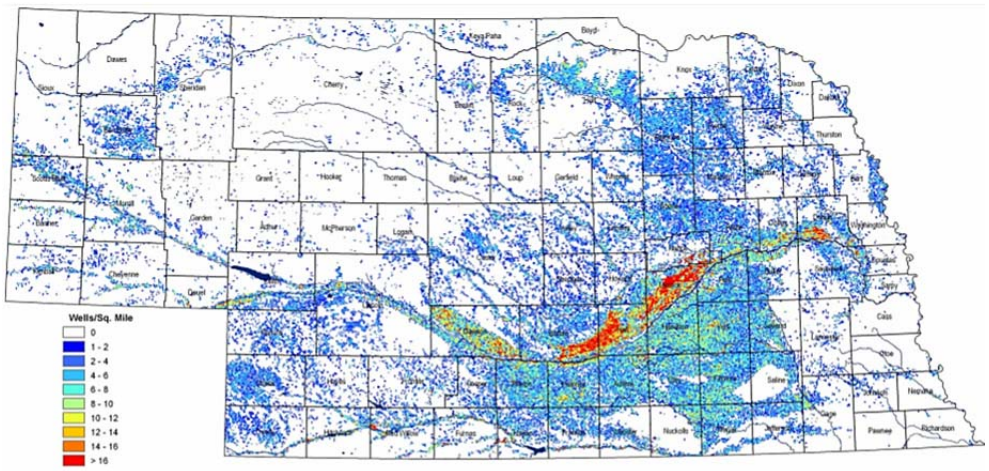


Figura 2 – Densidade de Poços por Área no Estado do Nebraska (source: Bleed, 2015)

A discussão sobre a importância do uso e da gestão dos recursos hídricos no estado do Nebraska intensificou-se após o desastre ambiental da década de 30, conhecido como "dust bowl". Práticas inadequadas de manejo do solo e uma sequência de anos com déficit hídrico provocaram tempestades de areia devido a intensa erosão eólica. Este fenômeno, agravado pela crise econômica da chamada Grande Depressão, provocou impactos sociais que devastaram a economia dos estados localizados nas planícies altas (high plains). Com a introdução de técnicas de conservação do solo e do uso da irrigação, a região se recuperou. Após a segunda guerra mundial, a expansão da utilização do pivô central com águas captadas do áqüífero Ogallala e o uso de tecnologias modernas permitiram ganhos significativos de produtividade.

Entretanto, a sobre exportação do aquífero e a contaminação das águas tornaram-se uma preocupação crescente, com repercussão nos principais meios de comunicação dos EUA (Wines, 2013). A expansão da irrigação na disponibilidade de águas subterrâneas do aquífero e também nas águas superficiais acirrou os conflitos entre usuários e entre os estados circunvizinhos, obrigando o estado do Nebraska a adotar normas mais rigorosas para o monitoramento e o uso de águas subterrâneas.

A experiência acumulada em várias décadas no uso e gestão da água, e também na resolução de conflitos, permitiu que o poder público, a sociedade e os próprios usuários criassem no Nebraska um sistema de gestão de recursos naturais inovador. Considerando a extensão da área irrigada e a importância da produção agrícola, este sistema é considerado a mais importante referência mundial na gestão de recursos hídricos para a agricultura. Neste modelo, os órgãos estaduais são responsáveis pelas gestões dos recursos superficiais e um conjunto de 23 distritos de recursos naturais autônomos (NRD Natural Resources Districts) encarregam-se de definir, monitorar e aplicar normas, taxas e eventuais penalidades quanto ao uso e qualidade da água subterrânea. Nos NRDs, a participação dos agricultores é essencial. Estes distritos têm autonomia para definir as próprias regras e também o poder e a responsabilidade de implementar restrições e aplicar sanções a nível local. O sistema de gestão é integrado com regulamentos federais para a proteção da biodiversidade e monitoramento da qualidade da água e utiliza como referência modelos científicos da interação entre águas subterrâneas e superficiais, os quais fornecem informações confiáveis para que os agentes envolvidos tomem decisões concretas. De acordo com o monitoramento constante do nível do aquífero, a direção de um NRD pode exigir desde a divulgação da informação até a restrição e proibição do uso da água para a irrigação, como ilustrado no gráfico mostrado a seguir.

O uso sustentável dos recursos hídricos é um dos fatores chave para explicar a importância da produção de alimentos e a competitividade da agricultura no estado do Nebraska. Os agricultores, com a participação de todos os usuários, estão conscientes de que a preservação dos recursos naturais, através da garantia da recarga do aquífero, manutenção dos níveis de água e controle de contaminações são imprescindíveis para que o estado continue a produzir alimentos e riquezas para a geração atual e as gerações futuras.

Desta maneira, seguindo exemplos conduzidos em outras regiões no mundo, modelos de gestão dos recursos hídricos devem, obrigatoriamente, levar em considerações características sociais, econômicas e políticas específicas, além das complexas interações hidrológicas entre águas superficiais e subterrâneas. Conhecer e analisar o exemplo do Nebraska é altamente oportuno para demonstrar que é possível implementar modelos sustentáveis de gestão dos recursos naturais para a produção de alimentos. É importante destacar que o envolvimento efetivo dos produtores rurais e da sociedade na formulação e

implementação de políticas públicas, é um fator preponderante para o sucesso do modelo conduzido no Nebraska, que busca através da gestão, solucionar os impactos ambientais e os conflitos inevitáveis entre usuários, além de reforçar a necessidade de obter informações científicas seguras para a gestão efetiva dos recursos hídricos.

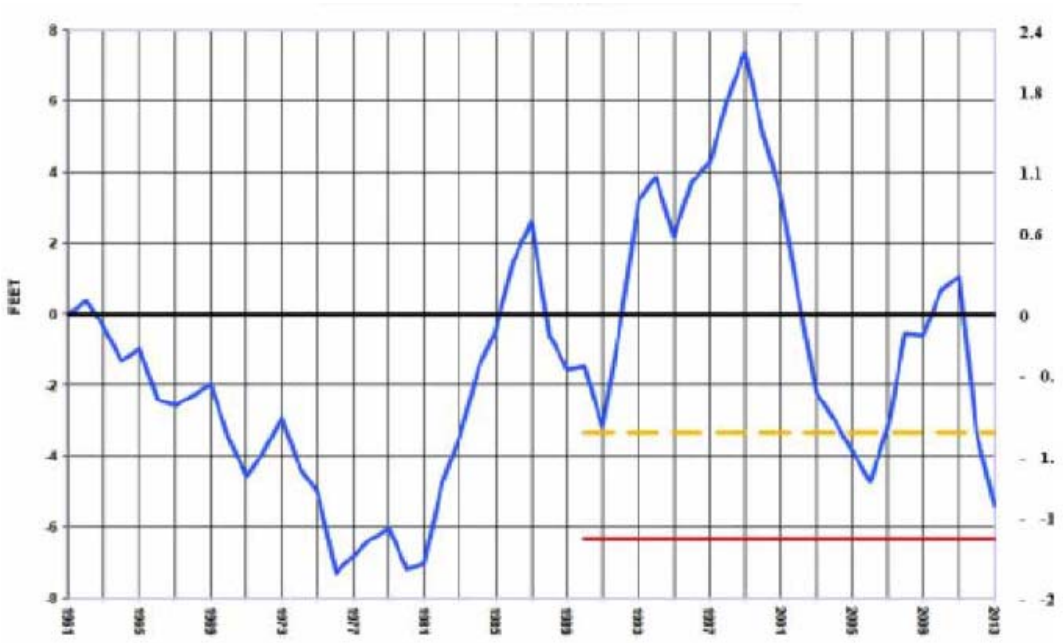


Figura 3 – Níveis de exigência de divulgação (linha amarela pontilhada) e de restrição de uso (linha vermelha contínua) no NRD Upper Big Blue baseado no nível do aquífero (linha azul) (fonte: Bleed, 2015)

ARTIGO 5: IMPORTÂNCIA E POTENCIAL DA IRRIGAÇÃO NA AGRICULTURA FAMILIAR

SUSTENTABILIDADE

Importância e potencial da irrigação na agricultura familiar

por AZIZ GALVÃO DA SILVA JÚNIOR[1], EVERARDO CHARTUNI MANTOVANI[2], GLAUCIANA DE ARAÚJO[3], JOSÉ CISINO LOPES

O aumento da produção de alimentos, a preservação dos recursos naturais e a diminuição da pobreza são desafios globais relacionados diretamente à agricultura. Neste contexto, a adoção de tecnologias adequadas é imprescindível para aumentar a produtividade, otimizar o uso dos recursos produtivos e gerar receitas suficientes para que todas as famílias no meio rural tenham condições de vida digna. Nesta conjuntura, a irrigação é uma tecnologia chave. Apesar de ocupar somente 20% da área agrícola mundial, as áreas irrigadas são responsáveis por cerca de 40% do volume e 50% do valor econômico da produção. De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), 300 milhões de hectares são irrigados no mundo. Entretanto, a área colhida anualmente equivale a 360 milhões de ha, ou seja, como a irrigação permite mais de uma safra por ano, a intensidade média de cultivo é de 130%. Em regiões com alta tecnologia, este valor pode atingir valores próximos a 300%. Na Ásia, que representa 80% da área mundial irrigada, a intensidade de cultivo ultrapassa 170%. Neste continente, a irrigação é realizada basicamente por agricultores familiares. Sem a irrigação, paises como a China e a Índia não seriam capazes de atender a demanda alimentar básica de mais de 1/3 da população mundial e nem gerar renda para milhões de familias que vivem no meio rural. Para atender a demanda global nos próximos 25 anos, a FAO estima que 80% dos alimentos deverão ter origem em áreas irrigadas, pois esta tecnologia é a mais adequada para aumentar a produção sem aumentar a pressão por novas áreas para a agricultura.

O meio rural, apesar de produzir alimentos suficientes para alimentar a população mundial atual, concentra os maiores níveis de pobreza e fome. Das 570 milhões de propriedades rurais existentes no mundo, 90% são propriedades de pequena escala, geralmente menores que 2 ha e nas quais a gestão e a força de trabalho são familiares. Em termos mundiais, estas propriedades rurais geram 80% do valor da produção agrícola e têm papel central na segurança alimentar da geração atual e das gerações futuras. Entretanto, em algumas regiões, principalmente em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, muitos agricultores familiares não são capazes de produzir alimentos e gerar renda suficiente para alimentar a própria família. Nestas regiões, a pobreza rural é resultado de um conjunto de fatores históricos, sócio-culturais, geográficos, econômicos e climáticos específicos. Além de inaceitável moralmente, a pobreza rural é a principal causa da migração para centros urbanos, provocando novos problemas. Portanto, ações efetivas para o desenvolvimento da agricultura familiar são urgentes.

No Brasil, cerca de 84% das 5,3 milhões de propriedades rurais são classificadas como propriedades rurais familiares, seguindo os critérios do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf). Os critérios do Pronaf e da FAO para classificação de agricultura de pequena escala e familiar não são idênticos, mas os desafios e também o potencial de tecnologias adequadas, como a irrigação, são semelhantes em todo o mundo. A agricultura familiar tem importância chave para o agronegócio brasileiro, produzindo alimentos e gerando renda. Conforme dados do IBGE, a agricultura familiar contribui com 9,6% do PIB nacional. Diversas políticas públicas, como crédito e seguro rural, assistência técnica, infraestrutura, programas de compra, agregação de valor e acesso a mercado tem sido implementadas nos últimos anos, com resultados positivos. Entretanto, a rentabilidade média da agricultura familiar e persistência de bolsões de pobreza rural reforçam a urgência de ampliar e aperfeiçoar os instrumentos de desenvolvimento rural. Deixar de aproveitar o potencial de milhões de produtores rurais é também uma decisão inacitável do ponto de vista social e econômico. Neste contexto, a tecnologia de irrigação tem um grande potencial na agricultura familiar. A produtividade da terra é crítica em propriedades nas quais este fator é escasso. A diminuição do risco de quebra de produção proporcionado pela irrigação

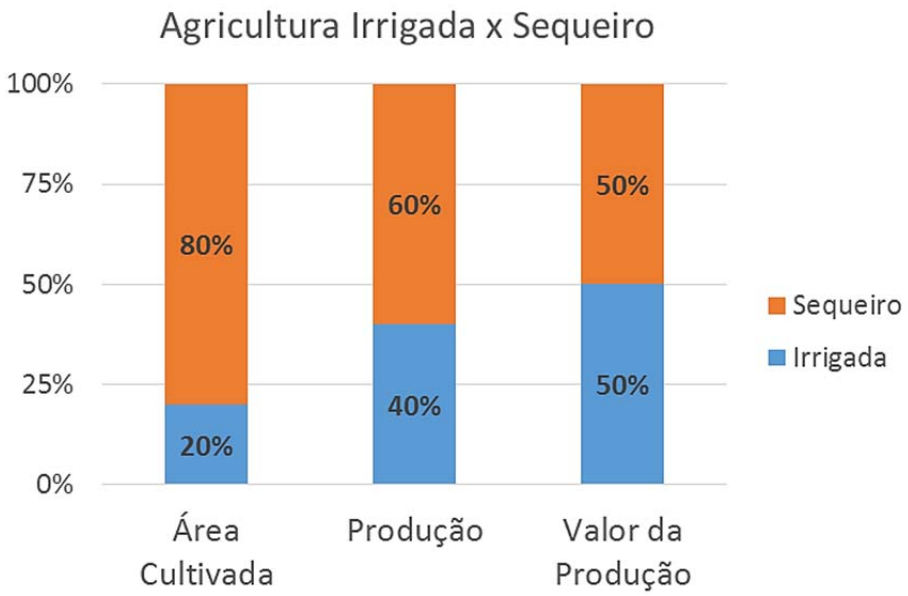


Figura 1 – Agricultura Irrigada e Sequeiro

O meio rural, apesar de produzir alimentos suficientes para alimentar a população mundial atual, concentra os maiores níveis de pobreza e fome. Das 570 milhões de propriedades rurais existentes no mundo, 90% são propriedades de pequena escala, geralmente menores que 2 ha e nas quais a gestão e a força de trabalho são familiares. Em termos mundiais, estas propriedades rurais geram 80% do valor da produção agrícola e têm papel central na segurança alimentar da geração atual e das gerações futuras. Entretanto, em algumas regiões, principalmente em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, muitos agricultores familiares não são capazes de produzir alimentos e gerar renda suficiente para alimentar a própria família. Nestas regiões, a pobreza rural é resultado de um conjunto de fatores históricos, sócio-culturais, geográficos, econômicos e climáticos específicos. Além de inaceitável moralmente, a pobreza rural é a principal causa da migração para centros urbanos, provocando novos problemas. Portanto, ações efetivas para o desenvolvimento da agricultura familiar são urgentes.

No Brasil, cerca de 84% das 5,3 milhões de propriedades rurais são classificadas como propriedades rurais familiares, seguindo os critérios do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF). Os critérios do PRONAF e da FAO para classificação de agricultura de pequena escala e familiar não são idênticos, mas os desafios e também o potencial de tecnologias adequadas, como a irrigação, são semelhantes em todo o mundo. A agricultura familiar tem importância chave para o agronegócio brasileiro, produzindo alimentos e gerando renda. Conforme dados do IBGE, a agricultura familiar contribui com 9,6% do PIB nacional. Diversas políticas públicas, como crédito e seguro rural, assistência técnica, infraestrutura, programas de compra, agregação de valor e acesso a mercado tem sido implementadas nos últimos anos, com resultados positivos. Entretanto, a rentabilidade média da agricultura familiar e persistência de bolsões de pobreza rural reforçam a urgência de ampliar e aperfeiçoar os instrumentos de desenvolvimento rural. Deixar de aproveitar o potencial de milhões de produtores rurais é também uma decisão inaceitável do ponto de vista social e econômico. Neste contexto, a tecnologia de irrigação tem um grande potencial na agricultura familiar. A produtividade da terra é crítica em propriedades nas quais este fator é

escasso. A diminuição do risco de quebra de produção proporcionado pela irrigação é ainda mais importante para produtores com baixa capacidade financeira. Outro aspectos altamente relevante é que a irrigação viabiliza o oferecimento de produtos de melhor qualidade e com maior regularidade, o que é essencial para acessar mercados cada vez mais exigentes.

A área irrigada no Brasil é de aproximadamente 7 milhões de ha, conforme dados da Agência Nacional de Águas (ANA) publicados recentemente no relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil 2017. Estudos da FAO e da Secretaria Nacional de Irrigação (SENIR) estimam o potencial de irrigação no Brasil entre 30 e 61 milhões de ha. A estimativa mais conservadora representará aumento de cerca de 10% da área irrigada no mundo, o que reforça a relevância do Brasil na solução do desafio global de aumento da produção de alimentos. As culturas do arroz e cana-de-açucar destacam-se com, respectivamente, 25% e 20% da área total irrigada do país. Outros cultivos, como soja, milho, feijão e fruteiras representam o restante da área. Em 25% da área utiliza-se o sistema de inundação, 22% pivô central e 37% outros sistemas como gotejamento, microaspersão, sulcos e superfície. Há diversos polos de concentração de irrigação no Brasil, como por exemplo, o polo de arroz inundado no Rio Grande do Sul, áreas de pivô central em São Paulo com cana-de-açucar, áreas também sob pivô central no Cerrado com grãos, algodão e café e fruticultura no vale do Rio São Francisco. Não há dados consolidados sobre a participação da agricultura familiar na área total irrigada, mas esta participação não chega a 5%.

O Oeste da Bahia, com área irrigada de 150 mil ha, é um exemplo concreto da importância e impacto socioeconômico da irrigação na produção de grãos, fibras, frutas e café, especialmente na agricultura empresarial. Entretanto, a região tem também exemplos relevantes de produção na agricultura familiar. A região abriga 2 dos 7 polos de desenvolvimento da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), os polos de Formoso/Correntina e de Barreiras. O polo de Barreiras é formado pelos perímetros irrigados de São Desidério/Barreiras Sul, Riacho Grande/Nupeba e Barreiras Norte com área total irrigável de 7.700 ha. O projeto Brejos da Barra, em fase de estudos, adicionará 4.300 ha a este polo. A principal fonte hídrica dos projetos é o Rio Grande. A fruticultura é a principal atividade agrícola nos perímetros, com plantios de banana, côco verde, manga e limão. A produção de feijão e milho, bem como piscicultura, pastagem, olericultura são também relevantes e a cacauicultura desponta como uma promissa cultura na região. A tabela abaixo, obtida a partir de consulta ao site da CODEVASF, resume as principais informações sobre o Polo de Barreiras.

PERÍMETROS	ÁREA (ha) IRRIGÁVEL	ÁREA (ha) OCUPADA	LOTES FAM.	LOTES EMPR.	VBP (milhões R$)	EMPREGOS (total)	PRODUÇÃO (toneladas)	PRODUTOS PRINCIPAIS (% VBP)
Barreiras Norte	1.652	1.401	110	45	14.400	2.497	14.000	banana (78%), mamão (11%), pastagem (4%)
Nupeba /Riacho Grande	4.330	4.171	174	70	22.000	3.902	26.169	banana (81%), mamão (6%), abóbora (5%)
São Desidério /Barreiras Sul	1.718	1.718	343		4.500	21.925	10.116	milho verde (12%), feijão (12%), banana (10%)
TOTAL	**7.700**	**7.290**	**627**	**115**	**40.900**	**28.324**	**50.285**	

A Bahia é o estado brasileiro com maior número de agricultores familiares. As 647 mil propriedades representam 15,3% do total do Brasil e 32% do Nordeste, contribuindo com

10,6% do PIB do estado e 81% do emprego no setor agropecuário. Na Bahia, 91% da produção de mandioca, 83% do feijão, 52% do leite e 44% do milho tem origem na agricultura familiar. O Governo do Estado da Bahia, através principalmente da Secretaria de Desenvolvimento Rural (SDR), tem implementado diversas políticas públicas no âmbito do programa "Bahia mais Forte". Uma destas iniciativas é o projeto "Bahia Produtiva", implementado pelo Companhia de Desenvolvimento e Ação Regional de Desenvolvimento Rural Sustentável (CAR). O projeto conta com recursos do Banco Mundial e financia projetos de inclusão produtiva, acesso a mercados, ações socioambientais e abastecimento de água e melhoria das condições sanitárias das familias rurais.

Apesar do potencial, e necessidade do aumento da irrigação no Brasil, novos investimentos enfrentam desafios como infraestrutura logística, financiamento, insegurança jurídica, insegurança hídrica e disponibilidade de mão de obra capacitada. Na região oeste da Bahia, apesar da abundância de recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, a expansão da área irrigada na agricultura empresarial depende de estudos conclusivos sobre a real disponibilidade hídrica, considerando o uso atual para os múltiplos usos. Adicionalmente, algumas microrregiões agrícolas com alta potencialidade para a implementação de irrigação limitam-se a agricultura de sequeiro, principalmente devido à falta de energia elétrica. Na agricultura familiar, além dos desafios comuns a todos as propriedades rurais independente da escala de produção, investimentos em irrigação devem considerar, com ainda mais atenção, as condições básicas para aumentar a produtividade e rentabilidade de propriedades rurais como: i) tecnologias adequadas, ii) assistência técnica, iii) acesso a mercados, iv) financiamento e v) ambiente institucional e social adequado. É imprescindível lembrar que qualquer mudança depende, em última instância, das decisões dos produtores rurais, as quais são determinadas pelos objetivos de todos os membros da familia rural e influenciada pela rede social na qual as famílias estão inseridas.

Figura 2 – Condições Básicas para a Eficiência Técnica e Económica na Agricultura Familiar

A agricultura familiar no Brasil, e em especialmente o Oeste da Bahia, tem grande potencial de ampliação da oferta de alimentos e geração de renda através da expansão da área irrigada. A produção e rentabilidade dos agricultores dos distritos de irrigação na região podem ser potencializadas por projetos que viabilizem o acesso estruturado a novos mercados

em conjunto com outras iniciativas. Projetos de compartilhamento de pivô central implementados em outros países, em especial na África, demonstram a possibilidade de agricultores familiares aproveitarem de forma coletiva os benefícios da eficiência econômica, hídrica e operacional deste sistema de irrigação. Sistemas compartilhados adicionam novos desafios técnicos e organizacionais, mas são alternativas muito interessantes para grupos de produtores organizados e assentamentos de reforma agrárias. Os desafios certamente são complexos. Entretanto, os exemplos de sucesso de agricultores no Oeste da Bahia, empresariais e familiares, além do ambiente institucional favorável criado pelas iniciativas do Governo da Bahia e a interação, cada vez maior, entre lideranças rurais, sociedade civil e instituições de ensino de pesquisa indicam que propor e implementar projetos de irrigação na agricultura familiar no Oeste da Bahia é altamente oportuno.

ARTIGO 6: SISTEMAS DE INFORMAÇÃO PARA GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RECURSOS HÍDRICOS NA AGRICULTURA: O EXEMPLO DO ESTADO DE NEBRASKA, USA

A disponibilidade de dados e informações confiáveis é imprescindível para o sucesso de sistemas de gestão sustentável na agricultura. O modelo de governança dos recursos hídricos no Nebraska é a principal referência mundial quando se considera a área irrigada (3,5 milhões de ha), a importância socioeconômica da agricultura deste estado americano e, principalmente, a inovação e eficiência na gestão de águas superficiais e subterrâneas. O governo estadual do Nebraska é o principal responsável pela gestão do uso e da qualidade das águas superficiais e distritos locais, os chamados NRDs (*Natural Resource Districts*) gerenciam o uso de águas subterrâneas bombeadas do aqüifero Ogallala por cerca de 100 mil poços. Os produtores rurais participam ativamente dos NRDs, os quais têm autonomia para elaborar leis e implementar sistemas de monitoramento e controle. Sistemas de informação, como a plataforma INSIGHT do governo estadual e os sistemas dos NRDs utilizam uma extensa rede de coleta de dados para alimentar modelos científicos, os quais geram informações confiáveis para a tomada de decisão nos órgãos públicos, nos NRDs e nas propriedades rurais. Sistema de governança dos recursos hídricos devem, necessariamente, considerar especificidades locais e por este motivo não podem ser copiados. Entretanto, conhecer e analisar experiências de sucesso é altamente oportuno, especialmente para países como o Brasil, que com potencial de irrigar entre 29 e 61 milhões de hectares, tem somente 5,4 milhões de hectares irrigados. Concretizar este potencial depende de condições econômicas, políticas, sociais e principalmente, da implantação de sistemas de governança de recursos hídricos que, tendo como referência informações confiáveis, permitam o uso racional de águas superficiais e subterrâneas e subsidiem o diálogo entre grupos de interesse na solução de conflitos.

Introdução

Os Estados Unidos são o terceiro maior produtor de alimentos do mundo, após a China e a Índia. A disponibilidade de tecnologia moderna, excelente infraestrutura, recursos humanos capacitados, extensa rede de pesquisa e extensão, além de suficientes recursos financeiros permite que os produtores americanos alcancem altos níveis de produtividade e rentabilidade. Além de abastecer o mercado interno com as principais commodities agrícolas, a agricultura americana gerou superávit de 16,6 bilhões na balança comercial do setor em 2016 (USDA, 2017). A irrigação tem papel de destaque, contribuindo com aproximadamente metade do valor total da produção, apesar de ocupar somente 28% da área cultivada.

O Nebraska tem a maior área irrigada entre os estados americanos, com aproximadamente 3,5 milhões de ha, ou 13,5% da área total irrigada de 26,6 milhões de ha. Com dimensão semelhante ao estado do Paraná (200 mil km^2), a irrigação neste estado equivale a 70% de toda a área irrigada do Brasil, estimada em cerca de 5,4 milhões de ha. A aplicação de tecnologias adequadas e o uso dos recursos hídricos permitiu ao Nebraska obter a quarta maior receita agrícola dos EUA em 2016 e ocupar a 3º e a 5º posição na produção de milho e soja, contribuindo com, respectivamente 12,2% e 7,2% para a produção total

americana (USDA, 2017). O Estado é também o maior produtor de carne bovina (16% do total dos EUA) e o 2º maior produtor de etanol. A expressão "*golden triangle*" destaca a importância da sinergia entre a produção irrigada de grãos e as cadeias de biocombustível e de carne bovina (NEBRASKA, 2017a).

No Nebraska, 85% da agricultura irrigada utiliza a tecnologia de pivô central com água bombeada do aquífero Ogallala por cerca de 100 mil poços. O aquífero ocupa 450 mil km2 e estende-se por cerca de 1.300 km desde o estado de Dakota do Sul, passando pelo Nebraska, Wyoming, Colorado, Kansas, Oklahoma, Novo México até o Texas (Bleed, 2015). Cerca de 95% da água retirada do aquífero é utilizada para irrigação (McGuire 2017). A área ocupada pelo aquífero Ogallala é mostrada na figura a seguir.

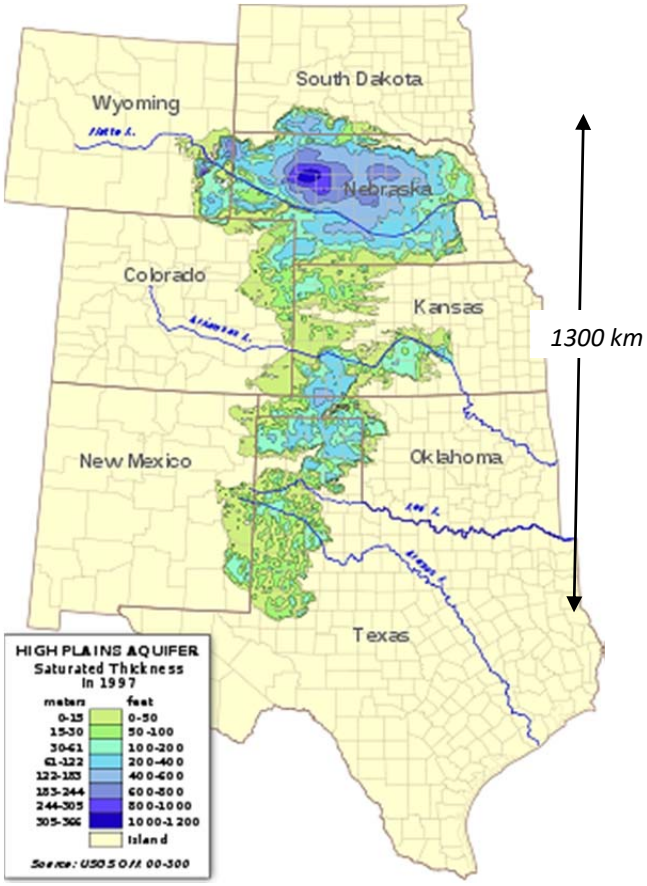


Figura 1 - Extensão do Aqüífero Ogallala e sua Espessura Saturada.
(Fonte: Bleed, 2015)

A partir da década de 70, a expansão do uso de pivô central e o aumento do número de poços de bombeamento de águas subterrâneas acirraram os conflitos pelo uso de água entre usuários de águas superficiais e agricultores de outros estados. Estes conflitos têm sido divulgados por meios de comunicação de grande impacto, como o Jornal The New York Times (Wine, 2013) e a Revista National Geographic (Parker, 2017). Em 1998, o estado do Kansas processou os estados do Nebraska e do Colorado por descumprirem o acordo de uso de recursos hídricos na bacia do rio Republican assinado em 1943. Em 2002, uma comissão nomeada pela suprema corte dos Estados Unidos confirmou o impacto da sobre-exploração de águas subterrâneas na disponibilidade de águas superficiais (Kuwayama, 2013; Palazzo, 2014,

McGuire, 2017). O estado do Nebraska foi obrigado a implementar um plano integrado de uso de águas e aperfeiçoar o sistema de monitoramento da disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos. Esta exigência, aliada à importância da agricultura irrigada para a economia do estado, levaram ao desenvolvimento de um sistema inovador de gestão dos recursos hídricos, o qual permite compatibilizar a produção agrícola com o uso sustentável da água para a agricultura, indústria, consumo animal e humano, além de contribuir para preservação da diversidade biológica e recreação.

Modelos de gestão dos recursos hídricos devem, necessariamente, levar em consideração aspectos específicos da geologia, hidrologia, clima e solo, e também aspectos sociais, econômicos e políticos. Apesar de um modelo não poder ser replicado, analisar modelos de sucesso é altamente relevante. No Nebraska, o envolvimento de forma estruturada dos principais grupos de interesse e usuários, aliado à existência e disponibilização adequadas de informações cientificamente fundamentadas são considerados os fatores chave para a eficácia do sistema de gestão dos recursos hídricos neste estado.

Gestão dos Recursos Hídricos no Nebraska

O sucesso de um modelo de governança dos recursos naturais, e dos recursos hídricos em particular, é definido pela capacidade de garantir que tanto a geração atual quanto as gerações futuras atendam suas necessidades. Os recursos hídricos são considerados bens de uso comum, ou common pool resource em inglês. O acesso aos bens comuns é de difícil controle e o uso por um indivíduo, ou grupo, diminui a disponibilidade para todos os outros. O ecologista Garrett Hardin, em um artigo publicado na revista Science em 1968, chamou a atenção para situação na qual os usuários, agindo de forma racional e de acordo com seus próprios interesses, levam ao esgotamento dos recursos comuns. Esta situação passou a ser conhecida como a "tragédia dos bens comuns", ou como é conhecido na literatura internacional, the tragedy of the commons. Esta visão pessimista baseia-se no pressuposto de que o comportamento dos indivíduos é egoísta, focado em ganhos de curto prazo e não influenciado por possíveis sanções sociais. Outros pesquisadores, em especial a ganhadora do prêmio Nobel de economia em 2009 Elinor Ostrom, mostraram que a tragédia dos bens comuns é real, mas não necessariamente inevitável. As relações sociais, através de mecanismos como a reputação, as políticas públicas e a atuação dos governos federal e estadual em conjunto com grupos locais desempenham papel chave nos sistemas eficazes de governança de bens comuns. (Ostrom, 1990, Ostrom et al., 1999; Ostrom, 2009, Hoffman, 2015).

A utilização de águas subterrâneas para irrigação torna a gestão dos recursos hídricos ainda mais complexa pelos seguintes motivos: i) reservas de águas subterrâneas são difíceis de observar e mensurar; ii) águas superficiais e subterrâneas estão, normalmente, hidrologicamente conectadas e esta relação é complexa e muitas vezes de difícil verificação; iii) a movimentação e o impacto do uso das águas subterrâneas é bastante lento, ao contrário de águas superficiais no qual o impacto de contaminação, por exemplo, pode ser percebido dentro de alguns dias ou poucas semanas; iv) o impacto do uso de água é de longo prazo, ou seja, mesmo se o bombeamento de um poço for interrompido, o efeito esperado pode demorar anos para ser percebido e v) a análise científica de águas subterrâneas só é viável com o uso de modelos complexos e uso de estimativas (Hoffman, 2015).

Para manter a competitividade da agricultura e atender às exigências dos diversos grupos de interesse, foi implantado no Nebraska um sistema altamente eficiente envolvendo

diversas organizações do Governo Estadual, Governo Federal, organizações da sociedade civil, centros de pesquisa e os usuários finais. A interação e as funções de cada uma destas organizações são determinadas pelo aspecto a ser considerado (quantidade ou qualidade da água) e pela localização do recurso hídrico (água superficial ou subterrânea).

O sistema federativo nos EUA garante ampla autonomia aos Estados para definição de leis sobre a posse e uso de água. As principais leis federais, aplicadas em todos os estados, referem-se às diretivas para qualidade da água, como o clean water act de 1972 e a proteção de espécies ameaçadas de extinção, como o endangered species act de 1973. O detalhamento das normas e leis, o monitoramento, a implementação da lei e aplicação de sanções são definidos de forma autônoma por cada estado.

O Governo do Nebraska é o principal responsável pelo gerenciamento das águas superficiais, tanto em relação à quantidade, quando em relação à qualidade da água. Os principais órgãos estaduais envolvidos, representados pelas siglas do nome em inglês são: i) Departamento de Recursos Naturais (DNR Department of Natural Resources); ii) Departamento de Agricultura (AG Department of Agriculture); iii) Departamento de Saúde e Serviços Humanos (HHS Department of Health and Human Services); iv) Departamento de Qualidade Ambiental (DEQ Department of Environmental Quality) e v) Comissão de Caça e Parques (GPC Game and Park Comission). Estes órgãos regulam e monitoram o uso, concedem e anulam permissões para utilização de águas superficiais e tem a função de aplicar leis federais, criar e implementar leis estaduais relacionadas à qualidade da água para os usos agrícola, industrial e consumo humano, bem como regular o uso de águas superficiais para a recreação (NEBRASKA, 2017a). O principal controle das águas subterrâneas, que é fonte de abastecimento principal para a agricultura do estado, é realizado pelos Distritos de Recursos Naturais (NRD Natural Resource Districts). Os NRDs também contribuem para o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, conforme apresentado na figura a seguir.

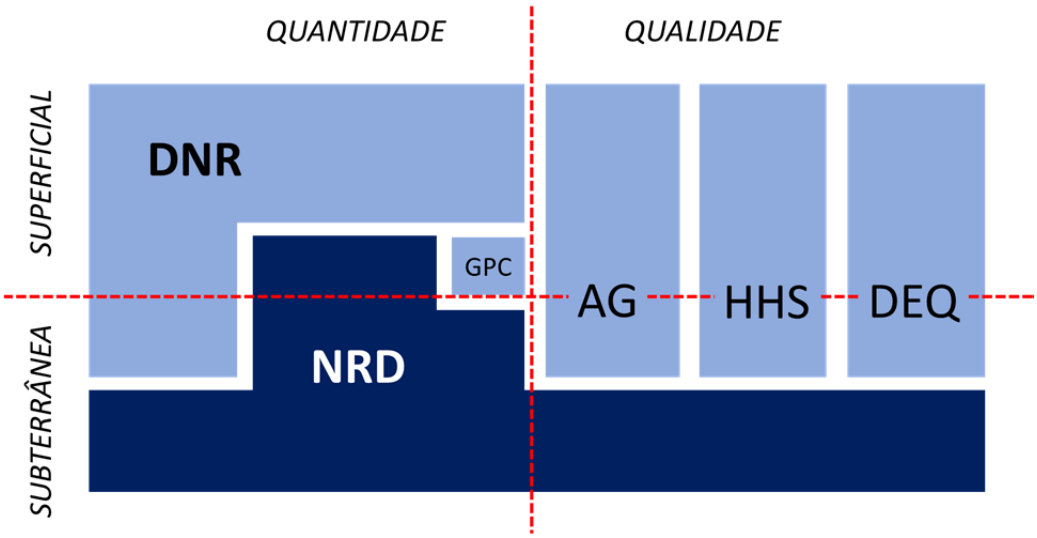


Figura 2 - Sistema de Governança de Recursos Hídricos do Nebraska.
(Fonte: NEBRASKA, 2017a)

A forma de organização e a atuação dos NRDs são apontadas como a inovação responsável pela eficiência do sistema de gestão de recursos hídricos no Nebraska. Os NRDs surgiram em 1972 a partir da fusão de distritos locais (local districts) e são formados pelos

diversos grupos de interesse e usuários locais. Os 23 NRDs definem e implementam normas e sanções relacionadas ao uso de águas subterrâneas discutidas amplamente e de forma transparente em audiências públicas (Bleed, 2015). As fronteiras dos distritos são definidas pela hidrologia e a gestão dos recursos hídricos leva em consideração características específicas do solo, geologia, clima, vegetal, produção agrícola e uso industrial e urbano. A distribuição dos NRDs é mostrada na figura a seguir.

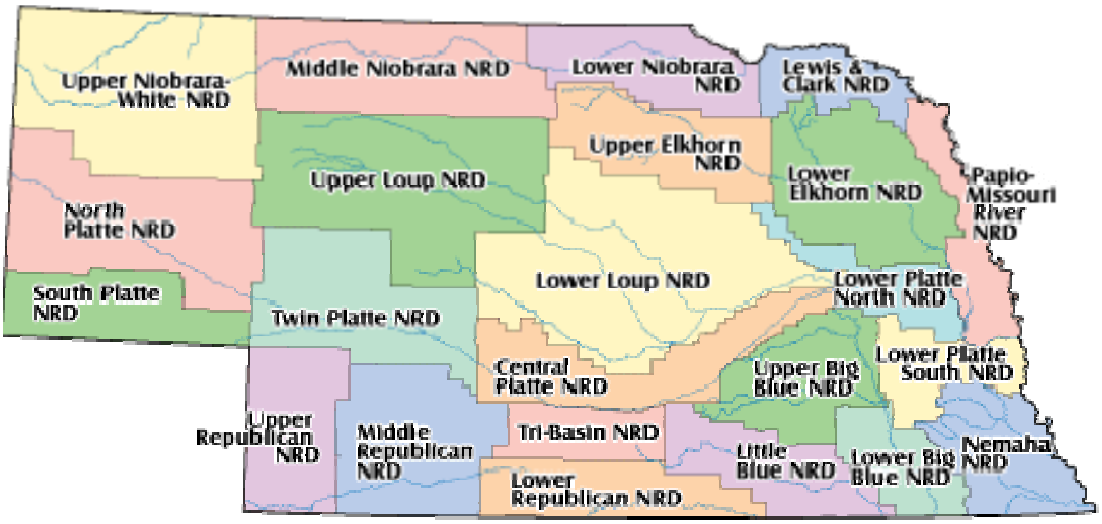


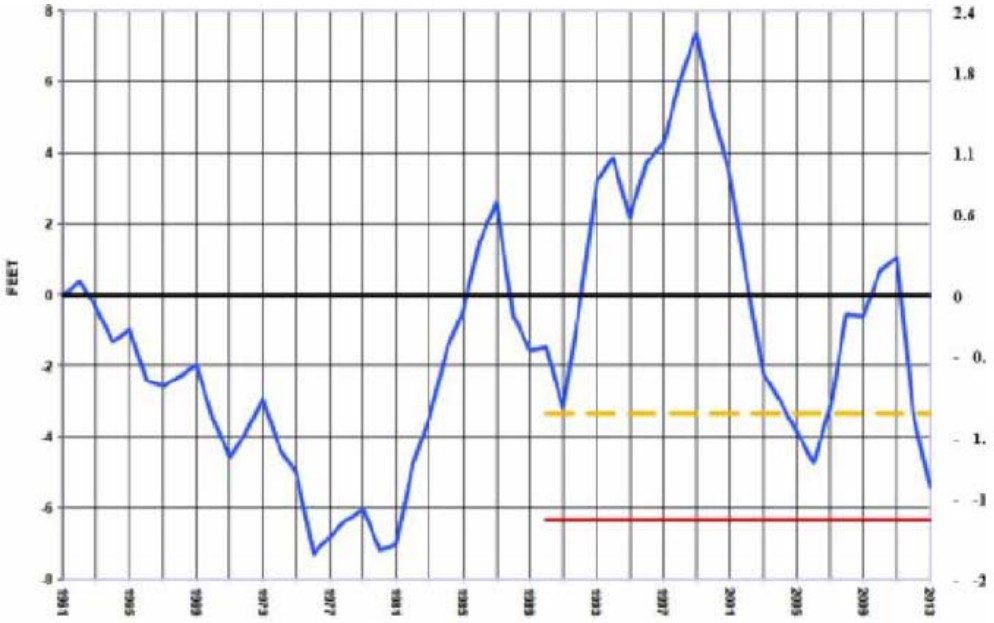
Figura 3 – Distritos de Recursos Naturais (NRDs) do Estado de Nebraska.
(Fonte: Bleed, 2015).

Apesar da complexidade técnica, o sistema tem funcionado de forma bastante eficiente no monitoramento e controle do uso de água. O serviço de Extensão Rural da Universidade de Nebraska desempenha papel essencial na transferência de tecnologia gerada nos centros de pesquisa, na assistência técnica, na educação ambiental e no apoio a projetos sociais (Irmak, 2010). Em comunidades menores, como nas cidades agrícolas pouco povoadas do Nebraska, o desafio de gestão do sistema é ainda maior pois quem impõe restrições e aplica multas aos agricultores são também agricultores que mantêm intenso contato social entre si. Um exemplo da efetividade e transparência do sistema é representado pelo sistema de controle e restrições do uso de água utilizado no NRD Upper Republican. A figura a seguir mostra os limites de monitoramento quando os resultados devem ser relatados formalmente (nível de alerta) e quando o uso da água sofrerá restrições. Todos os outros NRDs dispõem de sistemas de monitoramento semelhantes, os quais são disponibilizados para consulta pública.

Finalmente, é importante destacar que, além do envolvimento dos principais usuários, há uma intensa e sistemática interação entre os diversos órgãos envolvidos. Após a decisão da Corte dos USA contra o Nebraska, foi criada a Lei de Gestão Integrada de Águas Superficiais e Subterrâneas (*Integrated Management Law*). Esta lei exige que os NRDs que tenham áreas com recursos hídricos considerados completamente utilizados (fully appropriated) ou sobreutilizados realizam, em conjunto com os órgãos do Governo do Estado, um planejamento integrado do uso das águas superficiais e subterrâneas para toda a bacia hidrográfica.

Todas as organizações e grupos de interesse envolvidos e o próprio sistema de governança dependem de informações cientificamente fundamentadas, disponibilizadas e

sintetizadas de forma adequada para que decisões sejam implementadas. Sistemas de informações são imprescindíveis.



O

Figura 4 – Limites de divulgação obrigatória (linha amarela pontilhada) e de restrição no uso (linha vermelha contínua) no NRD Upper Big Blue.

Fonte: Bleed, 2015.

Sistema de Informação

A dificuldade de monitoramento dos recursos hídricos, especialmente quando há utilização de águas subterrâneas, exige modelos hidrogeológicos complexos. Nos EUA, e em especial no Nebraska, centros de pesquisa de alto nível como o Water Center e o Instituto Water for Food da Universidade do Nebraska em Lincoln, realizam estudos científicos que disponibilizam dados e informações confiáveis para a tomada de decisão. O Serviço de Conservação e Pesquisa Geológica do Departamento de Recursos Naturais da Universidade do Nebraska (Conservation and Survey Division) disponibiliza dados históricos há cerca de 30 anos e leituras em tempo real do nível de água de 58 poços espalhados pelo estado, conforme pode ser visto nas figuras a seguir (UNL, 2017). O COHYST é um exemplo de um estudo hidrológico cooperativo para a gestão de águas subterrâneas e superficiais (Cannia, 2006), o qual tem sido complementado com avaliações e modelos recentes (Li, 2017). Os modelos AquaCrop (Forster, 2017) e CROPSIM (Martin, 1984) integram dados sobre os recursos hídricos e o solo para simular o crescimento vegetativo de diferentes culturas. Como a produtividade agrícola é determinada pela disponibilidade de água para o sistema radicular, os modelos baseiam-se em no balanço de água que considera a precipitação, a irrigação, a evapotranspiração, o escoamento, a percolação e a variação da umidade do solo

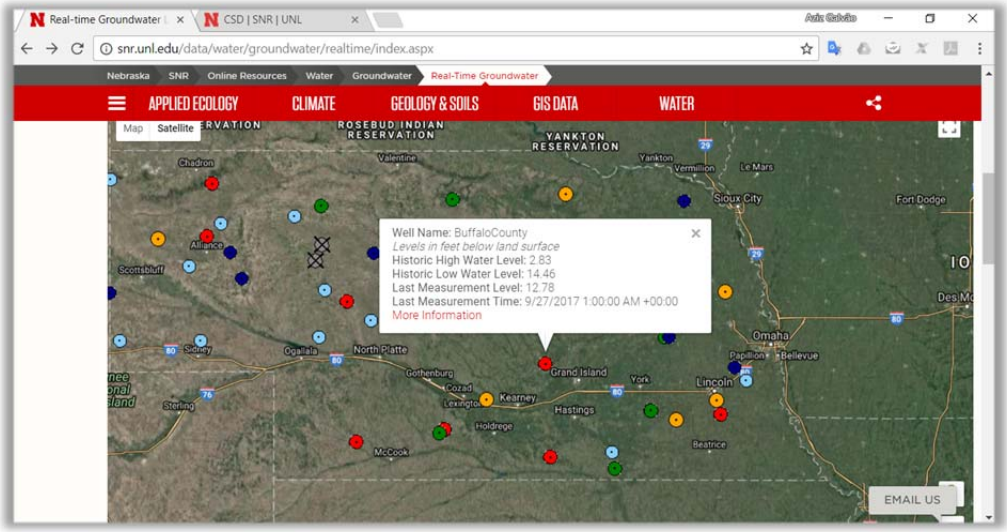


Figura 5. Rede de Monitoramento em Tempo Real de Águas Subterrâneas.
Fonte: UNL, 2017.

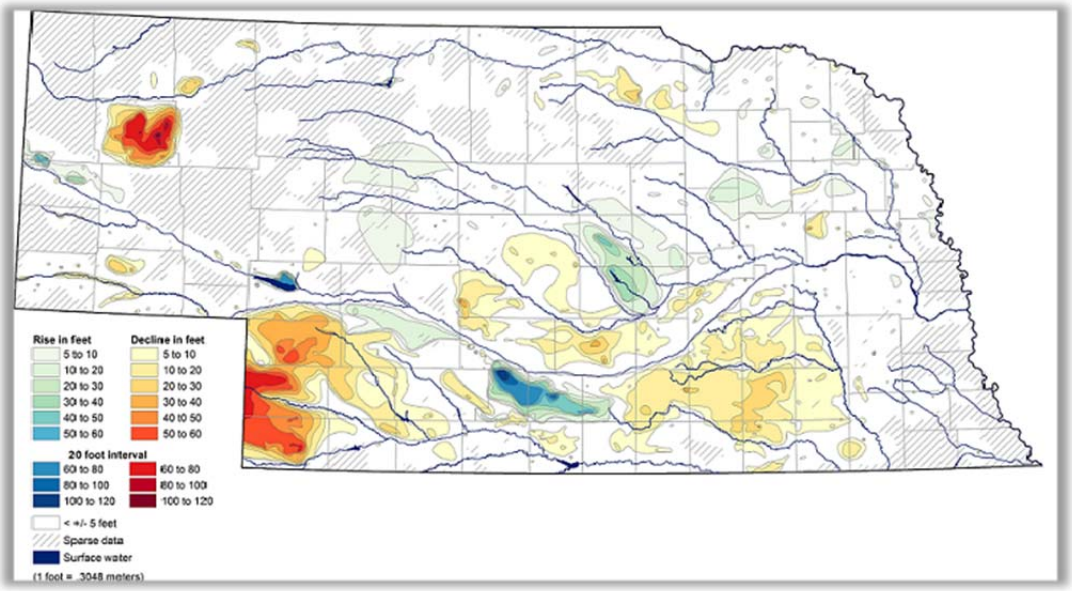


Figura 6 – Variação no nível de águas subterrâneas (em pés) desde o pré-desenvolvimento até primavera 2016.

Fonte: UNL, 2017.

Os principais modelos disponíveis estão integrados no sistema conhecido como INSIGHT. O objetivo do Sistema é disponibilizar, anualmente, a situação dos recursos hídricos em todo o estado. Os dados hidrológicos são consolidados de diferentes fontes, incluindo o Departamento de Recursos Naturais do Nebraska (DNR), o Serviço Geológico dos Estados Unidos (U.S. Geological Survey), a Agência de Águas dos Estados Unidos (U.S. Bureau of Reclamation), e os NRDs. Os resultados são disponibilizados em gráficos, mapas e relatórios nas seguintes categorias, i) oferta de água, ii) demanda de água, iii) demanda natural, iv) uso humano e v) balanço de água. Os dados são apresentados em um formato

consistente e podem ser analisados a nível estadual, de bacia e de microbacias hidrográficas. Novas informações são adicionadas regularmente. As figuras abaixo mostram os principais modelos integrados ao Sistema INSIGHT e a versão do sistema disponibilizada na internet (NEBRASKA, 2015).

Figura 7 – Módulos do Sistema INSIGHT.

Fonte: NEBRASKA, 2015.

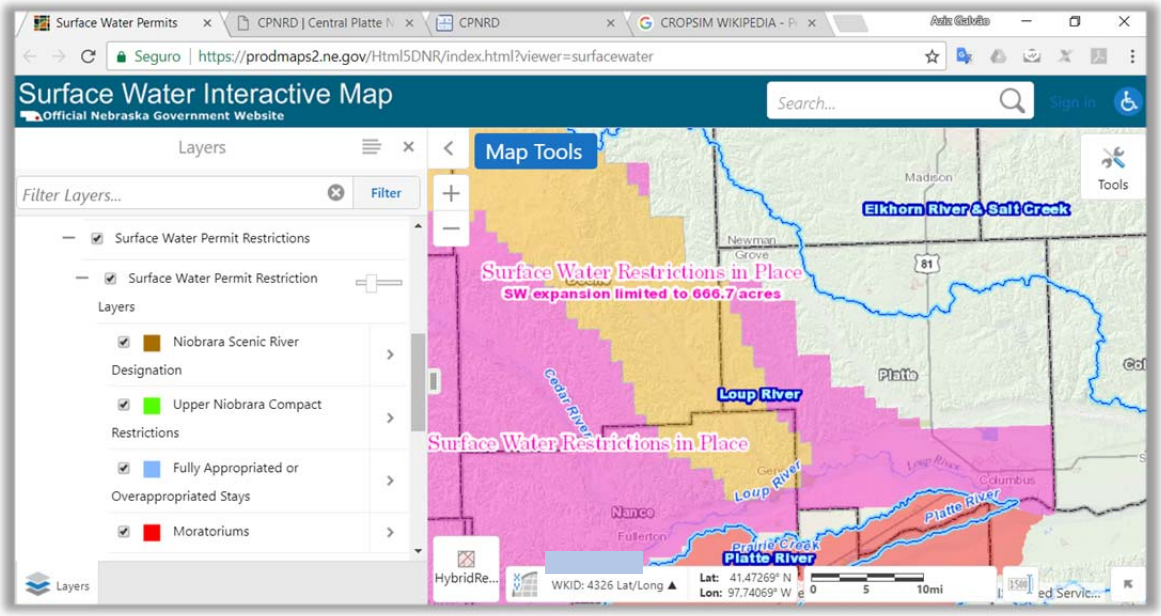


Figura 8 – Tela da versão Web do Sistema INSIGHT.

Fonte: NEBRASKA, 2015.

Cada NRD têm autonomia para implementar seu conjunto de normas e programas. Há diversos sistemas de informações disponíveis, os quais utilizam, além dos resultados dos modelos disponíveis, modelos específicos para as condições do distrito ou da bacia ou microbacia hidrográfica. A interação entre os NRDs é viabilizada pela Associação dos Distritos de Recursos Naturais do Nebraska (NARD Nebraska Association of Natural Resource Districts) que realiza reuniões periódicas e implementa programas conjuntos. A seguir é apresentado o sistema utilizado pelo NRD Central Platte. O Sistema permite a obtenção e análise de informações agregadas sobre a bacia e as microbacias do Rio Platte, bem como informações detalhadas sobre cada poço registrado no distrito.

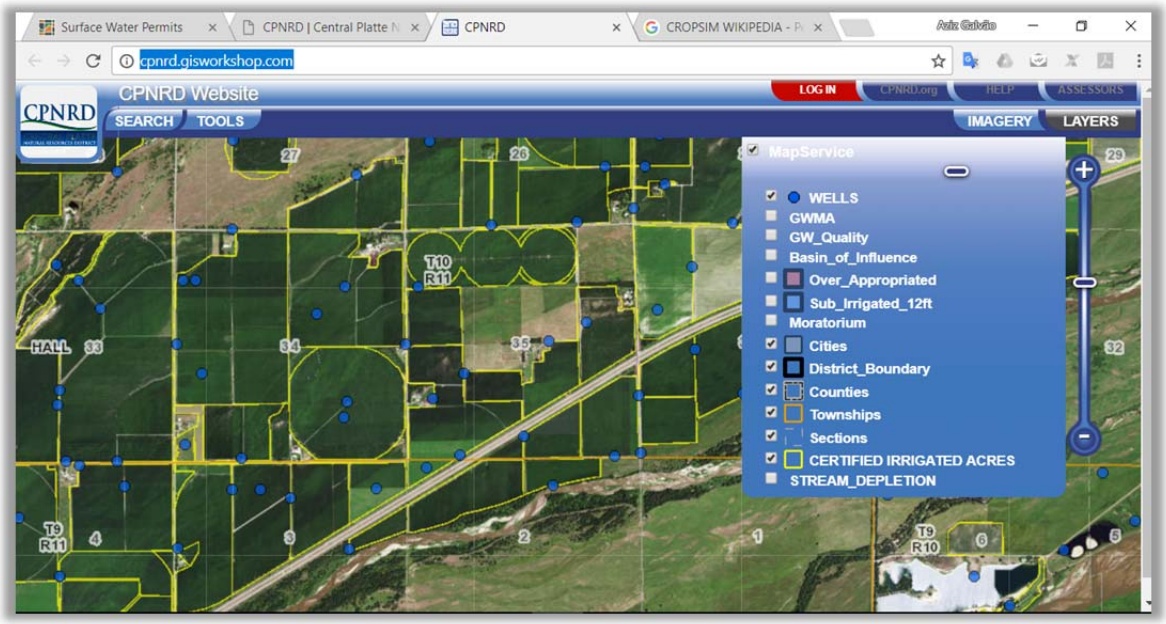


Figura 9 – Versão Web do sistema de Informação do NRD Central Platte.

Fonte: CPNRD, 2017.

Um exemplo do uso dos sistemas de informações disponibilizados pelo Departamento de Recursos Naturais e pelos NRDs é o programa de recuperação do Rio Platte, desenvolvido no âmbito da legislação de proteção de espécies ameaçadas (Endangererd Species Act). O programa envolve os estados do Nebraska, Colorado, Wyoming e o Departamento do Interior do Governo Federal e tem como objetivo geral recuperar e preservar o habitat de três espécies de aves ameaçadas de extinção. Um dos objetivos específicos é aumentar a vazão do Rio Platte entre 160 e 185 milhões de m3 anualmente no prazo de 13 anos. A agregação de dados de todos os poços e o balanço do uso de águas durante o ciclo agrícola é imprescindível para direcionar as ações e verificar os resultados dos projetos específicos de racionalização do uso e controle da qualidade da água implementado no âmbito do programa (CPNRD, 2017a, CPNRD, 2017b).

Os resultados dos sistemas de informação, como o INSIGHT, auxiliam a definição da quantidade de água que pode ser utilizada em cada ponto de captação. Esse parâmetro básico e informações sobre o clima, solo e plantas permitem que os produtores tomem decisões quanto a cultura agricola, a ser implantada, a área da ser irrigada, bem como decisões operacionais de manejo da água e do solo. Sistemas para agricultura de precisão e

monitoramente e controle de equipamento de irrigação, em especial controle de pivô central, são disponibilizados por empresas de software e pelas principais fabricantes de equipamentos de irrigação, como a Valley, TL, Reinke e Lindsay. As plataformas AgSense e ReinCloud, das empresas Valley e Reinke, respectivamente, incorporam tecnologia de mapeamento para agricultura de precisão e permitem o monitoramento e análise de todas as etapas do ciclo produtivo da cultura e controle dos equipamentos no campo através de comandos enviados de aplicativo para smartphone (AGSENSE, 2017; REINKE, 2017).

Conclusão

O envolvimento dos diversos grupos de interesse e, principalmente, dos usuários é determinante para o sucesso de um sistema de governança dos recursos naturais. A disponibilização de dados e informações confiáveis é imprescindivel para a tomada de decisão tanto nas organizações públicas e privadas envolvidas, quanto nas propriedades rurais. O exemplo da gestão dos recursos hídricos no Estado do Nebraska demonstra que um recurso comum, como a água, pode ser gerenciado de forma sustentável. Neste estado, a importância da agricultura para a economia, a experiência histórica de desastres ambientais e os conflitos pelo uso da água levaram a implementação de um sistema de governança inovador baseado na integração de distritos locais autônomos e os orgãos governamentais. Para o gerenciamento do sistema estão disponíveis diversos sistemas de informação, os quais fornecem dados e informações essenciais e detalhadas para o planejamento e controle do uso dos recursos hidricos levando em consideração cada um dos 100 mil poços registrados no estado.

Sistemas de governança devem, necessariamente, considerar especificidades locais. Um sistema não pode ser simplesmente copiado. Entretanto, conhecer e analisar os motivos que levaram ao fracasso ou sucesso de um sistema de gestão de recursos hidricos é de extrema importância, pois muitos resultados das decisões atuais só poderão ser mensurados no futuro. Na questão ambiental não há mais espaço para aprender com erros. Por outro lado, deixar de utilizar recursos para a produção de alimentos não é economicamente ou socialmente aceitável (Mantovani, 2017, Silva Junior, 2017).

O Nebraska, com área semelhante ao estado do Paraná, irriga 3,5 milhões de hectares, ou cerca de 65% do total irrigado de 5,4 milhões de ha irrigado no Brasil (ANA, 2012). A FAO estima, excluindo áreas das bacias do Amazonas e Tocantins, o potencial de irrigar 29 milhões de hectares no Brasil (FAO, 2017). Outro estudo indica o potencial de 38 milhões de ha, quando se considera locais com maior aptidão de solo e relevo e de 61 milhões de hectares, quando se considera todas as áreas aptas para irrigação no Brasil (FEALQ, 2014). O aumento da irrigação depende de condições econômicas, técnicas, sociais e políticas que, em última instância, determinam a viabilidade do investimento dos agricultores. Um dos principais desafios é o aprimoramento da gestão dos recursos hidricos (Mantovani, 2017). Sem um sistema de governança adequado, o aumento da área irrigada criará novos conflitos e certamente acirrará os já existentes. Como mostra a análise do modelo de governança do Nebraska, a discussão e tomada de decisão com base um sistema de informação é essencial.

No Brasil, a Associação dos Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA) viabilizou recursos para um estudo com o objetivo de avaliar a disponibilidade das águas superficiais e subterrâneas das bacias dos Rios Grande e Corrente e do aqüífero Urucuia (Hermes, 2017). O projeto é coordenado pela Universidade Federal de Vicosa em parceria com o Instituto Water for Food da Universidade do Nebraska e o envolvimento de lideranças rurais e diversos orgãos do Governo do Estado da Bahia. A iniciativa é altamente relevante do ponto de vista

cientifico e econômico. O Oeste da Bahia é a principal região agrícola do chamado MATOPIBA, ou seja, a região de cerrados dos estados do Maranhão, Tocantins, Piaui e Bahia. A área irrigada atualmente no Oeste de Bahia é de cerca de 150 mil ha, uma área pequena considerando o potencial estimado para todo o estado da Bahia de cerca de 3,5 milhões de ha (FEALQ, 2014). Entretanto, para concretizar o potencial da agricultura do Oeste da Bahia, e de outras regiões do Brasil, é imprescindível a implementação de um sistema de governança eficiente e a disponibilização de dados e informações científicas confiáveis, sem as quais o diálogo fundamentado entre os grupos de interesse e usuário é impossível.

ARTIGO 7: COMPARTILHAMENTO DE PIVÔ CENTRAL NA AGRICULTURA FAMILIAR: EXPERIÊNCIAS NA AFRICA

COMPARTILHAMENTO DE PIVÔ CENTRAL NA AGRICULTURA FAMILIAR: EXPERIÊNCIAS NA ÁFRICA.

por RICHARD BERKLAND[1], CHRISTOPHER U. NEALE[2], AZIZ G. DA SILVA JÚNIOR[3], EVERARDO C. MANTOVANI[4]

Muitos agricultores familiares em todo o mundo estão presos ao ciclo de baixa produtividade e pobreza. A maioria destes agricultores cultivam áreas menores que 2 ha e dependem da chuva, além de não terem acesso e não utilizaram recursos produtivos adequadamente. O consumo da família é um objetivo chave, a baixa produção e falta de acesso a mercados e a recursos financeiros impedem o investimento em tecnologias que poderiam aumentar a produtividade.

Na África, em especial, as condições da agricultura familiar são ainda mais críticas. Neste continente, de acordo com dados da FAO, 80% das propriedades rurais têm menos de 2 ha e as propriedades com menos de 1 ha respondem por 60% do total. Nos países localizados abaixo do deserto do Saara, a área irrigada é de apenas 5%, comparado com a média mundial de 20% de áreas irrigadas em relação à área agrícola total.

A irrigação reduz a sazonalidade agrícola e permite o cultivo durante todo o ano. Comparada com a agricultura de sequeiro, a agricultura irrigada permite a produção de, em média, 2,5 a 3 ciclos por ano. Em muitas regiões, a agricultura empresarial irrigada atinge produtividades de 4 a 10 vezes maiores que produtores familiares de sequeiro. Na África, por exemplo, cultivam-se a mesma área de milho que nos Estados Unidos. Entretanto, a produção americana de 400 milhões de toneladas deste cereal é cerca de 7 vezes maior que a africana de 60 milhões de toneladas.

Apesar de deficiências comuns às regiões subdesenvolvidas, a África conta com uma grande área agricultável, além de abundantes recursos hídricos e condições climáticas favoráveis em muitas regiões. O continente tem um grande potencial de aumentar a produção agrícola através da intensificação do uso de recursos e adoção de tecnologias modernas, contribuindo para o aumento da renda e melhorias das condições de saúde e educação da população africana. Entretanto, este desenvolvimento deve preservar os frágeis e únicos ecossistemas africanos. Neste contexto, a irrigação é uma tecnologia chave para a intensificação sustentável da agricultura.

Muitos agricultores familiares em todo o mundo estão presos ao ciclo de baixa produtividade e pobreza. A maioria destes agricultores cultivam áreas menores que 2 ha e dependem da chuva, além de não terem acesso e não utilizaram recursos produtivos adequadamente. O consumo da família é um objetivo chave, a baixa produção e falta de acesso a mercados e a recursos financeiros impede o investimento em tecnologias que poderiam aumentar a produtividade.

Na África, em especial, as condições da agricultura familiar são ainda mais críticas. Neste continente, de acordo com dados da FAO, 80% das propriedades rurais tem menos de 2 ha e as propriedades com menos de 1 ha respondem por 60% do total. Nos países localizados abaixo do deserto do Saara, a área irrigada é de apenas 5%, comparado com média mundial de 20% de áreas irrigadas em relação a área agrícola total.

A irrigação reduz a sazonalidade agrícola e permite o cultivo durante todo o ano. Comparada com a agricultura de sequeiro, a agricultura irrigada permite a produção de, em média, 2,5 a 3 ciclos por ano. Em muitas regiões, a agricultura empresarial irrigada atinge produtividades de 4 a 10 vezes maiores que produtores familiares de sequeiro. Na África, por exemplo, cultiva-se a mesma área de milho que os Estados Unidos. Entretanto, a produção americana de 400 milhões de toneladas deste cereal é cerca de 7 vezes maior que a africana de 60 milhões de tloneladas. Apesar de deficiências comuns às regiões subdesenvolvidas, a África conta com uma grande área agricultável, além de abundantes recursos hídricos e condições climáticas favoráveis em muitas regiões. O continente tem um grande potencial de aumentar a produção agrícola através da intensificação do uso de recursos e adoção de tecnologias modernas, contribuindo para o aumento da renda e melhorias das condições de saúde e educação da população africana. Entretanto, este desenvolvimento deve preservar os

frágeis e únicos ecossistemas africanos. Neste contexto, a irrigação é uma tecnologia chave para a intensificação sustentável da agricultura.

Tecnologia de Pivô Central

Os métodos de irrigação na África abrangem deste os mais antigos sistemas de irrigação por inundação no vale do Nilo, Norte da África, até sistemas de irrigação que utilizam poços rasos em regiões localizadas abaixo do deserto do Saara. Da área total de 4 milhões de hectares irrigada na África, 1,5 milhões utilizam o sistema de pivô central. As áreas restantes empregam outros métodos de irrigação por aspersão, além dos sistemas de irrigação localizada e por superfície.

Cada método de irrigação tem suas vantagens em termos de custo, escala, flexibilidade, consumo de energia e uso de água. A tecnologia de pivô central é utilizada em 18 milhões de hectares no mundo. Na África, esta tecnologia, desenvolvido nos anos 50 na região central dos Estados Unidos, é utilizada deste os anos 70 pela agricultura empresarial, em propriedades normalmente com áreas de centenas de ha com 1 a 4 pivôs.

A tecnologia de pivô central tem as seguintes vantagens:

- Investimento por área baixo quando são utilizados pivô de grandes áreas
- Custos operacionais relativamente baixos quando o nível de pressão é baixo
- Facilidade de manejo e manutenção comparado a outros métodos
- Longa vida útil dos equipamentos, entre 20 e 30 anos
- Possibilidade de plantio de diversas culturas agrícolas
- Alta eficiência no uso de água
- Método preferencial em áreas com problemas de salinidade.

Projeto Circle

O projeto CIRCLE tem como objetivo testar a tecnologia de pivô central na África. A iniciativa é uma parceria entre o Instituto Water for Food da Universidade do Nebraska, a Empresa Valmont, outras empresas e organizações americanas e agências governamentais e universidades africanas.

Apesar dos custos de investimento, operação e manutenção por área serem baixos em relação a outros métodos, o investimento total nos equipamentos e os custos operacionais do sistema como um todo são muito altos. Além dos desafios de gerenciamento de qualquer sistema de irrigação, sistemas compartilhados exigem alto grau de cooperação e coordenação entre os produtores envolvidos. Entretanto, se projetos de pivô compartilhados tiverem sucesso três benefícios chaves poderão ser alcançados: i) muitos produtores familiares poderão tornar-se produtores comerciais e serem inseridos no mercado, ii) comunidades agrícolas se desenvolverão economicamente e tornar-se-ão menos susceptíveis aos efeitos de secas e finalmente, iii) estas áreas estarão contribuindo para que a África possa concretizar seu potencial de produção de alimentos.

Além de iniciativas do projeto Circle, cerca de uma dezena de projetos estão em estudo e implementação em países da África, totalizando mais de 200 unidades de pivô central, conforme mostrado na tabela a seguir:

Tabela 1 – Projetos de Pivô Central compartilhados na África.

PAIS	PROJETO	N. PIVÔ CENTRAL
GANA	HOLSTEIN	2
GANA	VEGPRO	1
GANA	BABATOR	4
GANA	IWAD	4
NIGÉRIA	ALLIANCE AGRICULTURE	100
TANZÂNIA	DODOMA	1
RUANDA	MATIBA	4
RUANDA	LAKE NASHO	62
RUANDA	KAGITUMBA	37

Fonte: Berkland, 2017

Apesar de poucos resultados consolidados estarem disponíveis em função da maioria dos projetos estarem ainda em fase de estudo e implementação, os seguintes aspectos são considerados críticos para o sucesso do empreendimento:

1. Tecnologia
2. Financiamento
3. Mercado e
4. Apoio Institucional.

O Instituto Water for Food e a empresa Valmont criaram um guia para a análise dos aspectos técnicos e econômicos, sociais, para a implementação do projeto e o acompanhamento da produção agrícola.

Avaliação Técnica e Econômica

1. Análise visual
2. Análise de solo
3. Avaliação hidrogeológica
4. Layout do Pivô
5. Avaliação da disponibilidade de energia
6. Verificação das condições do solo e água
7. Estudo de viabilidade técnica
8. Plano de negócio
9. Decisão (implementação ou não do projeto)

Aspectos Sociais

1. Identificação de grupos de produtores potenciais
2. Busca por parceiros
3. Análise de questões fundiárias e hídricas

4. Organização dos agricultores
5. Plano de negócio
6. Assinatura de contrato
7. Preparação do terreno
8. Início da produção

Implementação do Projeto
1. Planejamento do projeto
2. Plano de fornecimento de água
3. Seleção de pessoal
4. Compra de equipamentos
5. Preparo do terreno
6. Construção das instalações
7. Instalação das bombas e equipamentos
8. Instalação de adutoras
9. Compra e entrega de equipamentos agrícolas
10. Instalação do pivô central
11. Compra de equipamentos para armazenagem e pós-colheita
12. Verificação do sistema de irrigação completo
13. Início das operações

Produção
1. Financiamento de custeio
2. Seleção das atividades agrícolas
3. Insumos agrícolas
4. Preparo do solo
5. Plantio
6. Planejamento da irrigação
7. Controle de ervas daninhas, doenças e pragas
8. Colheita
9. Pos-colheita

Conclusões

Após toda esta discussão sobre o projeto em andamento na África fica a pergunta se existe potencialidade de tais iniciativas em condições brasileiras. Considerando a alta eficiência operacional e de aplicação de água dos pivôs centrais é de se esperar que o mesmo possa ser uma importante estratégia e um importante instrumento de desenvolvimento da agricultura familiar compartilhada.

Considerando a irrigação em círculos, dois modelos podem ser adotados, um primeiro em que cada produtor tenha uma "fatia" deste círculo, ocupando com diferentes cultivos (olerícolas, fruteiras, grãos etc) o espaço. Neste caso é importante ter uma organização de plantio e de aplicação de água que permita atendimento das diversas culturas. Trata-se de um modelo que tem a vantagem de usar um sistema moderno e de menor custo de irrigação e por outro lado vai exigir um forte planejamento de ocupação da área e aplicação de água.

Um segundo modelo e com maior potencial de aplicação, são sistemas de plantio compartilhado de um ou de alguns cultivos que ocupam "fatias" do equipamento. Teria a vantagem do ganho de eficiência em função da escala dos plantios, implantação de sistemas de beneficiamento conjuntos e grande potencial de um processo de comercialização mais eficiente e eficaz.

Na região Oeste da Bahia está em andamento a estruturação de um projeto de implantação de agricultura familiar irrigada utilizando diversas estratégias. Dentre elas, em parceria com a empresa Valmont Brasil que produz os pivôs Valley, está em estudo a implantação de um pivô compartilhado, como projeto piloto de desenvolvimento compartilhado. O projeto envolve a seleção da área, montagem da parceria local, implantação do sistema de irrigação por pivô central, seleção dos produtores, organização do modelo cooperativo e produtivo, assistência técnica de produção e organização do sistema de comercialização. A busca é desenvolver um projeto piloto que possa gerar um modelo que traga sustentabilidade a este tipo de projeto de produção cooperativo, se tornando uma opção para desenvolvimento da agricultura familiar da região Oeste da Bahia.

3. Visitas técnicas

3.1 Visita delegação brasileira ao Nebraska

O Nebraska é o estado com a maior área irrigada nos EUA. Cerca 85% dos 3,5 milhões de ha irrigados são abastecidos por águas subterrâneas bombeados do aquífero Ogallala em mais de 100 mil poços. A gestão das águas subterrâneas é realizada por 23 Distritos de Recursos Naturais (NRDs) formados por representantes da comunidade. Os produtores rurais participam ativamente dos NRDs, os quais tem autonomia para formular e implementar regras de monitoramento e uso dos recursos hídricos. O Departamento de Recursos Naturais (DNS) do Governo Estadual gerencia os recursos hídricos superficiais e, em conjunto com os NRDs, desenvolve e implementa um plano de gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos em áreas sobreutilizadas ou que estejam incluídas em acordos interestaduais.

A viagem ao Nebraska teve como objetivo específico conhecer e discutir o sistema de governança dos recursos hídricos neste estado, contrastando com a realidade e potencial do Oeste da Bahia, no âmbito de um convênio entre a AIBA/PRODEAGRO e a UFV/FUNARBE em parceria com o Governo do Estado da Bahia (SEAGRI, SEMA/INEMA e SIRHS). As atividades desenvolvidas (workshops, visitas e reuniões) organizadas pelo Instituto *Water for Food* permitiram o contato direto e discussões altamente produtivas com formuladores de políticas públicas, órgãos governamentais, produtores rurais, sociedade civil, empresas fornecedoras de equipamentos e insumos agrícolas e meio acadêmico do estado do Nebraska. Os desafios da gestão dos recursos hídricos no Oeste da Bahia foram apresentados e discutidos tendo como referência um sistema altamente efetivo e, por sua escala e importância econômica, único no mundo. Afim de manter e aprofundar a interação com o Instituto *Water for Food* e Instituições do Nebraska, foi discutido os termos de um convênio a ser celebrado entre as organizações brasileiras envolvidos no convênio e este instituto. Apesar das especificidade sócio-econômicas, culturais, climáticas e hidrogeológicas e a experiência prática de mais de 40 anos do sistema do Nebraska, ficou evidente que a base para o funcionamento de qualquer sistema efetivo e eficiente de gestão de recursos hídricos são resultados de pesquisas científicas, os quais devem ser reconhecidos e aplicados na formulação e implementação de políticas públicas. Durante as atividades realizadas, a interação entre representantes de órgãos governamentais, produtores rurais, formuladores de políticas públicas e os pesquisadores brasileiros foi intensa e altamente produtiva, viabilizando a criação de canais de comunicação essenciais na discussão efetiva e na implementação prática dos resultados do projeto de pesquisa *Sustentabilidade Hídrica do Oeste da Bahia: Estudos Básicos e Definição da Disponibilidade Hídrica para a Agricultura Irrigada.* Portanto, o objetivo da viagem foi plenamente atingido.

06/04/2017 QUINTA: **WORKSHOP SOBRE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Local: *Institute Water for Food*. Nebraska Innovation Campus 2021 Transformation Drive, Suite 3220 Lincoln, NE 68508

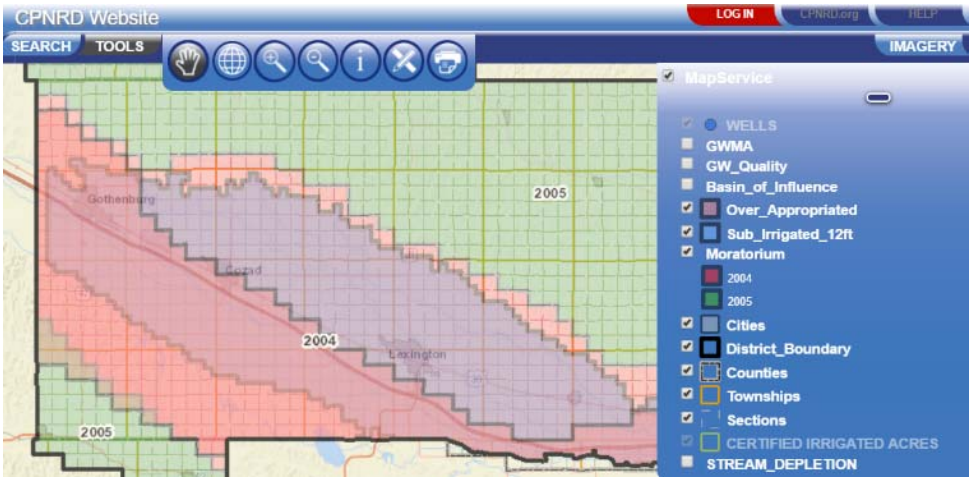
Atividades: Workshop sobre gestão de recursos hídricos no Nebraska e Oeste da Bahia organizado pelo Instituto *Water for Food* da Universidade do Nebraska, com a participação do Diretor da Associação dos Distritos de Recursos Naturais do Nebraska (NARD), Diretores e pesquisadores do Instituto *Water for Food*, lideranças rurais do Oeste da Bahia (AIBA, ABAPA, SRLEM), Representantes do Governo da Bahia (SEAGRI, SEMA, INEMA, SIHS), Deputados Estaduais e Pesquisadores da UFV e UFRJ. O Sr. Edson Dean, da Associação de Distritos Naturais do Nebraska, apresentou a história, estrutura, desafios e impactos dos 23 Distritos Naturais existentes no Nebraska. Pesquisadores da Universidade do Nebraska apresentaram resultados de pesquisa que fundamentam as ações destes distritos e dos órgãos governamentais do estado do Nebraska. Pesquisadores da UFV apresentaram o projeto de pesquisa de análise dos Recursos Hídricos do Oeste da Bahia e o Sr. Celestino Zanella fez uma apresentação sobre o Oeste da Bahia e as expectativas das organizações envolvidas em relação ao projeto. Representantes do Governo da Bahia participaram da discussão enfocando a atuação do poder público no sistema de gestão dos recursos hídricos.

06/04/2017 QUINTA**: VISITA AO NRD UPPER BIG BLUE**

Local: 319 E 25th St. York, NE 68467, USA

Atividades: Visita ao Distrito de Recursos Naturais (NRD) *Upper Big Blue*. Apresentação do histórico do NRD e ações no gerenciamento de águas (quantidade e qualidade), pelo Diretor Executivo, Sr. David Eigenberg e pela Diretora de Recursos Hídricos, Sra. Marie Krausnick. O NRD *Upper Big Blue* é um dos mais destacados NRD no Nebraska e foi o segundo NRD a implementar ações para restrição do uso de água. As águas subterrâneas localizam-se a cerca de 35 metros de profundidade. A principal atividade econômica do distrito é a agricultura irrigada, com cerca de 520 mil ha irrigados. Esta área representa 15% de toda a área irrigada do estado do Nebraska e 2% dos EUA. A área irrigada já alcançava 300 mil ha nos anos 60 e a preocupação com os níveis das reservas subterrâneas levou a implementação de leis já na década de 70.

06/04/2017 QUINTA: **VISITA AO NRD CENTRAL PLATTE**



Local: 215 Kaufman Avenue in Grand Island, NE 68803, USA

Atividades: Visita ao Distrito de Recursos Naturais (NRD) *Central Platte*. Apresentação do sistema de governança de águas pelo Diretor Executivo, Sr. Lyndon Voigt. O sistema de governança neste NRD é complexo e depende de resultados de pesquisas e monitoramentos detalhados, o quais podem ser visualizados em um sistema online disponibilizado no site do NRD. Um amplo estudo hidrológico iniciou-se em 1998 com a participação do CPNRD, outros NRDs, o órgão estadual (NDR), usuários do setor de energia e outros envolvidos. O modelo desenvolvido neste estudo (COHYST: *Cooperative Hydrology Study*) é, atualmente, o instrumento básico de direcionamento de ações no NRD na gestão de recursos hídricos e naturais. De acordo com a Lei de Gestão Integrada, uma porção significativa do CPNRD foi considerada completamente apropriada e algumas áreas da parte oeste declaradas sobreutilizadas. Como forma de auxiliar os produtores atingidos a cumprirem as novas restrições quanto ao uso da água, o NRD permitiu a transferência de permissões. Também foi implementado um programa de compra de diretos de uso.

07/04/2017 SEXTA: **PALESTRAS E VISITA A FÁBRICA DA EMPRESA VALMONT**

Local: 28800 Ida St, Valley, NE 68064, USA

Atividades: Apresentações sobre a empresa Valmont com a presença do Diretor Presidente de Irrigação, Sr. Leonard Adams, dos Vice-Presidentes Srs. Josh Dixon e João Rebequi e técnicos da empresa. Apresentação e discussão do projeto de Recursos Hídricos no Oeste da Bahia e visita à fábrica de equipamentos de irrigação. A empresa Valmont é uma das líderes de mercado no Brasil e no Mundo, com forte atuação no Oeste da Bahia. A empresa participa ativamente do sistema de gestão dos recursos hídricos no Nebraska e em diversas iniciativas através do apoio dado pela Fundação Robert B. Daugherty ao Instituto *Water for Food* da Universidade do Nebraska e a outras instituições no Nebraska e no mundo.

07/04/2017 SEXTA: **VISITA A FAZENDA EXPERIMENTAL DA UNIVERSIDADE DE NEBRASKA**

Local: 1071 County Road G Ithaca, NE 68033

Atividades: Visita a experimentos (pegada de carbono e melhoramento genético) e a instalações (máquinas e equipamentos) da fazenda experimental e centro de extensão da

Universidade do Nebraska (*Eastern Nebraska Research and Extension Center*). O Diretor do Centro, Sr. Mark Schroeder, apresentou o histórico da fazenda experimental e as ações de pesquisa e transferência de tecnologia. Na área de recursos hídricos foi implementada no Nebraska uma ampla rede de assistência técnica com unidades de demonstração em propriedades rurais espalhadas por todo o estado. O contato com pesquisadores foi bastante interessante e ações de pesquisa desenvolvidas pela Universidade Federal de Viçosa na área de recursos hídricos superficiais e subterrâneos e mudanças climáticas foram discutidas em conversas informais entre os pesquisadores.

08/04/2017 SÁBADO: **VISITA PROPRIEDADE RURAL DA FAMÍLIA STAHR E CONTATO COM EXTENSIONISTA DA UNIVERSIDADE DE NEBRASKA**

Local: 1793 Road 14, York, NE.

Atividades: Visita a propriedade rural e reunião com os proprietários rurais e a extensionista da Universidade do Nebraska. A visita a propriedade rural foi bastante interessante e altamente produtiva, permitindo aos produtores rurais, representantes do governo e pesquisadores obter informações sobre o processo produtivo, gerenciamento da propriedade, monitoramento do uso dos recursos hídricos e irrigação. A questão da sucessão familiar no Nebraska e também no Oeste da Bahia também foi abordada pela família rural e discutida pela grupo. A atuação bastante efetiva da extensionista e do sistema de extensão rural, além da importância chave do envolvimento de lideranças locais na gestão dos recursos hídricos no âmbito dos NRDs foram destacadas durante as discussões e avaliações da delegação brasileira.

10/04/2017 SEGUNDA: **REUNIÃO NO DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURAIS DO ESTADO DO NEBRASKA.**

Local: 301 Centennial Mall S, Lincoln, NE 68508, USA

Atividades: Reunião com Diretor Assistente e a Diretora de Recursos Hídricos do Departamento de Recursos Naturais do Estado do Nebraska, apresentação e discussão do sistema de gestão de recursos hídricos no estado. O Sr. Jesse Bradley apresentou a hidrologia do estado do Nebraska, o histórico das ações realizadas, o envolvimento de diferentes atores sociais e também a importância de pesquisas científicas para nortear o planejamento, a implementação e o monitoramento dos recursos hídricos no Estado. Resultados do sistema online INSIGH foram apresentados e discutidos. A reunião permitiu, em especial, que representantes do Governo do Estado da Bahia conhecessem a forma de ação do Departamento entre elas a elaboração de um plano de gestão integrada. Este plano tem como objetivos: i) Proteger usuários atuais do impacto da entrada de novos usuários; ii) Atender obrigação dos acordos interestaduais; iii) Garantir o balanço adequado de longo prazo entre a oferta e demanda de água, considerando a viabilidade econômica dos sistemas de irrigação, o bem estar social e preservação ambiental, a segurança contra inundações e o bem estar geral na bacia hidrográfica

11/04/2017 TERÇA: **PARTICIPAÇÃO NA GLOBAL CONFERENCE DO INSTITUTO WATER FOR FOOD.**

Local: Nebraska Innovation Campus 2021 Transformation Drive, Suite 3220 Lincoln, NE 68508, USA.

Atividades: Participação no Conferência Global do Instituto *Water for Food* da Universidade do Nebraska. Esta é uma das mais importantes conferência sobre recursos hídricos, seja pela presença dos pesquisadores mais destacados na área, quanto pela presença de instituições chaves no gerenciamento dos recursos hídricos no mundo e no Nebraska. O tema para o ano de 2017 foi: "*água para a segurança alimentar: de lições locais para impactos globais*", destacou a importância da implementação de sistemas de governança com a efetiva participação da comunidade local e os impactos globais positivos destes sistemas.

12/04/2017 QUARTA: **PALESTRA PROF. MARCOS HEIL COSTA**

Local: Nebraska Innovation Campus 2021 Transformation Drive, Suite 3220 Lincoln, NE 68508 | U.S.A

Atividades: O Prof. Marcos Heil Costa da Universidade de Viçosa participou da sessão: *Groundwater Governance from Field to Global Scales,* a qual contou com a presença de um especialista da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), da representante do programa do estado da California para águas subterrâneas, do Diretor do Departamento de Recursos Naturais do Nebraska e da Pesquisadora Senior do *International Food Policy and Research Institute* de Washington. O Prof. Marcos Heil apresentou o histórico, a situação atual e os desafios do sistema de governança das águas no Brasil. As

discussões foram bastante interessantes, permitindo contrastar os resultados alcançados em dois estados americanos, no Brasil e em países em desenvolvimento e subdesenvolvidos. Toda a sessão está disponível em um vídeo no youtube (*Groundwater Governance from Field to Global Scales*).

12/04/2017 QUARTA: **PALESTRA SR. CELESTINO ZANELLA**

Local: Nebraska Innovation Campus 2021 Transformation Drive, Suite 3220 Lincoln, NE 68508 | U.S.A

Atividades: O Presidente da Associação dos Agricultores e Irrigantes da Bahia participou da sessão: *View from the Field,* a qual teve como objetivo apresentar a perspectiva dos produtores rurais. A sessão contou com a presença de dois produtores rurais do Nebraska e um da Califórnia, além do representante do Brasil. A apresentação do Sr. Zanella iniciou-se com uma contextualização histórica do desenvolvimento do Oeste da Bahia. A situação atual e os impactos sócio-econômicos positivos do desenvolvimento da agricultura irrigada na região foram apresentadas ao lado dos desafios e iniciativas na área de sustentabilidade. O Sr. Zanella finalizou a apresentação mostrando o potencial de expansão sustentável da área agrícola na região, destacando a expectativa de contar com resultados de pesquisas científicas. A participação efetiva da delegação brasileira foi destacada bem como o potencial do uso racional dos recursos hídricos em sistemas agrícolas de alta tecnologia. Toda a sessão está disponível em um vídeo no youtube (*View from the Field*).

12/04/2017 QUARTA: **REUNIÃO FINAL**

Local: Nebraska Innovation Campus 2021 Transformation Drive, Suite 3220 Lincoln, NE 68508 | U.S.A

Atividades: Após o encerramento da Conferência, ainda no Instituto *Water for Food,* os participantes da delegação brasileira fizeram uma avaliação das atividades e discutiram as ações conjuntas. A avaliação altamente positiva das atividades foi destacada por todos os participantes da reunião que destacaram também o excelente e altamente produtivo nível de

interação entre os participantes. O detalhamento das ações futuras a serem desenvolvidos no âmbito do projeto será compartilhada entre todos os participantes.

ORGANIZAÇÕES

BRASIL

UFV: Universidade Federal de Viçosa.

UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro.

AIBA: Associação dos Agricultores e Irrigantes da Bahia.

ABAPA: Associação Baiana dos Produtores de Algodão.

SRLEM: Sindicato Rural de Luís Eduardo Magalhães.

SEAGRI: Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura do Estado da Bahia

SEMA: Secretaria do Meio Ambiente do Estado da Bahia

SIRHS: Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento do Estado da Bahia

INEMA: Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos da Bahia

AL-BA: Assembleia Legislativa da Bahia.

USA

IWFF: *Institute Water for Food at the Unversity of Nebraska*. www.waterforfood.nebraska.edu

UNL: *University of Nebraska - Lincoln*. www.unl.edu

ARDC: *UNL Agricultural Research and Development Center*. www.ardc.unl.edu

NRDUBB: *Natural Resources District Upper Big Blue*. www.upperbigblue.org

NRDCP: *Natural Resources District Central Platte*. www.cpnrd.org

NARD: *Nebraska Association of Resources Districts*. www.nrdnet.org

VALMONT: *Valmont Industries*. www.valmont.com

DNS: *Nebraska Department of Natural Resources*. www.dnr.ne.gov

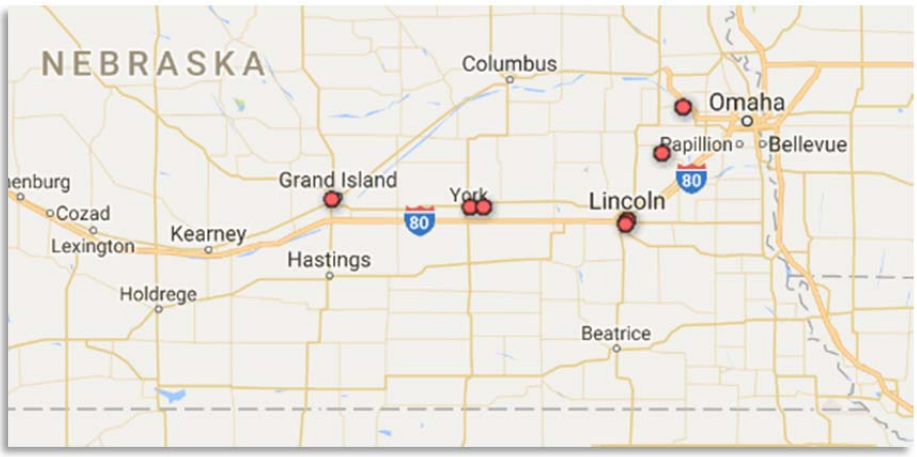
PUCMM: *Pontifícia Univ. Católica Madre y Maestra. Dominican Rep*. www.pucmm.edu.do

PARTICIPANTES:

Brasil: UFV: Aziz Galvão, Everardo Mantovani, Fernando Pruski, Eduardo Marques, Marcos Heil; UFRJ: Gerson Cardoso; ABAPA: Júlio Busato; AIBA: Celestino Zanella; SEAGRI: Victor Bonfim; SEMA: José Geraldo Reis, SRLEM: Carminha Missio; INEMA: Márcia Telles, Eduardo Topázio; SIRH: José Olímpio Morais, AL-BA: Eduardo Salles.

USA: IWFF: Christopher Neale, Nicholas Brozovic, Ben Backeman, Jesse Kouros, Aaron Mittlestet, Aaron Young; NARD: Dean Edson; NRDUBB: David Eigenberg, Roger DeBuhr, Marie Krausnick; NRDCP: Lyndon Voigt; VALMONT: Leonard Adams, Richard Berkland, Josh Dixon, João Rebequi; PUCMM: Sílvio Carrasco, ARDC: Mark Schroeder; DNR: Jesse Bradley, Jennifer Schellpeper;

MAPA GEOREFERENCIADO DAS AÇÕES DOS PROJETO.



Um mapa no sistema drive/google está disponível na internet para os participantes do projeto. As ações desenvolvidas pelos pesquisadores da UFV estão registradas neste sistema e disponibilizadas para os parceiros do projeto, permitindo o acompanhamento e apoio das ações desenvolvidas.

3.2 Visita Delegação do Nebraska na Bahia

A visita da delegação do Nebraska teve como objetivo geral contribuir para o aperfeiçoamento da governança dos recursos hídricos na região Oeste da Bahia. As experiências de sucesso e os desafios da gestão da água para agricultura irrigada no Nebraska e na Bahia foram apresentados e discutidos entre técnicos, pesquisadores, produtores rurais, representantes dos usuários de água, sociedade civil e o poder público (executivo, legislativo e judiciário). A programação incluiu diversas reuniões, visitas a propriedades rurais, dois seminários internacionais e uma audiência com o Governador do Estado da Bahia, Sr. Rui Costa. Cerca de 300 profissionais, representando 111 organizações de diferentes setores, participaram ativamente das atividades e tiveram a oportunidade de interagir com: os diretores do Instituto *Water for Food* (DWFI/UNL), Prof. Peter McCornick, Prof. Christopher Neale e Prof. Nicholas Brozovic; os pesquisadores e extensionistas da Universidade do Nebraska (UNL), Prof. Troy Gilmore e Prof. Daran Rudnik; o diretor de projetos do Departamento de Recursos Naturais do Estado do Nebraska (DNR), Mr. Jesse Bradley; o gerente geral do Distrito de Recursos Naturais *Upper Republican* (URNRD), Dr. Jasper Fanning e o produtor rural Jerry Stahr, de York no Nebraska. Os seminários foram divulgados para telespectadores e leitores de mais de 20 veículos de mídia, incluindo as principais redes de televisão e jornais de Salvador e do Oeste da Bahia

As ações foram realizadas no âmbito do Projeto de Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia, financiado pelo Programa para o Desenvolvimento da Agropecuária (PRODEAGRO) e executado por pesquisadores das Universidades Federal de Viçosa (UFV) e Universidade Federal do Rio de Janeiro em parceria com a Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA), Instituto *Water for Food* da Universidade do Nebraska (DWFI/UNL) e o Governo do Estado da Bahia através da Secretarias: Secretaria de Agricultura, Irrigação, Pecuária, Pesca e Aquicultura (SEAGRI), Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA), Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento (SIHS) e o Instituto de

Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA). Na oportunidade, também foi apresentado o projeto "Segurança Hídrica, Alimentar e Energética no Oeste da Bahia" financiado pelo CNPq, também desenvolvido em parceria entre associações de produtores, universidades e o Governo Estadual. Os projetos de pesquisa aplicada e seus resultados preliminares foram discutidos em reuniões técnicas entre pesquisadores e especialistas de instituições acadêmicas do Brasil (UFV, UFRJ, UNEB e UFOB), do Nebraska (DFWI/UNL) e técnicos de órgãos públicos e organizações do Estado da Bahia (SEMA, INEMA, SEAGRI e SIRHS), do Governo Federal (CPRM e CODEVASF) e do Estado do Nebraska (DNR e URNRD).

Durante reunião com representantes dos comitês das Bacias do Rio Grande e Rio São Francisco, a aplicação dos resultados dos projetos em andamento e propostas de projetos futuros foram discutidas considerando as bacias hidrográficas. Ocorreram também duas reuniões com representantes do Ministério Público do Estado da Bahia, nas quais a questão dos recursos hídricos e a importância da pesquisa científica foram discutidas no contexto da legislação ambiental. Em dois seminários internacionais, 22 palestras foram apresentadas e os participantes, representando diversos setores envolvidos na questão hídrica, tiveram a oportunidade de fazer perguntas e interagir com os palestrantes. Na audiência com o Governador Rui Costa, com a presença dos Secretários de Estado da Agricultura, do Meio Ambiente e de Infraestrutura Hídrica, foram apresentados os projetos em andamento e as ações do Instituto *Water for Food* da Universidade do Nebraska (DWFI/UNL). A relevância destes projetos para a segurança hídrica e alimentar na agricultura de larga escala e na agricultura familiar foram destacadas pelos participantes. Visitas a propriedades rurais de produção de grãos em larga escala na região dos "gerais", propriedades rurais familiares de fruticultura na região do "vale", além de visita às instalações da Área de Preservação Permanente (APA) da Bacia do Rio de Janeiro e da Fazenda Modelo Paulo Mizote do Instituto AIBA permitiram que a delegação do Nebraska e os pesquisadores envolvidos nos projetos discutissem in loco os desafios e as oportunidades do uso sustentável da água para a produção de alimentos. Os projetos também foram apresentados aos participantes do evento "Passarela da Soja", promovido pela Fundação Bahia e Embrapa. Os resultados dos projetos serão discutidos em um evento na UFV programado para o final de 2018.

Como resultado das atividades, os seguintes **projetos** foram propostos:

1. **Modelagem e Discussão de Sistemas de Monitoramento dos Recursos Hídricos (superficiais e subterrâneos) para o Oeste da Bahia.** A integração de iniciativas do INEMA na área de monitoramento com os projetos foi discutida e uma visita do Diretor de Águas (Sr. Eduardo Topázio) à UFV foi agendada para as próximas semanas. Os trabalhos conjuntos envolverão também o Instituto *Water for Food* em uma parceria entre estas instituições.

2. **Discussão e Proposição de Modelos de Governança dos Recursos Hídricos para o Oeste da Bahia.** A AIBA, o Instituto *Water for Food* e a UFV estarão presentes no 8º. Forum Mundial da Água em Brasília, no qual os projetos em andamento e possibilidades futuras poderão ser apresentados e discutidos no contexto mundial da questão hídrica. No âmbito de um pós-doutorado no DWFI/UNL, iniciou-se a aplicação de questionários para avaliação da percepção dos usuários e grupos de interesse sobre a governança dos recursos hídricos no Oeste da Bahia. Este estudo tem como referência uma avaliação semelhante realizada no Nebraska e servirá de base para a discussão e proposição de modelos de governança em um futuro projeto de pesquisa na área de políticas públicas.

3. **Capacitação de Profissionais para Gestão dos Recursos Hídricos:** A partir da avaliação de instituições e organizações presentes nas atividades, a estrutura de um

curso de capacitação foi detalhada durante reunião com o Instituto AIBA. O curso de aperfeiçoamento tem previsão de início no segundo semestre de 2018 e contará com professores da UFV, UFRJ, UFOB, UNEB, FASB, Universidade do Nebraska e especialistas da AIBA. Os alunos realizarão trabalhos em equipe focando os desafios regionais e locais mais relevantes para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

4. **Implementação de Projetos de Desenvolvimento da Agricultura Familiar com Utilização da Irrigação na Região do "Vale" no Oeste da Bahia.** A importância de projetos para a agricultura familiar foi destacada em reunião com o Governador do Estado da Bahia, Sr.Rui Costa e também nos seminários, nas reuniões e nas visitas técnicas a propriedades rurais familiares e à fazenda modelo do Instituto AIBA. Dois projetos serão propostos: a) O primeiro projeto consiste na implantação de um sistema de irrigação por pivô central compartilhado, tendo como referência a experiência do Instituto *Water for Food* em projetos na África. O apoio a este projeto foi reforçado pelo Sr. Osiel Oliveira, Prefeito de Luís Eduardo Magalhães; b) Aproveitando a estrutura e iniciativas do Instituto AIBA na Fazenda Experimental, será proposto um projeto para a agricultura irrigada envolvendo jovens empreendedores. O projeto buscará aproveitar a larga experiência da UFV em extensão rural na agricultura familiar e as experiências internacionais do Instituto *Water for Food* em empreendedorismo rural.

1) WORKSHOP INTERNO: GOVERNANÇA E INFRAESTRUTURA DE RECURSOS HÍDRICOS E AGRICULTURA IRRIGADA DO ESTADO DA BAHIA

26/02/2018 SEGUNDA-FEIRA, 09:00

Local: *Auditório da SEAGRI*. 4ª Avenida Centro Administrativo da Bahia - Centro Administrativo da Bahia, Salvador - BA, CEP 41745-002. Brasil.

Atividades: Reunião técnica entre pesquisadores da UFV, UFRJ, UNEB, Universidade do Nebraska e especialistas das Secretarias de Estado da Bahia (SEAGRI, SEMA, INEMA e SIHS) com a presença dos Secretários de Estado Sr. Victor Bonfim e Sr. José Geraldo Reis e a Diretora Geral do INEMA, Sra. Márcia Telles. Durante o workshop os Srs. Secretários e os especialistas das secretarias apresentaram a situação e os programas implementados no Estado da Bahia.

Participação: Delegação do Nebraska, pesquisadores dos projetos, dirigentes e técnicos da AIBA/ABAPA, Presidente do SPRLEM e dirigentes e técnicos do Governo da Bahia.

2) PRIMEIRA REUNIÃO COM O MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DA BAHIA

26/02/2018 SEGUNDA-FEIRA, 11:00

Local: *Ministério Público do Estado da Bahia.* 5ª Avenida Centro Administrativo da Bahia, 750 - Centro Administrativo da Bahia, Salvador - BA, CEP 41745-004. Brasil.

Atividades: Reunião com a Procuradora Geral de Justiça Exma. Sra. Ediene Lousado, as Promotoras Exmas. Sras. Cristina Seixas e Luciana Khoury e do Assessor Técnico Eng. Zuri Pessoa, para apresentação do projeto e discussão de questões relacionadas a questão hídrica na agricultura no Oeste da Bahia e a experiência do Nebraska.

Participação: Sr. Celestino Zanella (AIBA), Sr. Júlio Busato (ABAPA), Deputado Estadual Eduardo Salles, Prof. Christopher Neale (DWFI/UNL), Prof. Everardo Mantovani, Prof. Aziz Galvão (UFV) e a Sra. Catiane Magalhães (AIBA).

3) I SEMINÁRIO INTERNACIONAL: PESQUISA CIENTÍFICA PARA POLÍTICAS PÚBLICAS DE GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS: Os exemplos do Nebraska, USA e do Oeste da Bahia, Brasil

26/02/2018 SEGUNDA-FEIRA, 14:00

Local: *Sala das Comissões. Assembleia Legislativa do Estado da Bahia.* 1ª Avenida, 130 - Centro Administrativo da Bahia, Salvador - BA, CEP 41745-001. Brasil.

Atividades: O seminário contou com a participação de cerca de 120 pessoas e teve como foco a importância da pesquisa científica para a formulação de políticas públicas para a segurança hídrica e alimentar. Após as sessões, ocorreram discussões sobre os temas entre os palestrantes e o público presente. Os temas das palestras[2] estão descritos a seguir.

ABERTURA: Governo do Estado da Bahia, AIBA, UFV, DWFI:

Moderador: Secretário Vitor Bonfim.

Sr. Vitor Bonfim, Secretário SEAGRI,

Sra. Márcia Telles, Diretora Geral INEMA e Sr. Eduardo Topázio, Diretor de Águas INEMA

Dr. Peter McCornick, Diretor Executivo DWFI/UNL

Sr. Celestino Zanella, Presidente AIBA,

Prof. Everardo Mantovani, UFV e Coordenador do Convênio AIBA/PRODEAGRO-UFV

Palestra de abertura: Segurança Hídrica e Alimentar Mundial

Peter McCornick, Diretor Executivo DWFI/UNL

SESSÃO 1: Governança dos Recursos Hídricos:

Moderador: Prof. Aziz Galvão (DER-UFV/DWFI)

Lições sobre Governança das Águas Subterrâneas.

Prof. Nicholas Brozovic, Diretor de Políticas DFWI/UNL

Governança de Recursos Hídricos no Nebraska.

Dr. Jesse Bradley, Diretor de Projetos do DNR-NE

Distritos de Recursos Naturais (NRD) e o NRD Upper Republican.

Sr. Jasper Fanning, Gerente Geral do NRD Upper Republican e Diretor da Associação NRD-NE

Governança de Recursos Hídricos na Bahia.

Dra. Márcia Telles, Diretora Geral INEMA

SESSÃO 2: Pesquisa Científica, Gestão de Recursos Hídricos e Agricultura Irrigada.

Moderador: Prof. Aziz Galvão (DER-UFV/DWFI)

Pesquisas do Instituto Water for Food para a Segurança Hídrica e Alimentar

Prof. Christopher Neale, Diretor Científico DWFI/UNL

Potencial da Agricultura Irrigada no Oeste da Bahia

Prof. Everardo Mantovani, DEA-UFV

Projeto Urucuia: Estudos e Modelagem de Águas Subterrâneas

Profs. Eduardo Marques, DEC-UFV e Gerson Silva, DGP-UFRJ.

Projeto Urucuia: Estudos e Modelagem de Águas Superficiais

Prof. Fernando Pruski, DEA-UFV

[2] As palestras estão disponibilizadas no site www.agroplusufv.com.br/projeto-urucuia

Projeto Urucuia: Uso da Terra e Segurança Hídrica Alimentar e Energética

Marcos Heil Costa, DEA-UFV.

Participação: Delegação do Nebraska, pesquisadores dos projetos, dirigentes e técnicos da AIBA/ABAPA, representantes de Sindicatos Rurais, dirigentes e técnicos de Instituições do Governo da Bahia. Representantes dos Poderes Executivo, Legislativo e Judiciário, ONG's, acadêmicos e veículos de comunicação.

4) REUNIÃO TÉCNICA SOBRE O PROJETO DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL HÍDRICO DO OESTE DA BAHIA

27/02/2018 TERÇA-FEIRA, 09:00

Local: *Secretaria de Desenvolvimento Econômico*. 4ª Avenida, 415 - Centro Administrativo da Bahia, Salvador - BA, CEP 41745-002, Brasil.

Atividades: Reunião técnica sobre o estudo do potencial hídrico da região Oeste da Bahia. Estiveram presentes representantes da AIBA, do SPRLEM, da Empresa Floryl (Srs. Per Knudsen e Alexandre de Salles), além de instituições que já conduzem trabalhos na região, entre estas a CPRM (Sras. Cristine Silva, Leonize Oliveira e Sr. Paulo Villar), CODEVASF (Sras, Priscila Martinez e Layse Gonçalves e Sr. George Carvalho), CREA-BA (Sra. Gabriela Ataíde), além de representantes da UFV, UFRJ, UCSAL (Prof. Hermes Barros) e DWFI/UNL. O Prof. Troy Gilmore do DWFI/UNL apresentou os trabalhos desenvolvidos em conjunto pelas diversas instituições deste estado. A importância da interação entre as instituições foi também destacada pelo Prof. Gerson Silva.

Participação: Prof. Gerson da Silva (UFRJ), Prof. Everardo Mantovani (UFV), Prof. Troy Gilmore (DWFI/UNL), Dra. Alessandra Chaves e Eng. Glauciana Araújo (AIBA) e Sra. Carminha Missio (SPRLEM)

5) SEGUNDA REUNIÃO COM O MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DA BAHIA

27/02/2018 TERÇA-FEIRA, 13:00

Local: *Ministério Público do Estado da Bahia.* 5ª Avenida Centro Administrativo da Bahia, 750 - Centro Administrativo da Bahia, Salvador - BA, 41745-004. Brasil.

Atividades: As questões discutidas na reunião do dia anterior foram aprofundadas, bem como assuntos específicos de interesse da região Oeste e do Ministério Público. A reunião contou com a presença das Promotoras Exmas. Sras. Cristina Seixas Luciana Khoury e do Assessor Técnico Eng. Zuri Pessoa. Informações adicionais sobre o projeto foram apresentadas e discutidas. Considerando que o Ministério Público dispõe de uma equipe de apoio com diferentes formações técnicas e experiências, foi proposto pelo Prof. Everardo Mantovani (UFV) um intercambio técnico para discutir temas relacionados a sustentabilidade da irrigação e gestão dos recursos hídricos. A proposta teve apoio de todos.

Participação: Sr. Celestino Zanella (AIBA), Prof. Everardo Mantovani (UFV), Sra. Carminha Missio (SPRLEM), Dra Alessandra Chaves e Sra. Catiane Magalhães (AIBA).

6) AUDIÊNCIA COM O GOVERNADOR DO ESTADO DA BAHIA, SR. RUI COSTA

27/02/2018 TERÇA-FEIRA, 14:00

Local: *Governadoria do Estado da Bahia*. 3a Avenida Centro Administrativo da Bahia, 390 - Sussuarana, Salvador - BA, CEP 41745-005. Brasil.

Atividades: Audiência com o Governador do Estado da Bahia, Sr. Rui Costa, com a presença dos Secretários de Estado Srs. Victor Bonfim (SEAGRI), José Geraldo Reis (SEMA) e Cássio Peixoto (SIHS) na qual foram apresentados os projetos em andamento na região Oeste da Bahia e as atividades globais desenvolvidas pelo Instituto *Water for Food* da Universidade do

Nebraska e os projetos do Departamento de Recursos Naturais do Nebraska e Distrito de Recursos Naturais *Upper Republican*. A continuidade dos projetos e o fomento ao desenvolvimento da agricultura familiar foram temas discutidos. O Sr. Governador destacou as ações no Estado na área de recursos hídricos entre eles o projeto "Água para Todos" e os resultados de iniciativas envolvendo a agricultura familiar coordenados pela Secretaria de Desenvolvimento Rural (SDR).

Participação: Delegação do Nebraska, pesquisadores dos projetos, dirigentes e técnicos da AIBA/ABAPA e Presidente do SPRLEM.

7) VISITA À ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (APA) BACIA DO RIO DE JANEIRO

28/02/2018 QUARTA-FEIRA, 14:00

Local: *Sede do Projeto.* Cachoeira Acaba Vida. Luís Eduardo Magalhães, BA. Brasil.

Atividades: Visita às instalações da Área de Proteção Ambiental (APA) da Bacia do Rio de Janeiro. O histórico e a estrutura do projeto de implantação do plano de manejo e criação do Conselho Gestor da APA da Bacia do Rio de Janeiro foi apresentada e discutida. A APA ocupa uma área de aproximadamente 350 mil hectares e engloba toda a bacia hidrográfica do Rio de Janeiro. Na apresentação foi destacada a importância ambiental, social e cultural para a região. O projeto envolveu diversas Instituições da Região Oeste da Bahia, Governo do Estado e da sociedade civil e contou com apoio do Instituto AIBA e dos Produtores Rurais.

Participação: Delegação do Nebraska, pesquisadores dos projetos, dirigentes e técnicos da AIBA/ABAPA e Presidente do SPRLEM.

8) VISITA À FAZENDA DECISÃO RIO BRANCO

28/02/2018 QUARTA-FEIRA, 15:00:

Local: *Fazenda Decisão Rio Branco.* Rod. Anel da Soja, km 25 a esq. Estrada do Café, km 18 - Zona Rural, Barreiras - BA, CEP 47800-000. Brasil.

Atividades: Visita à Fazenda Decisão Rio Branco. Foram apresentados pelos proprietários e gerentes a estrutura administrativa, a infraestrutura de armazenamento, mecanização agrícola captação e distribuição de água, equipamentos de irrigação, campos de cultivo e sistemas de controle e monitoramento do uso da água para irrigação (sistema Irriger). Também foram visitadas as áreas de preservação ambiental conforme as exigências legais (áreas de preservação permanente e reserva legal). Os diretores do empreendimento agrícola apresentaram e discutiram dados sobre o manejo e produtividade das culturas de soja, milho, milheto e algodão.

Participação: Delegação do Nebraska, pesquisadores dos projetos, dirigentes e técnicos da AIBA/ABAPA e Presidente do SPRLEM.

9) VISITA À FAZENDA MARIINHA – PERÍMETRO IRRIGADO RIACHO GRANDE

01/03/2018 QUINTA-FEIRA, 08:00:

Local: *Fazenda Mariinha.* Estrada de Acesso à BR 135 - Zona Rural, Riachão das Neves - BA, CEP 47970-000. Brasil.

Atividades: Visita à Fazenda Mariinha, de propriedade do Sr. Josiel Menezes que atua na produção de frutas, olerícolas e mudas de banana. O Sr. Cisino Lopes (AIBA), o Sr. Aurélio

Soares (Gerente do Perímetro NUPEBA/Riacho Grande) e o Sr. Cícero Tavarez (Gerente do Perímetro Barreiras Norte) apresentaram o histórico e a estrutura do Perímetros Irrigados da CODEVAF. Em seguida o Sr. Josué Menezes, apresentou as áreas de produção irrigadas e as instalações de hidroponia, produção de mudas e pós-colheita foram visitadas e os procedimentos produtivos foram apresentados e discutidos. A propriedade é um caso de sucesso da irrigação na agricultura familiar e da utilização racional dos recursos hídricos na produção de frutas (banana e mamão) e olerícolas em sistema de hidroponia. A propriedade otimiza o uso dos recursos produtivos aproveitando parte dos subprodutos para a alimentação de animais (bovinos, caprinos, ovinos e peixes) e os resíduos orgânicos para a adubação na área de cultivo. O proprietário da área visitada também é um difusor de tecnologia para os produtores vizinhos e de outros perímetros irrigados.

Participação: Delegação do Nebraska, pesquisadores dos projetos, dirigentes e técnicos da AIBA/ABAPA e Presidente do SPRLEM.

10) VISITA À FAZENDA ENCANTO DAS FRUTAS - PERÍMETRO IRRIGADO RIACHO GRANDE

01/03/2018 QUINTA-FEIRA, 10:00:

Local: *Fazenda Encanto das Frutas.* Estrada de Acesso à BR 135 - Zona Rural, Riachão das Neves - BA, CEP 47970-000. Brasil.

Atividades: Visita à Fazenda Encanto das Frutas de produção de côco e cacau no Perímetro Irrigado Riacho Grande. Com acompanhamento do Sr. Aurélio Soares da Cunha, gerente executivo dos Perímetros Irrigados Nupeba e Riacho Grande (DNR). Na oportunidade foram visitadas as instalações de processamento pós-colheita e as áreas de produção de côco e cacau, e também apresentados e discutidos os procedimentos produtivos utilizados. A propriedade é uma das pioneiras na implantação da cacauicultura no Oeste da Bahia, com expectativa de produção de cacau de alta qualidade para o mercado externo. O potencial desta cultura na região foi discutido, destacando-se a expectativa de alta produtividade e menores riscos de doenças fúngicas, como a vassoura de bruxa.

Participação: Delegação do Nebraska, pesquisadores dos projetos, dirigentes e técnicos da AIBA/ABAPA e Presidente do SPRLEM.

11) II SEMINÁRIO INTERNACIONAL: GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RECURSOS HÍDRICOS NA AGRICULTURA IRRIGADA: Pesquisa, Políticas Públicas, Extensão Rural e Participação dos Agricultores do Nebraska, USA e do Oeste da Bahia, Brasil

01/03/2018 QUINTA-FEIRA, 14:00

Local: *Auditório da AIBA.* Av. Aylon Macedo, 919 - Morada Nobre, Barreiras - BA, 47810-035. Brasil.

Atividades: O seminário contou com a participação de cerca de 180 pessoas e teve como foco a gestão sustentável dos recursos hídricos para a agricultura irrigada e a importância da pesquisa, políticas públicas, extensão rural e participação dos agricultores. A experiência do Nebraska foi apresentada por representantes de todos os segmentos envolvidos diretamente na gestão dos recursos hídricos neste estado, ou seja, o Governo Estadual, os produtores rurais, a sociedade local através dos Distritos de Recursos Naturais, a pesquisa e a extensão rural.

Após as apresentações do Nebraska, os projetos do convênio AIBA-UFV foram discutidos sendo apresentados os resultados parciais. O Diretor de Águas do INEMA, Sr. Eduardo Topázio, apresentou as ações do estado e destacou a interação e a expectativa de ampliação do envolvimento do Governo do Estado nos trabalhos. Os temas das palestras[3] estão descritos a seguir.

ABERTURA: AIBA/ABAPA

Moderador: Sr. Celestino Zanella AIBA

Dr. Peter McCornick - Diretor Executivo DWFI/UNl - NE

Sr. Celestino Zanella - Presidente AIBA,

Sr. Júlio Cezar Busato – Presidente ABAPA,

Prof. Everardo Mantovani - UFV e Coordenador do Convênio AIBA/Prodeagro-UFV

Palestra de abertura: Segurança Hídrica e Alimentar Mundial

Peter McCornick, Diretor Executivo DWFI/UNL

SESSÃO 1: Experiências de Gestão de Recursos Hídricos e Agricultura Irrigada:

[3] As palestras estão disponibilizadas no site www.agroplusufv.com.br/projeto-urucuia

Moderador: Prof. Aziz Galvão (DER-UFV/DWFI)

Agricultura no Nebraska – Perspectiva Produtor Rural

Jerry Stahr, Produtor Rural do Condado de York, Nebraska

Governança de Recursos Hídricos: Estudos de Casos

Prof. Nicholas Brozovic - Diretor de Política DWFI

Gestão de Recursos Hídricos no Nebraska: Projetos do Depto. de Recursos Naturais.

Jesse Bradley - Diretor de Programas e Projetos DNR-NE

Distrito de Recursos Naturais Upper Republican: Projetos

Jasper Fanning - Gerente Geral do Distrito de Recursos Naturais (NRD) Upper Republican

Potencial da Agricultura Irrigada no Oeste da Bahia.

Sr. Júlio Cezar Busato, Presidente ABAPA

SESSÃO 2: Pesquisa Científica e Extensão Rural no Nebraska.

Moderador: Prof. Aziz Galvão – UFV/DWFI

Pesquisas para agricultura irrigada de alta produtividade

Prof. Christopher Neale, Diretor Científico DWFI/UNL

Pesquisa aplicada em hidrologia e hidrogeologia. Serviço de pesquisa e conservação da Universidade do Nebraska

Prof. Troy Gilmore, Professor DFWI/UNL

Extensão rural em irrigação no Nebraska

Prof. Daran Rudnik - Extensionista DWFI/UNL

SESSÃO 3: Estudo do Potencial do Hídrico do Oeste da Bahia:

Moderador: Prof. Everardo Mantovani (DEA-UFV)

Avaliação da Disponibilidade dos Recursos Hídricos Superficiais no Oeste da Bahia:
Prof Fernando Pruski, DEA-UFV

Avaliação da Disponibilidade dos Recursos Subterrâneos (Aquífero Urucuia) no Oeste da BA
Prof Eduardo Marques, DEC-UFV

Uso do Solo, Balanço de Carbono e Taxa de Recarga do Aquífero Urucuia

Prof. Everardo Mantovani, DEA-UFV, representando o Prof. Marcos Costa, DEA-UFV

Participação: Delegação do Nebraska, pesquisadores dos projetos, dirigentes e técnicos da AIBA/ABAPA, representantes de sindicato rural e dirigentes e técnicos do Governo da Bahia. Lideranças rurais, representantes do poder público local e regional (prefeitos, secretários municipais, promotores, polícia militar), ONG's, representantes de comitês de bacias, acadêmicos e veículos de comunicação.

12) REUNIÃO COM OS COMITÊS DE BACIA DO RIO GRANDE E DO RIO SÃO FRANCISCO

02/03/2018 SEXTA-FEIRA, 07:00

Local: *Sala de reuniões AIBA/ABAPA*. Av. Aylon Macedo, 919 - Morada Nobre, Barreiras - BA, 47810-035.

Atividades: Reunião com membros dos Comitês das Bacias Hidrográficas do Rio Grande e do Rio São Francisco. A diretoria do comitê de bacia do Rio Grande (CBHG), representado pela Presidente Sra. Elisa Zanella, e representantes do Comitê de Bacia do Rio São Francisco (CBHSE) e da Câmara Consultiva Regional do Médio São Francisco (CCRMSF) apresentaram os desafios enfrentados pelos comitês de bacias hidrográficas. Estiveram presentes o Prof. Almir Neto (Assessor de Relações Nacionais e Internacionais da UFOB), o Eng. Saul Reis (Coordenador Regional do INEMA), o Sr. Eduardo Topázio (Diretor de Águas do INEMA) , Sr. Demóstenes Júnior (Secretário de Meio Ambiente do Município de Barreiras), Eng. Paulo Baqueiro (AEAB e membro do CBHG), Sr. Cláudio Ápio (ACRIOESTE e membro do CBHG) e o Sr. Siderlon Lopes (representante da Sociedade Civil e membro do CBHG). A importância dos resultados dos projetos e a necessidade de estudos de análises na área de governança foram destacados, bem como a importância da capacitação de recursos humanos.

Participação: Sr. Júlio Busato (ABAPA), Sr. Landino José Dutkievicz (AIBA), Sr. Valter Gatto (AIBA), Sr. Hélio Hopp (AIBA), Sr. Armando Sá (AIBA), Dra. Alessandra Chaves (AIBA), Glauciana Araújo (AIBA), Dr. Helmuth Kiekhöfer (IABA), Prof. Christopher Neale (DWFI) e Profs. Everardo Mantovani e Aziz Galvão (UFV).

13) WORKSHOP INTERNO: AVALIAÇÃO E DISCUSSÃO DE PROJETOS POTENCIAIS EM PARCERIA COM O NEBRASKA

02/03/2018 SEXTA-FEIRA, 09:00

Local: *Auditório da AIBA*. Av. Aylon Macedo, 919 - Morada Nobre, Barreiras - BA, CEP 47810-035. Brasil.

Atividades: Reunião de avaliação das ações desenvolvidas e discussão dos projetos potencias e parcerias com o Nebraska: i) Modelagem e Discussão de Sistemas de Monitoramento dos Recursos Hídricos (superficiais e subterrâneos) para o Oeste da Bahia; ii) Discussão e Proposição de Modelos de Governança dos Recursos Hídricos para o Oeste da Bahia; iii) Capacitação de Profissionais para Gestão dos Recursos Hídricos; iv) Implementação de Projetos de Desenvolvimento da Agricultura Familiar com utilização da irrigação no Vale da região Oeste da Bahia. Os participantes consideram que a visita atingiu os objetivos propostos e a ampliação da participação do Instituto *Water for Food* e organizações do Nebraska será detalhada em projetos específicos.

Participação: Delegação do Nebraska, pesquisadores dos projetos, dirigentes e técnicos da AIBA/ABAPA e Presidente do SPRLEM.

14) REUNIÃO COM PRODUTORES RURAIS DOS PERÍMETROS IRRIGADOS DE NUPEBA, BARREIRAS NORTE E RIACHO GRANDE

02/03/2018 SEXTA-FEIRA, 14:00

Local: *Sala de reuniões AIBA/ABAPA*. Av. Aylon Macedo, 919 - Morada Nobre, Barreiras - BA, CEP 47810-035. Brasil

Atividades: Reunião com o Sr. Aurélio Soares (Gerente Executivo do Perímetro Irrigado Nupeba e Riacho Grande), Sr. Orli Link (Presidente da Associação de Produtores Rural do Perímetro Irrigado Barreiras Norte, Sr. Cícero Tavares (Gerente Executivo do Perímetro irrigado Barreiras Norte), Prof. Francisco Reges (consultor técnico) e produtores rurais destes Perímetros Irrigados da CODEVASF. Os produtores apresentaram seus sistemas de produção e controle de irrigação. O Prof. Everardo Mantovani apresentou as tecnologias o sistema Irriplus de gestão da irrigação em pequenas e médias áreas irrigadas e a transferência dessa tecnologia. A Irriplus é uma empresa graduada do sistema UFV de Incubadora de Empresas de Base Tecnológica.

Participação: Prof. Everardo Mantovani e Prof. Aziz Galvão (UFV).

15) REUNIÃO COM INSTITUTO AIBA

02/03/2018 SEXTA-FEIRA, 15:00

Local: *Sala de reuniões AIBA/ABAPA*. Av. Aylon Macedo, 919 - Morada Nobre, Barreiras - BA, CEP 47810-035. Brasil.

Atividades: Reunião com o Instituto AIBA sobre capacitação de recursos humanos para a gestão sustentável de recursos hídricos no Oeste da Bahia. A proposta de um curso de aperfeiçoamento foi discutida, sendo definida a estrutura do curso, o corpo docente, a metodologia e a estrutura administrativa. O curso terá como objetivo formar lideranças na gestão dos recursos hídricos no Oeste da Bahia e contará com a participação de Professores da UFV, UFOB, UNEB, FASB, Universidade do Nebraska e especialistas da AIBA. O curso terá como uma das referências a experiência do Nebraska com a Academia de Formação de Líderes na Gestão de Recursos Hídricos "*Water Leader Academy*", na qual profissionais com formação em diversas áreas desenvolvem trabalhos em equipe focados em desafios regionais e locais. Esta metodologia permite aos alunos aplicarem conceitos teóricos em condições específicas, interagindo com profissionais de diversos setores. O curso também prevê a realização de uma visita técnica ao Nebraska, na qual os participantes terão a oportunidade de conhecer in locu as experiências e projetos apresentados pela delegação do Nebraska durante a visita à Bahia. O curso terá inicío no segundo semestre de 2018

Participação: Dr. Helmult Kiekhöfer, Dra. Alessandra Chaves, Eng. Glauciana Araújo, Prof. Everardo Mantovani, Prof. Aziz Galvão (UFV) e Acadêmico Ruã Coutinho (UFV)

16) PARTICIPAÇÃO NO EVENTO PASSARELA DA SOJA

03/03/2018 SÁBADO, 07:00

Local: *Campo Experimental da Fundação Bahia*. Rodovia BR 020/242, S/N - Zona Rural, Luís Eduardo Magalhães - BA, 47850-000, Brasil

Atividades: Participação em uma das estações do evento "Passarela da" Soja, organizado pela Fundação Bahia e EMBRAPA. Foram feitas cinco apresentações para grupos de cerca de 500 pessoas onde o professor Everardo discorreu sobre a parceria, objetivo e importância do projeto que está estudando os recursos hídricos superficiais e subterrâneo e o uso do solo na região Oeste da Bahia. O foco principal foi explicitar como o conhecimento científico poderá auxiliar no debate sobre o tema, fornecendo informações que permitam por um lado tranquilidade social e, por outro, estabilidade e desenvolvimento da agricultura irrigada do Oeste da Bahia.

Participação: Sr. Celestino Zanella (AIBA), Sr. Júlio Busato (ABAPA) e Prof. Everardo Mantovani (UFV)

17) VISITA À FAZENDA MODELO PAULO MIZOTE DA AIBA

03/03/2018 SÁBADO 08:00:

Local: *Fazenda Decisão Rio Branco.* Rod. Anel da Soja, km 25 a esq. Estrada do Café, km 18 - Zona Rural, Barreiras - BA, CEP 47800-000, Brasil.

Atividades: Visita à Fazenda Modelo Paulo Mizote. Os projetos desenvolvidos pelo Instituto AIBA, em especial o Programa Jovem Aprendiz, coordenado pelo IAIBA, CETEP e o SENAR/FAEB/SPRB, com apoio da CODEVASF e do Ministério do Trabalho foram apresentados. O Prof. Aziz Galvão visitou as instalações da Fazenda Modelo, que incluem infraestrutura para aulas, laboratório de entomologia, instalações para processamento de alimentos e campos experimentais com as culturas de algodão, soja, mandioca, milho, fruteiras e olericulturas. O Superintendente do Instituto AIBA, Dr. Helmuth Kiekhöfer destacou a interação do laboratório de entomologia com empresas de defensivos, através da disponibilização de insetos para o desenvolvimento de produtos e controle biológico específicos para a região. A interação com o curso de Nutrição, que utiliza as instalações da cozinha industrial para aula práticas, foi destacada pela Profa. Adriana Kiekhöfer, Pró-Reitora de Administração e Infraestrutura da UFOB. Durante a visita, foi discutida uma proposta de projeto na área de agricultura irrigada para a agricultura familiar, com foco na formação de jovens oriundos do curso Jovens Aprendizes e de propriedades rurais familiares da região. A ex-aluna Camila comentou sobre sua experiência positiva na escola e sobre expectativas dos agricultores familiares da região.

Participação: Dr. Helmult Kiekhöfer (IAIBA), Profa. Adriana Kiekhöfer (UFOB), Dra. Alessandra Chaves e Eng. Glauciana Araújo (AIBA), Prof Aziz Galvão (UFV) e Acadêmico Ruã Coutinho (UFV)

ORGANIZAÇÕES REPRESENTADAS NAS REUNIÕES, VISITAS E SEMINÁRIOS

Instituições Públicas

1. ADAB: Agência de Defesa Agropecuária da Bahia
2. ALBA: Assembleia Legislativa da Bahia
3. CASA CIVIL: Casa Civil do Governo do Estado da Bahia
4. CERB: Companhia Ambiental e de Recursos Hídricos da Bahia
5. EMBASA: Empresa Baiana de Água e Saneamento
6. GOVERNADORIA DA BAHIA: Gabinete do Governador do Estado da Bahia
7. INCRA: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
8. INEMA: Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia
9. MPBA: Ministério Público do Estado da Bahia
10. PMBA/CPRO: Polícia Militar da Bahia / Comando de Policiamento Regional Oeste
11. PREFEITURA DE BARREIRAS, BA
12. PREFEITURA DE LUÍS EDUARDO MAGALHÃES, BA
13. PREFEITURA DE SALVADOR, BA
14. SEAG- BARREIRAS: Secretaria da Agricultura de Barreiras, BA.
15. SEAG-LEM: Secretaria da Agricultura de Luís Eduardo Magalhães, BA
16. SEAGRI: Secretaria de Agricultura, Pecuária, Irrigação Pesca e Aquicultura do Estado da Bahia.
17. SEINFRA: Secretaria de Infraestrutura do Estado da Bahia
18. SEMA: Secretaria de Meio Ambiente do Estado da Bahia
19. SEMA-CORRENTINA: Secretaria de Meio Ambiente de Correntina, BA
20. SEMA-LUÍS EDUARDO: Secretaria de Meio Ambiente de Luís Eduadro Magalhães, BA
21. SEMA-RIACHÃO DA NEVES: Secretaria de Meio Ambiente de Riachão da Neves, BA
22. SEMATUR: Secretaria de Meio Ambiente e Turismo de Barreiras, BA
23. SEPLAN: Secretaria de Planejamento do Estado da Bahia
24. SIHS: Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento do Estado da Bahia

Organizações de Representação de Produtores Rurais, Agroindústrias e Profissionais

25. ABAF: Associação Baiana das Empresas de Base Florestal
26. ABAPA: Associação de Produtores de Algodão da Bahia
27. ACRIOESTE: Associação dos Criadores de Gado do Oeste da Bahia
28. AEAB: Associação dos Engenheiros Agrônomos de Barreiras
29. AIBA: Associação de Produtores e Irrigantes da Bahia

30. APROBAN: Associação do Produtores do Barreiras Norte
31. COOLIBA: Cooperativa de Trabalho dos Profissionais Liberais da Bahia
32. CREA-BA: Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura da Bahia
33. FAEB/AGROPOLO: Federação da Agricultura do Estado da Bahia
34. FIEB: Federação das Indústrias do Estado da Bahia
35. FUNDEAGRO: Fundo para o Desenvolvimento do Agronegócio do Algodão
36. SINDIFIBRAS: Sindicato das Indústrias de Fibras Vegetais no Estado da Bahia
37. SPRB: Sindicato dos Produtores Rurais de Barreiras
38. SPRLEM: Sindicato dos Produtores Rurais de Luís Eduardo Magalhães

Organizações de Governança de Recursos Hídricos

39. CBHC: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Corrente
40. CBHG: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Grande
41. CBHSF: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco
42. CCRMSF: Câmara Consultiva Regional do Médio São Francisco
43. CODETER: Colegiado de Desenvolvimento Territorial da Bacia do Rio Grande
44. CODEVASF: Companhia de Desenvolvimento do Vale do Rio São Francisco e Parnaíba
45. CONERH: Conselho Estadual dos Recursos Hídricos – Bahia
46. CPRM: Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais

Instituições de Ensino, Pesquisa e Extensão

47. CETEP-OESTE: Centro Territorial de Educação Profissional da Bacia do Rio Grande
48. FASB: Faculdade São Francisco, Barreiras.
49. FUNDAÇÃO BAHIA: Fundação de Pesquisa da Bahia
50. UCSAL: Universidade Católica de Salvador
51. UFBA: Universidade Federal da Bahia
52. UFOB: Universidade Federal do Oeste da Bahia
53. UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro
54. UFV: Universidade Federal de Viçosa
55. UNEB: Universidade Estadual da Bahia
56. UNOPAR: Universidade do Oeste do Paraná: Núcleo Luís Eduardo Magalhães

Empresas Agrícolas e Florestais

57. AGRI BRASIL: Empresa Agrícola
58. FAZENDA COLOMOTIN: Empresa Agrícola
59. FAZENDA ENCANTO DAS FRUTAS: Propriedade Rural Encanto das Frutas
60. FAZENDA KANSAS: Empresa Agrícola
61. FAZENDA MARIA: Empresa Agrícola

62. FAZENDA MARIINHA: Propriedade Rural Mariinha
63. FAZENDA VALE : Empresa Agrícola
64. FAZENDA VALE DO URSO: Empresa Agrícola
65. FAZENDA VIDA MANSA: Empresa Agrícola
66. FAZENDA ZUTTION: Empresa Agrícola
67. FAZENDAS BUSATO: Empresa Agrícola
68. FAZENDAS DECISÃO : Empresa Agrícola
69. FLORYL: Empresa Florestal
70. NORDESTE FLORESTAL E AGRÍCOLA: Empresa Agrícola e Florestal
71. SANTA COLOMBA: Empresa Agrícola
72. SANTA RITA DE CASSIA: Empresa Agrícola
73. SCHMIDT AGRÍCOLA: Empresa Agrícola
74. SEMENTES OLEIMA: Sementes Oleima
75. SLC: Empresa Agrícola
76. TRIFLORA: Empresa Agrícola

Empresas de Insumos, Processamento e Serviços e Veículos de Comunicação

77. ADM: Empresa de Comercialização e processamento
78. AMAGGI SLC: Empresa de comercialização e processamento
79. BAHIA DE VALOR: Portal de Notícias
80. CETREL: Empresa de Tratamento de Efluente
81. FOCKINK: Indústria de Eq. de Irrigação
82. IRRIGABEM: Empresa de Irrigação
83. IRRIGER: Empresa de irrigação
84. KALLIANDRA: Empresa de Transporte
85. PIVODRIP: Empresa de Irrigação
86. R DENER: Empresa de Perfuração de Poços
87. SANDERSON CONSULTORIA E PLANEJAMENTO: Empresa de Serviço
88. TV ARATU / REDE SBT: Rede SBT de Televisão
89. TV ASSEMBLEIA: TV Assembleia
90. TV BAHIA/ REDE GLOBO: Rede Globo de Televisão
91. TV CAMARA: TV Assembleia
92. UFC ENGENHARIA: Consultoria
93. VALMONT: Indústria de Eq. de Irrigação

Instituições Finaceiras e de Agências de Fomento

94. BB: Banco do Brasil
95. BNB: Banco do Nordeste do Brasil
96. DESENBAHIA: Agência de Fomento do Estado da Bahia SA.

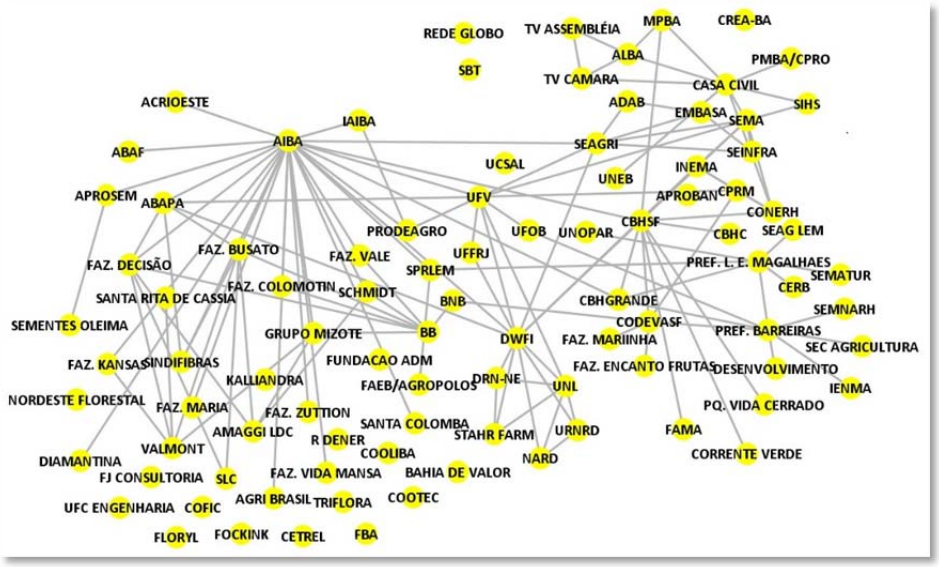
Organizações Não Governamentais, Fundações e Institutos

97. 10-ENVOLVIMENTO: Organização Ambiental
98. AMINA: Associação Amigos da Natureza
99. CABER: Cooperativa dos Catadores de Produtos Recicláveis de Barreiras e Região Oeste da Bahia
100. CORRENTE VERDE: Associação Ambientalista Corrente Verde
101. FAMA: Fórum Alternativo Mundial da Água
102. FUNDACAO ADM: Fundação de Empresa de Comercialização e Processamento Agrícola
103. IAIBA: Instituto AIBA
104. PARQUE VIDA CERRADO: Área de Conservação
105. PRODEAGRO: Programa de Desenvolvimento do Agronegócio

Instituições do Estado do Nebraska, USA

106. DRN-NE: Departamento de Recursos Naturais do Nebraska
107. DWFI/UNL : Instituto *Water for Food* da Universidade do Nebraska
108. NARD: Associação de Distritos de Recursos Naturais do Nebraska
109. STAHR FARM: Fazenda Família Stahr, York – Nebraska.
110. UNL: Universidade de Nebraska-Lincoln
111. URNRD: Distrito de Recursos Naturais Upper Republican

Estas organizações e seus funcionários mantêm vínculos profissionais entre si e a análise desta rede é altamente relevante para os projetos na área de monitoramento, difusão de informações, capacitação e, especialmente, governança dos recursos hídricos. Um modelo inicial e incompleto de "análise de redes sociais" é apresentado a seguir.



Rede de relacionamentos (versão incompleta) entre as organizações participantes das ações

CONTATOS

Delegação do Nebraksa:

- **Dr. Peter McCornick.** Diretor Executivo DWFI/UNL
- **Prof. Christopher Neale**. Diretor Científico DWFI/UNL
- **Prof**. **Nicholas Brozovic**. Diretor de Política DWFI/UNL
- **Prof. Aziz Galvão S. Junior**. Pesquisador Visitante do DWFI/UNL, Prof. DER-UFV.
- **Sr Jasper Fanning**. Gerente Geral do Distrito de Recursos Naturais (NRD) Upper Republican.
- **Sr. Jesse Bradley**, Diretor de Programas e Projetos do Depto. de Recursos Naturais do Estado de Nebraska (DNR).
- **Sr. Jerry Stahr**, Produtor Rural no condado de York, NE
- **Prof. Daran Rudnik**, Extensionista especializado em Irrigação DWFI/UNL
- **Prof. Troy Gilmore**. Professor de Hidrologia e Hidrogeologia DWFI/UNL

Organizações de Produtores (AIBA / IAIBA / ABAPA / SRLEM/SRB)

- **Sr. Celestino Zanella***: Presidente da AIBA, Produtor Rural
- **Sr. Júlio César Busato*:** Presidente da ABAPA, Produtor Rural
- **Sra. Carminha Missio*:** Presidente do SPRLM, Produtora Rural
- **Sr. Moises Schmidt:** Presidente do SPRB, Produtor Rural
- **Dra. Alessandra Chaves:** Biologa, DS Botânica. Diretora de Meio Ambiente AIBA
- **Engª. Glauciana Araújo:** Agrônoma. Gerente de Projeto AIBA
- **Engº. Cisino Lopes:** Agronômo. Diretor de Águas e Irrigação AIBA
- **Dr. Helmuth Kieckhofer:** Médico Veterinário. Superintendente do Instituto AIBA

Equipe de Pesquisadores

- **Prof. Everardo Mantovani*: Professor,** DEA, UFV, Eng. Agrícola; PhD
- **Prof. Aziz Galvão da Silva Júnior*:** Professor, DER, UFV, Agronomo, PhD, Pos Doc
- **Prof. Fernando Falco Pruski*:** Professor, DEA, UFV, Eng. Agrícola; UFV, Pos Doc
- **Prof. Marcos Heil Costa:*** Professor, DEA, UFV; Eng. Agrícola, PhD, Pos Doc
- **Prof. Eduardo Antônio Gomes Marques*:** Professor, DEC, UFV; Geológo, PhD, Pos Doc
- **Prof. Gerson Cardoso da Silva Júnior*:** Professor, DGP - UFRJ, Geólogo, PhD.
- **Prof. Luiz Gustavo Henriques do Amaral**: Professor, CCET-UFOB, Eng. Mecânica, PhD

Governo da Bahia e Assembléia Legislativa

- **Governador Sr. Rui Costa.** Governador do Estado da Bahia
- **Secretario Sr. Vitor Bonfim*:** Secretário da SEAGRI Governo da Bahia

- **Sr. José Geraldo dos Reis Santos*:** Secretário a SEMA Governo da Bahia
- **Sr. Cássio Ramos Peixoto:** Secretário da SIHS Governo da Bahia
- **Sr. José Olímpio Rabelo de Morais*:** Diretor de Revitalização de Bacias Hidrográficas - SIHS
- **Sra. Márcia C. T. de Araújo Lima*:** Diretora Geral INEMA
- **Sr. Eduardo Farias Topázio*:** Diretor de Águas INEMA

Assembleia Legislativa

- **Sr. Eduardo Salles*:** Deputado Estadual da Bahia; Ex-Secretario da SEAGRI;

* participantes da delegação brasileira que visitou o Nebraska em abril de 2017.

MAPAS GEOREFERENCIADOS DAS ATIVIDADES REALIZADAS

Localização das atividades realizadas em Salvador 1) Workshop Interno, 2) 1ª. Reunião no Minisério Público , 3) I Seminário Internacional e 4) Reunião Técnica sobre o Aquífero Urucuia e 5) 2ª. Reunião no Ministério Público e 6) Audiência com o Governador, Sr. Rui Costa

Localização das atividades realizadas no Oeste da Bahia: 7) Visita APA Rio de Janeiro, 8) Visita Fazenda Decisão, 9) Visita Fazenda Mariinha, 10) Visita Fazenda Encanto das Frutas, 11) II Seminário Internacional, 12) Reunião Comitês de Bacias Hidrográficas do Rio Grande e Rio São Francisco, 13) Workshop Interno, 14) Reunião com Produtores Rurais Distrito de Irrigação, 15) Reunião com Instituto AIBa, 16) Visita Fazenda Modelo AIBA, 17) Participação no evento Passarela da Soja.

Repercussão na Mídia:

Os seminários foram noticiados pelas afiliadas regionais de duas grandes redes nacionais de TV privadas (Rede Globo e SBT) e duas afiliadas das redes públicas, TV Câmara e TV Assembleia.

1. TV BAHIA / REDE GLOBO: http://g1.globo.com/bahia/bahia-rural/videos/v/aplicativo-que-vai-mostrar-nivel-de-agua-do-rio-urucucuia-deve-ser-lancado-este-mes/6546796/
2. TV ASSEMBLEIA: https://www.youtube.com/watch?v=v7WqTRvZTXk
3. TV ARATU / REDE SBT:
4. TV CAMARA:

Os principais jornais de Salvador e Barreiras, além de diversos veículos de comunicação na internet noticiaram o evento:

5. A Tarde, Evento debate potencial hídrico da Bahia: http://www.atarde.uol.com.br/bahia/salvador/noticias/1938901-evento-debate-potencial-hidrico-da-bahia
6. Correio, Áreas Irrigadas do Oeste Baiano podem aumentar em 10 vezes após pesquisa: http://www.correio24horas.com.br/noticia/nid/areas-irrigadas-do-oeste-baiano-podem-aumentar-em-10-vezes-apos-pesquisa/
7. Jornal da Mídia, Pesquisa científica descarta possibilidade de escassez de água no Oeste da Bahia, http://www.jornaldamidia.com.br/2018/02/24/pesquisa-cientifica-descarta-possibilidade-de-escassez-de-agua-no-oeste-da-bahia/
8. Cerrado Editora, Meio ambiente: estudo hídrico é apresentado por irrigantes no Oeste da Bahia. http://cerradoeditora.com.br/cerrado/meio-ambiente-estudo-hidrico-e-apresentado-por-irrigantes-no-oeste-da-bahia/

9. Jornal Dia a Dia, Pesquisa científica descarta possibilidade de escassez de água no Oeste da Bahia: http://jornaldiadia.com.br/2016/?p=396388
10. Diário Oficial, ALBA sedia da Assembleia Legislativa da Bahia, http://www.al.ba.gov.br /midia-center/noticia/28720
11. Mais Oeste, Pesquisa científica descarta possibilidade de escassez de água no Oeste da Bahia: http://www.maisoeste.com.br/2018/03/06/pesquisa-cientifica-sobre-potencial-hidrico-do-oeste-da-bahia-e-apresentada-a-populacao-da-regiao/
12. ABAPA, Pesquisa científica descarta possibilidade de escassez de água no Oeste da Bahia: http://abapa.com.br/mais-noticias/pesquisa-cientifica-sobre-potencial-hidrico-da-bahia-descarta-possibilidade-de-escassez-de-agua-na-regiao/
13. Jornal Classe A, Pesquisa científica descarta possibilidade de escassez de água no Oeste da Bahia: https://www.classealem.com.br/single-post/2018/03/01/Pesquisa-cient%C3%ADfica-sobre-potencial-h%C3%ADdrico-da-Bahia-descarta-possibilidade-de-escassez-de-%C3%A1gua-na-regi%C3%A3o
14. Jornal Expresso, Projeto vai quantificar potencial hídrico da região Oeste da Bahia. https://jornaloexpresso.wordpress.com/2018/02/28/projeto-vai-quantificar-potencial-hidrico-da-regiao-oeste-da-bahia/
15. Agrolink, Bahia tem potencial hídrico para ampliar a irrigação. https://www. agrolink.com.br/noticias/bahia-tem-potencial-hidrico-para-ampliar-irrigacao_393548.html
16. Novoeste, http://www.novoeste.com/index.php?page=destaque&op=readNews&id=33871
17. Destak Notícia, Pesquisa científica sobre potencial hídrico do Oeste da Bahia é apresentada à população da região. http://www.destaknoticia.com/v2/2018/03/03/ pesquisa-cientifica-sobre-potencial-hidrico-do-oeste-da-bahia-e-apresentada-a-populacao-da-regiao/
18. Cebolinha Notícias, Pesquisa científica sobre potencial hídrico do Oeste da Bahia é apresentada à população da região http://cebolinhanoticias.com.br/pesquisa-cientifica-sobre-potencial-hidrico-do-oeste-da-bahia-e-apresentada-populacao-da-regiao/
19. Novoeste, http://www.novoeste.com/index.php?page=destaque&op=readNews&id=33912
20. Hailton Pereira, http://www.hailtonpereira.com/2018/03/pesquisa-cientifica-sobre-potencial.html
21. Folha Geral, https://www.folhageral.com/noticia/bahia/barreiras/2018/03/pesquisa-cientifica-sobre-potencial-hidrico-do-oeste-da-bahia-e-apresentada-populacao-da-regiao/#axzz58sBDoqfK
22. Fala Barreiras, http://www.falabarreiras.com/pesquisa-cientifica-sobre-potencial-hidrico-da-bahia-descarta-possibilidade-de-escassez-de-agua-na-regiao/#.Wp_2AWrwaM8
23. AgroplusUFV, http://www.agroplusufv.com.br/i-seminario-salvador
24. Acarajé com Pimenta, https://acarajecompimenta.com.br/v1/evento-debate-potencial-hidrico-da-bahia/

4 Pos-Doutorado Prof. Aziz Galvão

LOCAL: Daugherty Water for Food Global Institute at the University of Nebraska-Lincoln, USA.

SUPERVISOR: Prof. Christopher Neale, DWFI-UNL)

TÍTULO: GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS NA AGRICULTURA: MODELOS DE GOVERNANÇA E DECISÕES DOS AGRICULTORES NO OESTE DA BAHIA, BRASIL E NO ESTADO DE NEBRASKA, EUA

Os objetivos propostos para o treinamento de pós-doutorado foram alcançados. Os resultados obtidos contribuíram para a discussão de modelos de gestão sustentável dos recursos hídricos no Oeste da Bahia, através da comparação entre os modelos de gestão do Nebraska e da Bahia e da avaliação dos impactos econômicos nas propriedades rurais. As atividades desenvolvidas reforçaram a perspectiva de continuidade e ampliação dos projetos em andamento e a implementação de novas iniciativas no âmbito da parceria entre a Associação dos Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Daugherty Water for Food Institute da Universidade de Nebraska-Lincoln (DWFI-UNL) e o Governo do Estado da Bahia. Durante o treinamento, 13 artigos científicos e de divulgação foram produzidos, sendo 10 já publicados e 5 a serem submetidos. As reuniões com organizações, empresas, produtores rurais e orgãos governamentais chaves para a gestão dos recursos hídricos e a agricultura do Nebraska e Oeste da Bahia, além da participação em eventos científicos, feira agropecuária, dia de campo e visitas técnicas permitiram obter informações4 e interagir com usuários e grupos de interesse. Neste sentido organizou-se, em conjunto com a Coordenação do convênio UFV/AIBA e Diretoria do DWFI-UNL, a visita de uma delegação do Nebraska a Bahia. A delegação foi composta por Diretores do Governo do Estado e de um Distrito de Recursos Naturais, um Produtor Rural, além de Diretores, Pesquisadores e Extensionistas do Instituto Water for Food da Universidade do Nebraska. Entre as atividades realizadas, listadas a seguir, destacam-se a audiência com o Governador do Estado da Bahia, Sr. Rui Costa e os dois seminários internacionais com a participação de cerca de 300 profissionais, representando mais 110 empresas. As atividades tiveram repercussãon e foram divulgadas em mais de 20 veículos de comunicação da Bahia5.

Do ponto e vista científico e de extensão universitária, as atividades tiveram impactos positivos, com a aprovação e início do projeto de pesquisa "Segurança Hídrica, Alimentar e Energética no Oeste da Bahia", financiado pelo CNPq. Este projeto amplia o escopo do convênio e permite a continuidade e aprofundamento das análises dos impactos na agricultura do Oeste da Bahia. O projeto é coordenado pelo Prof. Marcos Heil Costa (DEA-UFV) e conta também com a participação do Prof. Christopher Neale (DWFI-UNL), supervisor do treinamento de pos-doutorado. Outros cinco projetos em parceria entre a UFV e DWFI, AIBA e Governo da Bahia estão em discussão e serão apresentados no próximo semestre ao

[4] A obtenção de dados e informações foi realizada seguindo os procedimentos recomendados e o questionário aprovado pela Comissão de Ética e Pesquisa em Seres Humanos da UFV, conforme parecer 2.416.382

[5] O relatório detalhado em português e inglês, incluindo a lista com todas as organizações presentes, está disponível na internet. O relatório em português até agosto de 2018 tem mais de 290 acessos.

Prodeagro/Aiba, demonstrando as perspectivas positivas de consolidação e ampliação da parceria entre a UFV, AIBA, DWFI, além da AIBA e Governo da Bahia. Estes projetos envolvem também como parceiros ou potenciais financiadores as principais organizações brasileiras e internacionais relacionadas à gestão de recursos hídricos na agricultura, como a Agência Nacional de Águas (ANA), Serviço Geológico Brasileiro (CPRM), Comitês de Bacias do Rio Grande e do Rio São Francisco, Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), Banco Mundial (WB) e a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), além do possível envolvimento de empresas. Adicionalmente, está sendo discutido uma proposta a ser apresentada pelo Insituto Water for Food e a University of Nebraska Foundation para a empresa de fertilizantes Mosaic de desenvolvimento da agricultura familiar no Oeste da Bahia. A proposta, caso aprovada, terá como coordenadores o Profs Christopher Neale e Aziz Galvão e contará com a participação do Prof. Everardo Mantovani e alunos de pós-graduação.

Os resultados e as atividades desenvolvidas, o projeto financiado pelo CNPq em andamento e as perspectivas positivas de novos projetos em parceria com o DWFI, contribuem para a internacionalização e fortalecimento da área de Administração Rural do Departamento de Economia Rural da UFV. Além da parceria com colegas da UFV e de outras Universidades, tais iniciativas abrem também a possibilidade de envolvimento direto de colegas das áreas de extensão rural, economia dos recursos naturais e políticas públicas do DER em parceria com instituições internacionais e nacionais altamente representativas. Do ponto de vista de ensino, os projetos já envolvem alunos do curso de Gestão do Agronegócio como bolsistas dos projetos em andamento e a aprovação de novos projetos ampliará a inserção de alunos de graduação e também de pós-graduação dos programas do DER.

ATIVIDADES

06/04/2017 QUINTA: REUNIÃO VALLEY. Local: Valley, NE, USA. Atividades: Reunião com João Rebequi sobre aplicações de Análise de Redes Sociais e potencial da agricultura irrigada na produção de alimentos.

24/08/2017 QUINTA: DIA DE CAMPO (TAPS) – SERVICO DE EXTENSÃO RURAL DA UNIVERSIDADE DO NEBRASKA – LINCOLN. Local: WCREC, North Platte, NE, USA. Atividades: Participação no dia de campo organizado pelo centro de pesquisa e extensão Oeste da Universidade de Nebraska (The University of Nebraska West Central Research & Extension Center).

08/09/2017 QUINTA: REUNIÃO VALLEY. Local: Valley, NE, USA. Atividades: Reunião com João Rebequi (Diretoria Valley/Valmont-USA) e Dimas Silva (Gerência de Marketing da Valley/Valmont- Brasil) sobre aplicações de Análise de Redes Sociais e ações e potencial da agricultura irrigada na produção de alimentos.

14/09/2017 QUINTA: HUSKER HARVEST DAYS. Local: Grand Island, NE, USA. Atividades: Visita e reuniões na feira Husker Harvest Days com empresas e organizações americanas. Valmont, USDA, Dept. Recursos Naturais do Nebraska e Associação dos NRD (Distritos de Recursos Naturais). Contato com pesquisadores e extensionistas da Univ. do Nebraska e visita ao stand do Instituto Water for Food.

25 e 26/09/2017 QUINTA: NRD ANNUAL CONFERENCE. Local: Kearney, NE, USA . Atividades: Conferência Anual da Associação dos Distritos dos Recursos Naturais do Nebraska. Participação em palestras e contatos com representantes dos NRDs, Departamento

de Recursos Naturais do Nebraska, Instituições de Pesquisa e Empresas envolvidas no sistema de Gestão dos Recursos Hídricos no Nebraska.

14/11/2017 TERÇA: REUNIÃO ABDIAS MACHADO (WALMART BRASIL) . Local: teleconference. Atividades: Apresentação do convênio entre a AIBA/Prodeagro e UFV/Funarbe e o treinamento de pos-doutorado. Apresentação e discussão do programa "Clube do Produtor" do grupo Walmart, focando no possível interesse e possibilidade de implementação de um projeto para o Oeste da Bahia no âmbito deste programa. A participação da gerência de sustentabilidade do grupo Walmart em reuniões no Oeste da Bahia foi pre-agendada.

17/11/2017 SEXTA: REUNIÃO LAMECK ODHIAMBO (DWFI). Local: Lincoln, NE, USA. Atividades: Reunião com o Prof. Lameck Odhiambo, Professor da Faculdade de Engenharia do Instituto de Agricultura e Recursos Naturais na Universidade de Nebraska-Lincoln. Apresentação dos projetos em desenvolvimento no Oeste da Bahia e projetos de pivô central compartilhado por agricultores familiares em Uganda, Quênia e Tanzânia.

23/11/2017 QUINTA: VISITA PROPRIEDADE RURAL. Local. Spalding, NE, USA. Atividades: Visita a propriedade produtora de gado de corte e grãos (irrigados) no Estado de Nebraska.

ATIVIDADES DESENVOLVIDOS DURANTE VISITA DA DELEGAÇÃO DO NEBRASKA A BAHI (VER RELATÓRIO VISITA)

26/02/2018 SEGUNDA: WORKSHOP INTERNO: GOVERNANÇA E INFRAESTRUTURA DE RECURSOS HÍDRICOS E AGRICULTURA IRRIGADA DO ESTADO DA BAHIA.

26/02/2018: PRIMEIRA REUNIÃO COM O MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DA BAHIA.

26/02/2018 SEGUNDA: I SEMINÁRIO INTERNACIONAL: PESQUISA CIENTÍFICA PARA POLÍTICAS PÚBLICAS DE GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS: Os exemplos do Nebraska, USA e do Oeste da Bahia,

27/02/2018 TERÇA: AUDIÊNCIA COM O GOVERNADOR DO ESTADO DA BAHIA, SR. RUI COSTA.

28/02/2018 QUARTA: VISITA À ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (APA) BACIA DO RIO DE JANEIRO .

28/02/2018 QUARTA: VISITA À FAZENDA DECISÃO RIO BRANCO.

01/03/2018 QUINTA: VISITA À FAZENDA MARIINHA – PERÍMETRO IRRIGADO RIACHO GRANDE.

01/03/2018 QUINTA: VISITA À FAZENDA ENCANTO DAS FRUTAS - PERÍMETRO IRRIGADO RIACHO GRANDE.

01/03/2018 QUINTA: II SEMINÁRIO INTERNACIONAL: GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RECURSOS HÍDRICOS NA AGRICULTURA IRRIGADA: Pesquisa, Políticas Públicas, Extensão Rural e Participação dos Agricultores do Nebraska, USA e do Oeste da Bahia, Brasil.

02/03/2018 SEXTA: REUNIÃO COM OS COMITÊS DE BACIA DO RIO GRANDE E DO RIO SÃO FRANCISCO .

02/03/2018 SEXTA: WORKSHOP INTERNO: AVALIAÇÃO E DISCUSSÃO DE PROJETOS POTENCIAIS EM PARCERIA COM O NEBRASKA.

02/03/2018 SEXTA: REUNIÃO COM PRODUTORES RURAIS DOS PERÍMETROS IRRIGADOS DE NUPEBA, BARREIRAS NORTE E RIACHO GRANDE.

02/03/2018 SEXTA: REUNIÃO COM INSTITUTO AIBA.

03/03/2018 SÁBADO: VISITA À FAZENDA MODELO PAULO MIZOTE DA AIBA.

26/04/2018 QUINTA: WATER FOR FOOD RESEARCH FORUM.

Local: Nebraska East Union, Lincoln, NE.

Atividades: Participação
no 2018 Water for Food Research Forum: Leaders of Tomorrow: Water and Food Security In novations from Soil to Satellites. Facilitador do grupo de discussão Improving the Groundwater Governance, o qual contou com a participação de professores e pesquisadores dos Departamentos de Economia Agrícola e Agronomia, técnico do setor de energia (Lincoln Electric System) e do Distrito de Recurso Natural Papio-Missouri.

04/05/2018: Reunião com Empresa Mosaic.

Local: Teleconference com Unidade Mosaci Plymouth, Minnesota.

Atividades: Reuniao projetos na área de educação ambiental e técnicos (sustentabilidade) na região Oeste da Bahia

15/05/2018: Visita do Secretário de Meio Ambiente da Bahia a UFV e III Workshop Agronegócio Sustentável. Local: UFV. Atividades: Organização e participação, via teleconferência da visita do Secretário e do Workshop no qual os resultados dos projetos no âmbito do convênio UFV/AIBA foram discutidos. Foi discutido também a agenda para a Visita do Governador do Estado da Bahia, Sr. Rui Costa ao Nebraska e ao Banco Mundial em Washington.

30/05/2018: Teste UAS. Local: ENRE (Eastern Nebraska Research and Extension -University of Nebraska), Mead, NE. Atividades: Acompanhamento de testes com equipamento VANT (veículos aéreos não tripulados) em campos experimentais no âmbito de pesquisas de monitoramento de recursos hídricos na agricultura irrigada (sensoriamento remoto aplicada à agricultura de precisão).

13/06/2018: Reunião com o Superintendente Adjunto de Planejamento de Recursos Hídricos da ANA. Local: Instituto Water for Food, Lincoln, NE. Atividades: Reunião com o Sr. Flávio Troeger, técnicos da ANA e técnico do US Amry Crops of Engineers de Omaha para apresentação e discussão dos projetos em andamento e propostas para o Oeste da Bahia.

14/06/2018. Reunião com Diretor da divisão de conservação e pesquisa (conservation and Survey Division) da Universidade do Nebraska (CSD-UNL). Local: Hardin Hall. Atividades: Reunião com o Diretor do CSD-UNL, Prof. Matt Joeckel e os Profs. Christopher Neale e Troy Gilmore sobre as possibilidades de parcerias em o DWFI-UFV-AIBA e o CSD em projetos de monitoramento no Oeste da Bahia.

5 Workshops

5.1 Workshop Gestão Sustentável – UFV

I WORKSHOP - GESTÃO SUSTENTÁVEL NO AGRONEGÓCIO: SOLUÇÕES INTEGRADAS PARA A AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO E MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS

11 e 12/05/2016 – Auditório da Economia Rural – UFV

Foram realizadas palestras na tarde do dia 11 e o enfoque foi a importância e o engajamento da "sustentabilidade" dentre as diversas vertentes do agronegócio. Os palestrantes foram: Sr. Alan Jorge Bojanic (Representante FAO no Brasil); Sr. Fábio Diniz (Analista da EMBRAPA Gado de Leite); Sr. Júlio Cézar Busato (Produtor Rural e Diretor-presidente da AIBA); Sr. Bernhard Kiep (Produtor Rural e Ex-executivo AGCO, CNH e Valmont); Sr. Jairo Andrade (Analista de projetos do Banco do Brasil); e Sr. Guilherme Raucci (Analista Socioambiental da Fundação Espaço Eco).

No dia seguinte, representantes de grupos de estudo e pesquisa da UFV reuniram-se com os convidados, incluindo o Sr. Pedro Arcuri (Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento da EMBRAPA Gado de Leite) e Larissa Sarmento (Setor de Inovação da Algar Agro), com finalidade de apresentarem seus trabalhos e discutirem possíveis parcerias em projetos ligados às organizações e a Universidade. Os grupos participantes foram: Administração Rural (Prof. Aziz Galvão – AGROPLUS, DER), Manejo de Recursos Hídricos (Prof. Everardo Mantovani, Prof. Catariny Alemán e Prof. Fernando Cunha – GESAI, DEA), Mudanças Climáticas (Prof. Marcos Heil – Interação Atmosfera-Biosfera, DEA), Planejamento e Uso do Solo (Prof. João Luiz Lani – NEPUT, DPS), Manejo de Água e Solo (Prof. Fernando Pruski e Prof. Sílvio Bueno – GPRH, DEA), Olericultura (Prof. Carlos Nick e Prof. Derly Silva – NEO, DFT), Integração Lavoura Pecuária Floresta (Prof. Laércio Jacovine – DEF), Ecotoxicologia de Inseticidas (Prof. Raul Guedes – DBA) e Mecanização Agrícola (Prof. Francisco de Assis – DEA).

II WORKSHOP "GESTÃO SUSTENTÁVEL NO AGRONEGÓCIO: POTENCIAL DA AGRICULTURA IRRIGADA NO OESTE DA BAHIA"

12/06/2017 – Auditório da Biblioteca Central – UFV

O evento aconteceu em dois momentos. No primeiro, ocorreu um encontro na sala de reuniões do Departamento de Economia Rural, onde estavam presentes o Sr. Celestino

Zanella, presidente da AIBA (Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia), os professores Aziz Galvão (DER), João Luiz Lani (DPS), Fernando Pruski (DEA) e Ana Louise Fiúza (Chefe do DER), além de alunos de doutorado participantes do Projeto Urucuia. O Sr. Zanella apresentou sua visão sob o potencial de irrigação para a região do Oeste da Bahia e citou os motivos pela escolha da Universidade Federal de Viçosa para a parceria no projeto.

O Professor Aziz Galvão explicou sobre as primeiras iniciativas relacionadas ao Projeto Urucuia e o que já foi realizado. Também foi explicada a importância da viagem realizada ao Nebraska (EUA) e como as experiências existentes nesse estado poderão ser utilizadas no projeto a ser implantado na Bahia. Em seguida, o professor João Luiz Lani, coordenador do NEPUT (Núcleo de Estudos de Planejamento e Uso da Terra) explicou ao Sr. Celestino Zanella o que é e as áreas de atuação do seu núcleo, além de comentar sobre a importância de um trabalho na área de educação ambiental. O professor Fernando Pruski comentou sobre sua experiência na Bahia Farm Show e sobre as expectativas dos produtores baianos em relação ao Projeto. Além disso, mencionou a possibilidade de intercâmbio de projetos entre a UFV e a Universidade Federal do Oeste da Bahia, em parceria com alguns dos professores de lá. Por fim, a doutoranda Emily Ane da Silva, orientada pelo professor Marcos Heil Costa, comentou sobre o estudo que ela está realizando junto ao professor, o qual tem como objetivo avaliar o avanço da agricultura no Oeste da Bahia desde a década de 1980 e, a partir disso, fazer um trabalho de programação de uso do solo.

Na segunda etapa, aconteceu o Workshop no auditório da Biblioteca Central da UFV, onde estavam presentes os professores da primeira reunião, a família do Sr. Celestino Zanella e 170 estudantes de graduação e pós-graduação da universidade. A professora Ana Louise Fiúza abriu o evento relatando a importância da sustentabilidade para o desenvolvimento da agricultura brasileira. Também foi citado por ela o caso do estado de Nebraska nos EUA, onde os agricultores financiam pesquisas cientificas para o desenvolvimento de técnicas para a agricultura, o que não é comum no Brasil. Em seguida, o professor Aziz Galvão fez uma apresentação sobre a "Governança dos Recursos Hídricos – A experiência do estado de Nebraska, USA", na qual ele explicou o histórico do Projeto Urucuia, citando os Workshops anteriores que foram decisivos para o início do Projeto.

O professor também falou sobre a experiência no Nebraska e a viagem realizada por pesquisadores, professores e representantes governamentais a esse estado.

Na sequência, o professor Aziz fez uma apresentação sobre o "Potencial da agricultura irrigada na região Oeste da Bahia", apresentação enviada pelo professor Everardo Mantovani, que não pode estar no evento.

Para encerrar as apresentações da noite, o Sr. Celestino Zanella apresentou sobre a AIBA – Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia, sobre as ações da Associação e sobre as características edafoclimáticas da agricultura na região no Oeste da Bahia. Em sua apresentação, o Sr. Zanella mencionou que o objetivo do projeto é alcançar uma área irrigada no mínimo cinco vezes maior que a atual na região.

III WORKSHOP GESTÃO SUSTENTÁVEL NO AGRONEGÓCIO: GOVERNANÇA COMO FATOR DE GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS

O evento contou com a participação do professor do Departamento de Engenharia Agrícola - Everardo Mantovani, o Secretário Estadual de Meio Ambiente da Bahia (SEMA) - José Geraldo Reis, o diretor de Águas do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) - Eduardo Topázio e o vice-presidente da AIBA -Luiz Pradella e o Programa de Extensão do Departamento de Economia Rural - Agroplus. Foram abordados os temas: "A política e Ações da Bahia na Área Ambiental", "Gestão Ambiental e de Recursos Hídricos na Bahia", "Sustentabilidade da Agricultura na Região Oeste da Bahia". O evento contou com a presença de mais de 200 estudantes, representantes da reitoria e chefes de departamentos e centros de ciências.

No dia seguinte, o Secretário Estadual do Meio Ambiente da Bahia SEMA - Sr. José Geraldo dos Santos Reis, o Diretor de Águas do instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Sr. Eduardo Topázio, o vice presidente da AIBA - Luiz Antonio Pradella, os professores envolvidos no projeto Urucuia e o Programa de Extensão Agroplus UFV reuniram no Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental com o objetivo de apresentar os

resultados obtidos ao longo da pesquisa "Segurança Hídrica, Alimentar e Energética no Oeste da Bahia" (CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

O início das apresentações se deu com o Professor Fernando Pruski sobre o tema: "Quantificação da disponibilidade hídricas das bacias dos Rios Grande, Corrente e Carinhanha" e os dados obtidos durante o estudo e o desenvolvimento, que foram expostos através do software SIHBA-oeste (ferramenta para análise das vazões superficiais). Através do Professor Eduardo Marques foram expostos os resultados parciais do "Estudo hidrológico e modelagem numérica de fluxo do aquífero Urucuia: balanço hídrico e estimativa de recursos exploráveis" tendo como base a coleta de dados feita pelos institutos: INEMA, SIAGAS, RIMAS, a análise da interação das águas superficiais e subterrâneas, e por fim a modelagem numérica (Madflow). O Professor Marcos Heil apontou o tema: "Uso do solo, propriedades do solo, balanço hídrico e de carbono no oeste da Bahia", utilizando como base o período de 1990 a 2016, onde buscou-se quantificar mudanças no uso do solo, as propriedades físicas, o balanço regional de águas e carbono e desenvolver uma plataforma online de visualização dos dados.

WORKSHOP GESTÃO SUSTENTÁVEL - BAHIA

I SEMINÁRIO INTERNACIONAL: PESQUISA CIENTÍFICA PARA POLÍTICAS PÚBLICAS DE GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS: Os exemplos do Nebraska, USA e do Oeste da Bahia, Brasil

26/02/2018 SEGUNDA-FEIRA, 14:00

Local: *Sala das Comissões. Assembleia Legislativa do Estado da Bahia*. 1ª Avenida, 130 - Centro Administrativo da Bahia, Salvador - BA, CEP 41745-001. Brasil.

Atividades: O seminário contou com a participação de cerca de 120 pessoas e teve como foco a importância da pesquisa científica para a formulação de políticas públicas para a segurança

hídrica e alimentar. Após as sessões, ocorreram discussões sobre os temas entre os palestrantes e o público presente. Os temas das palestras[6] estão descritos a seguir.

ABERTURA: Governo do Estado da Bahia, AIBA, UFV, DWFI:

Moderador: Secretário Vitor Bonfim.

Sr. Vitor Bonfim, Secretário SEAGRI,

Sra. Márcia Telles, Diretora Geral INEMA e Sr. Eduardo Topázio, Diretor de Águas INEMA

Dr. Peter McCornick, Diretor Executivo DWFI/UNL

Sr. Celestino Zanella, Presidente AIBA,

Prof. Everardo Mantovani, UFV e Coordenador do Convênio AIBA/PRODEAGRO-UFV

Palestra de abertura: Segurança Hídrica e Alimentar Mundial

Peter McCornick, Diretor Executivo DWFI/UNL

SESSÃO 1: Governança dos Recursos Hídricos:

Moderador: Prof. Aziz Galvão (DER-UFV/DWFI)

Lições sobre Governança das Águas Subterrâneas.

Prof. Nicholas Brozovic, Diretor de Políticas DFWI/UNL

Governança de Recursos Hídricos no Nebraska.

Dr. Jesse Bradley, Diretor de Projetos do DNR-NE

Distritos de Recursos Naturais (NRD) e o NRD Upper Republican.

Sr. Jasper Fanning, Gerente Geral do NRD Upper Republican e Diretor da Associação NRD-NE

Governança de Recursos Hídricos na Bahia.

Dra. Márcia Telles, Diretora Geral INEMA

SESSÃO 2: Pesquisa Científica, Gestão de Recursos Hídricos e Agricultura Irrigada.

Moderador: Prof. Aziz Galvão (DER-UFV/DWFI)

Pesquisas do Instituto Water for Food para a Segurança Hídrica e Alimentar

Prof. Christopher Neale, Diretor Científico DWFI/UNL

Potencial da Agricultura Irrigada no Oeste da Bahia

Prof. Everardo Mantovani, DEA-UFV

Projeto Urucuia: Estudos e Modelagem de Águas Subterrâneas

Profs. Eduardo Marques, DEC-UFV e Gerson Silva, DGP-UFRJ.

Projeto Urucuia: Estudos e Modelagem de Águas Superficiais

Prof. Fernando Pruski, DEA-UFV

Projeto Urucuia: Uso da Terra e Segurança Hídrica Alimentar e Energética

Marcos Heil Costa, DEA-UFV.

[6] As palestras estão disponibilizadas no site www.agroplusufv.com.br/projeto-urucuia

II SEMINÁRIO INTERNACIONAL: GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RECURSOS HÍDRICOS NA AGRICULTURA IRRIGADA: Pesquisa, Políticas Públicas, Extensão Rural e Participação dos Agricultores do Nebraska, USA e do Oeste da Bahia, Brasil

01/03/2018 QUINTA-FEIRA, 14:00

Local: *Auditório da AIBA.* Av. Aylon Macedo, 919 - Morada Nobre, Barreiras - BA, 47810-035. Brasil.

Atividades: O seminário contou com a participação de cerca de 180 pessoas e teve como foco a gestão sustentável dos recursos hídricos para a agricultura irrigada e a importância da pesquisa, políticas públicas, extensão rural e participação dos agricultores. A experiência do Nebraska foi apresentada por representantes de todos os segmentos envolvidos diretamente na gestão dos recursos hídricos neste estado, ou seja, o Governo Estadual, os produtores rurais, a sociedade local através dos Distritos de Recursos Naturais, a pesquisa e a extensão rural.

Após as apresentações do Nebraska, os projetos do convênio AIBA-UFV foram discutidos sendo apresentados os resultados parciais. O Diretor de Águas do INEMA, Sr. Eduardo Topázio, apresentou as ações do estado e destacou a interação e a expectativa de ampliação do envolvimento do Governo do Estado nos trabalhos. Os temas das palestras[7] estão descritos a seguir.

ABERTURA: AIBA/ABAPA

Moderador: Sr. Celestino Zanella AIBA

Dr. Peter McCornick - Diretor Executivo DWFI/UNl - NE

Sr. Celestino Zanella - Presidente AIBA,

Sr. Júlio Cezar Busato – Presidente ABAPA,

Prof. Everardo Mantovani - UFV e Coordenador do Convênio AIBA/Prodeagro-UFV

Palestra de abertura: Segurança Hídrica e Alimentar Mundial

Peter McCornick, Diretor Executivo DWFI/UNL

[7] As palestras estão disponibilizadas no site www.agroplusufv.com.br/projeto-urucuia

SESSÃO 1: Experiências de Gestão de Recursos Hídricos e Agricultura Irrigada:

Moderador: Prof. Aziz Galvão (DER-UFV/DWFI)

Agricultura no Nebraska – Perspectiva Produtor Rural

Jerry Stahr, Produtor Rural do Condado de York, Nebraska

Governança de Recursos Hídricos: Estudos de Casos

Prof. Nicholas Brozovic - Diretor de Política DWFI

Gestão de Recursos Hídricos no Nebraska: Projetos do Depto. de Recursos Naturais.

Jesse Bradley - Diretor de Programas e Projetos DNR-NE

Distrito de Recursos Naturais Upper Republican: Projetos

Jasper Fanning - Gerente Geral do Distrito de Recursos Naturais (NRD) Upper Republican

Potencial da Agricultura Irrigada no Oeste da Bahia.

Sr. Júlio Cezar Busato, Presidente ABAPA

SESSÃO 2: Pesquisa Científica e Extensão Rural no Nebraska.

Moderador: Prof. Aziz Galvão – UFV/DWFI

Pesquisas para agricultura irrigada de alta produtividade

Prof. Christopher Neale, Diretor Científico DWFI/UNL

Pesquisa aplicada em hidrologia e hidrogeologia. Serviço de pesquisa e conservação da Universidade do Nebraska

Prof. Troy Gilmore, Professor DFWI/UNL

Extensão rural em irrigação no Nebraska

Prof. Daran Rudnik - Extensionista DWFI/UNL

SESSÃO 3: Estudo do Potencial do Hídrico do Oeste da Bahia:

Moderador: Prof. Everardo Mantovani (DEA-UFV)

Avaliação da Disponibilidade dos Recursos Hídricos Superficiais no Oeste da Bahia: Prof Fernando Pruski, DEA-UFV

Avaliação da Disponibilidade dos Recursos Subterrâneos (Aquífero Urucuia) no Oeste da BA Prof Eduardo Marques, DEC-UFV

Uso do Solo, Balanço de Carbono e Taxa de Recarga do Aquífero Urucuia

Prof. Everardo Mantovani, DEA-UFV, representando o Prof. Marcos Costa, DEA-UFV

Participação: Delegação do Nebraska, pesquisadores dos projetos, dirigentes e técnicos da AIBA/ABAPA, representantes de sindicato rural e dirigentes e técnicos do Governo da Bahia. Lideranças rurais, representantes do poder público local e regional (prefeitos, secretários municipais, promotores, polícia militar), ONG's, representantes de comitês de bacias, acadêmicos e veículos de comunicação.

6 Reuniões com Parceiros

1) COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS NATURAIS – CPRM

a) Rio de Janeiro – 12/07/2018

Engenheiro Frederico Paulo Peixinho e equipe

b) 8º Fórum Mundial das Águas - Brasília – 22/03/2018

Dr. Paulo Romano e equipe

c) Brasília – 04/09/2018

Presidente Esteves Pedro Colnago e equipe

d) Brasília – 29/10/2018

Presidente Esteves Pedro Colnago e equipe

e) Brasília – 19/12/2018

Presidente Esteves Pedro Colnago e equipe e Reitora da UFV Nilda de Fátima Soares.

2) AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA

a) Brasília – 04/09/2018

Superintendente Rodrigo Flexa e equipe

b) Brasília – 29/10/2018

Superintendente Rodrigo Flexa e equipe.

3) EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA

a) EMBRAPA Territorial – Brasília - 21/03/2016

Pesquisador Paulo A. V. Barroso

b) EMBRAPA Presidência - Brasília – 24/01/2019

Presidente Sebastião Barbosa e equipe

c) EMBRAPA Representante – Viçosa – 25/03/2019

Pesquisador Lineu Neiva Rodrigues

4) SEMA e INEMA

a) Viçosa – 16/05/2018

Secretário José Geraldo e Diretor Eduardo Topázio

b) Salvador – 27/11/2018

Diretora Marcia Telles, Diretor Eduardo Topázio e equipe

5) ASSOCIAÇÃO DE AGRICULTORES E IRRIGANTES DA BAHIA - AIBA:

- Diversas reuniões em Barreiras, Salvador, Brasília e Viçosa com a equipe de gestão da AIBA (Celestino Zanella e Júlio Busato) e com os técnicos (Alessandra, Cisino, Glaucia, Natalie, Enéas).

a) UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - UFOB a) Viçosa - 13/08/2018

Professor Luiz Gustavo do Amaral e equipe

6) WATER FOR FOOD GLOBAL INSTITUTE

a) 8º Fórum Mundial das Águas - Brasília – 22/03/2018

Professor Nicholas Brozovic e equipe

Outras reuniões já citadas anteriormente.

INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO NA REGIÃO OESTE DA BAHIA

EQUIPE

Coordenação
Luís Gustavo Henriques do Amaral (UFOB)
luis.gha@gmail.com

Fernando Falco Pruski (UFV)
ffpruski@ufv.br

Estagiários:
Juremá Ariana Oliveira Silva (UFOB/bolsista PIBIC/CNPq)
Anderson Galindo Teixeira (UFOB/voluntário PIBIC)
Jhames Passos Sateles (UFOB/voluntário PIBIC)
Aline dos Santos de Carvalho (UNEB/estagiária)
Samuel Cerqueira Campos de Almeida (UFOB/voluntário PIBIC)
João Victor de Faria Wanderley (UFOB/voluntário PIBIC)
Inaldo Nóbrega da Cunha Filho (UFOB/voluntário PIBIC)
Miguel Inácio dos Santos Alcântara e Figueiredo (UFOB/voluntário PIBIC)
Karina dos Anjos de Oliveira (UFOB/voluntário PIBIC)
Marília Carmelita de Almeida Amorim (UFOB/voluntário PIBIC)

Sumário

Apresentação 333

Introdução.....334

Metodologia 335

Resultados e Discussão 344

Conclusões.....358

Referências bibliográficas.....359

Apresentação

Este relatório contém os resultados do projeto “Infiltração da água no solo em diferentes sistemas de cultivo na região Oeste da Bahia”, submetido ao edital PROPGPI/UFOB 04/2017 – PIBIC, executado dentro do projeto Estudo do potencial hídrico da região Oeste da Bahia: quantificação e monitoramento da disponibilidade dos recursos do Aquífero Urucuia e superficiais nas bacias dos Rios Grande, Corrente e Carinhanha.

Foi realizado com apoio logístico da Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia, de diversos alunos de iniciação científica dos cursos de Engenharia Civil e Engenharia Sanitária e Ambiental da UFOB, bem como de uma estagiária do curso de Engenharia Agronômica da UNEB. Além do apoio logístico da AIBA, diversos produtores rurais da região também concederam apoio ao projeto, permitindo a realização de ensaios de campo em suas propriedades, possibilitando que a pesquisa tivesse abrangência em toda a região Oeste de Bahia.

Neste relatório, são apresentados a metodologia utilizada na pesquisa e os seus resultados gerais, envolvendo testes de infiltração de água e análises físicas de solo realizados entre setembro de 2017 e junho de 2018. O trabalho abrangeu áreas situadas em sete propriedades rurais localizadas nos municípios de Correntina, Formosa do Rio Preto, Jaborandi, Luís Eduardo Magalhães e São Desidério, na região Oeste da Bahia, e envolveu a realização de mais de 200 testes de infiltração e a coleta de mais de 600 amostras deformadas e indeformadas de solo.

Espera-se que os resultados do projeto possam ser úteis aos produtores da região Oeste da Bahia na busca pela melhoria das práticas agrícolas e da qualidade dos solos e, principalmente, contribuam para as tomadas de decisão no que tange ao uso e à conservação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos da região. Além disso, espera-se que os frutos desse trabalho possam suscitar novas pesquisas para aprofundamento dos conhecimentos acerca da sustentabilidade hídrica do Sistema Aquífero Urucuia.

1 INTRODUÇÃO

Nas décadas de 1980 e 1990, a região Oeste da Bahia passou por um importante processo de expansão agropecuária, transformando-se na principal fronteira agrícola do Estado, que se tornou um grande produtor nacional de soja, milho, algodão, café e frutas (MENDONÇA, 2006). Esse processo acarretou profundas mudanças no uso e na ocupação do solo na bacia do rio Grande, ocasionando uma intensa exploração dos recursos hídricos (RODRIGUES, 2013).

Nos últimos 30 anos, o aumento na demanda de água para irrigação levou à redução da disponibilidade hídrica de alguns mananciais superficiais da região, fazendo com que alguns rios atingissem o seu limite legal máximo outorgável. Isso tem conduzido os segmentos produtivos a intensificarem a explotação e o uso das águas subterrâneas através da perfuração de poços tubulares profundos (SCHUSTER *et al.*, 2002; GASPAR, 2007; BARBOSA *et al.*, 2014).

O Sistema Aquífero Urucuia (SAU) é um importante manancial subterrâneo de água que se estende desde o sul do Piauí até o noroeste de Minas Gerais, abrangendo grande parte da região Oeste da Bahia (GASPAR, 2007). Esse manancial garante a perenidade de diversos afluentes nas bacias hidrográficas dos rios São Francisco e Tocantins, sendo responsável por cerca de 90% da descarga de base dos rios da região Oeste da Bahia (PIMENTEL *et al.*, 2000).

O processo de recarga do aquífero ocorre por infiltração da água das chuvas nas regiões de chapada, onde se situa grande parte das áreas agricultáveis da região. A supressão progressiva da vegetação de cerrado para a implantação de lavouras tem gerado muitos questionamentos acerca da sustentabilidade do SAU, já que as mudanças no uso e ocupação do solo podem ocasionar sua compactação e comprometer a sua capacidade de infiltração (GASPAR, 2007).

Nas áreas agricultáveis da região Oeste da Bahia, predominam os Latossolos de textura arenosa a média (FREITAS *et al.*, 2004). Nessas áreas, o preparo periódico do solo geralmente é feito com o uso de grades pesadas, arados, escarificadores ou subsoladores e grades niveladoras (FONTANA *et al.*, 2016). Em grande parte das lavouras da região, os sistemas de cultivo adotados visam à redução do revolvimento do solo, valendo-se de uma alternância de culturas bastante restrita que, aliada às limitações impostas pela estação seca bem definida, não possibilita uma boa cobertura do solo, o que tende a reduzir o armazenamento de carbono.

Com a redução do revolvimento do solo, geralmente ocorre um aumento da compactação do solo nas suas camadas superficiais, o que pode dificultar o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e resultar em redução da produtividade. A solução encontrada pelos produtores é proceder ao revolvimento do solo a cada três ou quatro anos, de modo a aumentar a porosidade e reduzir a densidade do solo.

Essa prática usualmente adotada pelos produtores da região Oeste da Bahia vem recebendo a denominação de "plantio na palha" para diferenciá-la do sistema de plantio direto. Este, por sua vez, é baseado no mínimo revolvimento do solo, aliado à rotação de culturas e a manutenção de uma cobertura do solo durante todo o ano. De acordo com Donagemma *et al.* (2008), os requisitos mínimos do sistema de plantio direto são o não revolvimento do solo, o uso de culturas de cobertura para formação de palhada e a rotação de culturas, baseada na integração entre as atividades agrícola, pecuária e florestal.

O sistema de plantio na palha, adotado pelos produtores da região Oeste da Bahia, implica em um atendimento parcial dos requisitos básicos do sistema de plantio direto. Neste último, só se pratica o revolvimento do solo nas linhas de semeadura e se preconiza uma maior diversificação de culturas, enquanto que no sistema de plantio na palha o revolvimento periódico do solo torna-se necessário para reduzir a sua densidade e aumentar a sua porosidade, visto que as condições climáticas dificultam a manutenção da cobertura no solo durante a estação seca.

Tendo em vista as características climáticas e as consequentes limitações existentes para a implantação de manejos conservacionistas nos solos agricultáveis da região Oeste da Bahia, torna-se necessário acompanhar as possíveis alterações na sua qualidade em decorrência do uso agrícola. A comparação da capacidade de infiltração do solo em diferentes condições de uso pode ser de grande valia para determinar os impactos dos manejos adotados. Além disso, o conhecimento do comportamento dessa variável em diferentes sistemas de cultivo pode auxiliar na quantificação dos impactos a médio e longo prazo da alteração no uso e ocupação do solo sobre a recarga do SAU.

Assim, o objetivo geral desse trabalho foi avaliar a capacidade de infiltração dos solos da região Oeste da Bahia localizados nas áreas de recarga efetiva do SAU, sob diferentes condições de uso e manejo.

2 Metodologia

O estudo foi realizado em sete propriedades rurais nos municípios de Correntina, Formosa do Rio Preto (localidade de Coaceral), Jaborandi, Luís Eduardo Magalhães e São Desidério (localidade de Roda Velha), na região Oeste da Bahia, sendo duas propriedades situadas na bacia do rio Corrente e cinco na bacia do rio Grande.

Nessas propriedades, buscou-se avaliar a capacidade de infiltração do solo em áreas não cultivadas, com vegetação de cerrado, e em áreas cultivadas sob diferentes sistemas de cultivo. A capacidade de infiltração de água no solo foi avaliada com infiltrômetros, procurando-se obter a taxa de infiltração estável em cada ponto analisado. Além disso, foram coletadas amostras deformadas de solo para análise granulométrica e amostras indeformadas para determinação da macroporosidade, da microporosidade, da porosidade total, da densidade do solo e da densidade de partículas nas diferentes áreas avaliadas.

Nos Quadros 1 a 5 são apresentadas as localizações e as descrições das áreas onde foram realizados os testes de infiltração e coletadas as amostras de solo. Nesses quadros, são apresentadas as particularidades de cada área, com foco nos manejos adotados nas áreas cultivadas, tanto em relação à mobilização do solo quanto à alternância de culturas, e nas condições das áreas de cerrado avaliadas. Também são apresentados os números de testes de infiltração realizados e os números de amostras coletadas. No total, foram avaliadas 18 áreas, sendo 5 de cerrado e 13 cultivadas.

Para facilitar a identificação das áreas, a cada uma foi atribuído um código de três letras e um número, sendo as letras para denotar o município onde está situada e o número para denotar o tipo de uso do solo. Todas as áreas identificadas com o código “0” são de cerrado, enquanto que as demais, com dígitos variando de “1” a “4”, são cultivadas. No caso das áreas cultivadas, quanto menor o número de identificação, mais recente foi a mobilização do solo, sendo que as áreas identificadas com o dígito “1” foram mobilizadas antes do plantio da safra 2017/2018.

Quadro 1 – Localização e descrição das áreas onde foram realizados os testes de infiltração e as coletas de solo no município de Formosa do Rio Preto.

Informações	Código de identificação da área				
	FRP-0	FRP-1	FRP-2	FRP-3	FRP-4
Propriedade	Fazenda Cabreúva	Fazenda Cabreúva	Fazenda Sr. João Carlos	Fazenda Pradella	Fazenda Pradella
Referência	Nos fundos da expansão do lote 21	Expansão do Lote 21	Ao lado da expansão do lote 21	Talhão 10, em frente à sede da fazenda	Talhão 3, ao lado da sede da fazenda
Coordenadas geográficas	10°38’07” S 45°42’10” O	10°38’03” S 45°42’15” O	10°37’54” S 45°42’14” O	10°23’04” S 45°31’51” O	10°22’30” S 45°32’03” O
Uso do solo	Cerrado *stricto sensu*	Soja, milho e algodão	Milho e soja, com cobertura de milheto	Soja e milho, com cobertura de milheto/capim	Soja e milho, com cobertura de milheto/capim
Manejo	Vegetação nativa bem conservada, sem resquício de queimada	Solo recém mobilizado, com subsolagem na linha de cultivo	Solo mobilizado pela última vez em 2015	Solo cultivado sob plantio direto, mobilizado pela última vez em 2008	Solo cultivado sob plantio direto, mobilizado pela última vez em 2002
Ano de abertura	-	2004	1996	2004	2001
Quantidade e época de realização dos testes de infiltração	8 (na estação seca)	16 (8 na estação seca e 8 na estação chuvosa)	16 (8 na estação seca e 8 na estação chuvosa)	-	8 (na estação chuvosa)
Quantidade de amostras deformadas coletadas	9	9	9	9	9
Quantidade de amostras indeformadas coletadas	27	27	27	27	27

Quadro 2 – Localização e descrição das áreas onde foram realizados os testes de infiltração e as coletas de solo no município de Luís Eduardo Magalhães.

Informações	Código de identificação da área		
	LEM-0	LEM-1	LEM-2
Propriedade	Fazenda Decisão	Fazenda Decisão	Fazenda Decisão
Referência	Ao lado da sede da fazenda	Pivô 13	Antiga Fazenda Eldorado
Coordenadas geográficas	11°45’38” S 45°46’23” O	11°46’35” S 45°47’37” O	11°46’26” S 45°42’49” O
Uso do solo	Cerradão	Soja, algodão, milho e feijão irrigados	Monocultura de soja há pelo menos sete anos, sem plantio de cultura de cobertura
Manejo	Vegetação nativa bem conservada, livre de queimada há mais de 10 anos	Solo cultivado sob plantio convencional, recém mobilizado	Última mobilização do solo anterior a 2010
Ano de abertura	-	1989	1990
Quantidade e época de realização dos testes de infiltração	8 (na estação seca)	16 (8 na estação seca e 8 na estação chuvosa)	16 (8 na estação seca e 8 na estação chuvosa)
Quantidade de amostras deformadas coletadas	9	9	9
Quantidade de amostras indeformadas coletadas	27	27	27

Quadro 3 – Localização e descrição das áreas onde foram realizados os testes de infiltração e as coletas de solo no município de São Desidério (Roda Velha)

Informações	Código de identificação da área			
	SDE-0	SDE-1	SDE-2	SDE-3
Propriedade	Fazenda Warpol	Fazenda Warpol	Fazenda Warpol	Fazenda Warpol
Referência	Próxima ao lote 1	Lote 14	Lote 7	Lote 1
Coordenadas geográficas	12°35’48” S 45°54’46” O	12°39’46” S 45°56’55” O	12°37’46” S 45°55’47” O	12°36’07” S 45°55’44” O
Uso do solo	Cerrado *stricto sensu*	Algodão e soja, com cobertura de milheto	Algodão e soja, com cobertura de milheto	Algodão e soja, com cobertura de milheto
Manejo	Vegetação nativa em regeneração, após ocorrência de queimada em 2017	Solo recém mobilizado	Solo mobilizado pela última vez em 2016	Solo mobilizado pela última vez em 2015
Ano de abertura	-	1997	1990	2008
Quantidade e época de realização dos testes de infiltração	8 (na estação seca)	16 (8 na estação seca e 8 na estação chuvosa)	8 (na estação chuvosa)	8 (na estação seca)
Quantidade de amostras deformadas coletadas	9	9	9	-
Quantidade de amostras indeformadas coletadas	27	27	27	-

Quadro 4 – Localização e descrição das áreas onde foram realizados os testes de infiltração e as coletas de solo no município de Correntina

Informações	Código de identificação da área		
	COR-0	COR-1	COR-2
Propriedade	Fazenda Ceolin	Fazenda Ceolin	Fazenda Ceolin
Referência	Área de reserva legal	Talhão 12	Talhão 10
Coordenadas geográficas	13°14’32” S 45°50’26” O	13°18’15” S 45°58’11” O	13°18’20” S 45°58’21” O
Uso do solo	Cerrado *stricto sensu*	Milho, soja e algodão, com cobertura de braquiária	Milho, soja e algodão, com cobertura de braquiária
Manejo	Vegetação nativa suprimida antes de 1984, em regeneração desde 2003	Solo recém mobilizado, cultivado sob plantio direto até 2015	Solo mobilizado pela última vez em 2016, cultivado sob plantio direto até 2016
Ano de abertura	-	Anterior a 1984	Anterior a 1984
Quantidade e época de realização dos testes de infiltração	8 (na estação seca)	16 (8 na estação seca e 8 na estação chuvosa)	16 (8 na estação seca e 8 na estação chuvosa)
Quantidade de amostras deformadas coletadas	9	9	9
Quantidade de amostras indeformadas coletadas	27	27	27

Quadro 5 – Localização e descrição das áreas onde foram realizados os testes de infiltração e as coletas de solo no município de Jaborandi

Informações	Código de identificação da área		
	JAB-0	JAB-1	JAB-2
Propriedade	Fazenda Planalto das Emas	Fazenda Planalto das Emas	Fazenda Planalto das Emas
Referência	Área de reserva legal	Lote 10	Lote 14
Coordenadas geográficas	14°02’41” S 46°08’44” O	14°06’53” S 46°08’29” O	14°06’05” S 46°09’53” O
Uso do solo	Cerrado *stricto sensu*	Algodão e soja, com cobertura de milheto	Algodão e soja, com cobertura de milheto ou sorgo
Manejo	Vegetação nativa bem conservada, sem resquício de queimada	Solo recém mobilizado	Solo mobilizado pela última vez em 2014
Ano de abertura	-	2005	2005
Quantidade e época de realização dos testes de infiltração	8 (na estação seca)	16 (8 na estação seca e 8 na estação chuvosa)	16 (8 na estação seca e 8 na estação chuvosa)
Quantidade de amostras deformadas coletadas	9	9	9
Quantidade de amostras indeformadas coletadas	27	27	27

Nas áreas cultivadas, os ensaios de infiltração foram realizados tanto na estação chuvosa quanto na estação seca, enquanto que nas áreas de cerrado os ensaios foram realizados somente na estação chuvosa. O local de cada teste foi definido aleatoriamente e, em cada época, foram realizados oito testes em cada área, caracterizando oito repetições. Assim, nas áreas em que foi possível realizar os testes tanto na estação seca quanto na chuvosa, foram realizados, no total, 16 testes de infiltração. Ao todo, foram realizados 208 testes de infiltração nas áreas avaliadas.

A capacidade de infiltração da água no solo foi determinada por meio de ensaios de infiltração com infiltrômetros de anéis concêntricos semi-automatizados, utilizando-se válvulas de boia para a manutenção de uma altura de lâmina de água constante durante toda a duração dos testes (Figura 1).

Figura 1 – Infiltrômetro de anéis concêntricos equipado com válvulas de boia para manutenção de altura de lâmina de água constante

A alimentação de água nos anéis interno e externo foi realizada por meio de reservatórios de água conectados às válvulas de boia (Figura 2). O reservatório de alimentação do anel interno foi equipado com uma escala milimétrica para a medida da lâmina infiltrada no tempo.

A variável analisada foi a taxa de infiltração estável (Tie) do solo, correspondente à taxa obtida após a estabilização do processo de infiltração. A duração de cada teste foi definida em função do tempo necessário para a estabilização do processo. Essa avaliação foi realizada durante a execução de cada teste, por meio da observação minuciosa da variação da taxa de infiltração durante o ensaio, procurando-se obter ao menos cinco valores iguais para a taxa de infiltração antes do final de cada teste.

Durante a estação chuvosa, entre janeiro e junho de 2018, foram coletadas amostras de solo em todas as propriedades onde foram conduzidos os testes de infiltração. As amostras foram coletadas nos mesmos talhões onde foram conduzidos esses testes, com exceção da área SDE-3, onde não foi realizada coleta de solo em função da mobilização do solo ter ocorrido antes do retorno da equipe à propriedade. Por outro lado, foi amostrada uma área adicional, a FRP-3, conduzida sob plantio direto, onde não foram realizados testes de infiltração.

(a)

(b)

Figura 2 – Ensaios de infiltração realizados com o infiltrômetro de anéis concêntricos em áreas cultivadas de Formosa do Rio Preto, durante a estação seca (a) e durante a estação chuvosa (b)

Em cada área avaliada, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo em três pontos escolhidos aleatoriamente (Figura 3). Em cada ponto de coleta, foram obtidas amostras nas profundidades de 0-15 cm, 15-30 cm e 30-45 cm. Foram coletadas 3 amostras deformadas por ponto, totalizando 9 amostras deformadas por área. De cada amostra, foram obtidas 3 subamostras em laboratório, de modo a caracterizar as triplicatas. As amostras indeformadas foram coletadas em triplicatas, em anéis metálicos cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 50 mm de altura, totalizando 9 amostras por ponto e 27 amostras por área.

No total, foram coletadas em campo 459 amostras indeformadas e 153 amostras deformadas de solo. Em laboratório, foram processadas as 459 amostras indeformadas e 459 subamostras deformadas de solo, obtidas por meio das triplicatas das amostras deformadas coletadas em campo. O processamento das amostras se deu no Laboratório de Geotecnia da Universidade Federal do Oeste da Bahia e no Laboratório de Física do Solo da Universidade do Estado da Bahia, localizados na cidade de Barreiras.

(a) (b)

Figura 3 – Coleta de amostras de solo em área de cerrado na localidade de Jaborandi (a) e detalhe da coleta de uma amostra indeformada de solo na camada de 0-15 cm, em área cultivada na localidade de Coaceral, em Formosa do Rio Preto (b).

Para determinação da textura do solo, as amostras deformadas foram submetidas à análise granulométrica por dispersão total, por meio do método da pipeta, utilizando-se hidróxido de sódio como agente dispersante, de acordo com a metodologia descrita pela Embrapa (1997) (Figura 4a). A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, descrito pela Embrapa (1997), utilizando-se as amostras indeformadas de solo. Essas amostras também foram utilizadas para a determinação da porosidade total, da macroporosidade e da microporosidade, por meio do método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997) (Figura 4b).

(a) (b)

Figura 4 – Processamento de amostras deformadas de solo para determinação da textura (a) e saturação de amostras indeformadas de solo para posterior avaliação na mesa de tensão (b).

As diferentes áreas avaliadas foram agrupadas conforme o manejo de solo adotado, possibilitando a caracterização dos tratamentos e a realização da análise estatística dos dados. Assim, as cinco áreas de cerrado foram agrupadas em um único tratamento (CERRADO), englobando diferentes fitofisionomias e condições

(cerradão, campo sujo nativo, cerrado *strictu sensu* nativo, cerrado em regeneração em área anteriormente cultivada e em regeneração após queimada). Para caracterizar os demais tratamentos, as áreas cultivadas foram separadas segundo dois critérios distintos: tipo de rotação de culturas adotado na área nos últimos anos e tipo de preparo do solo realizado antes do plantio da safra 2017/2018.

Em relação ao primeiro critério, foram identificados os seguintes tipos de rotação:

- ROT MILHO: áreas onde se pratica certo nível de rotação de culturas (podendo haver sucessão da mesma cultura em anos consecutivos) com milho e soja ou milho, soja e algodão, com manutenção de razoável cobertura do solo na entressafra com gramíneas (geralmente milheto ou capim) na maioria dos anos.

- ALG/SOJA: áreas onde se pratica certo nível de rotação de culturas (podendo haver sucessão da mesma cultura em anos consecutivos) com algodão e soja, com manutenção de pouca cobertura do solo na entressafra com gramíneas (geralmente milheto ou sorgo) em alguns anos.

- SOJA: áreas onde se pratica o plantio de soja em sucessão, com manutenção de mínima cobertura do solo por meio da palhada da própria cultura, sem plantio de cultura de cobertura;

Em relação ao segundo critério, foram identificados os seguintes tipos de preparo do solo:

MOB: áreas que sofreram mobilização do solo (subsolagem e/ou gradagem) antes do plantio da safra 2017/2018.

NÃO MOB: áreas onde a última mobilização do solo ocorreu antes do plantio da safra 2016/2017 (há pelo menos um ano sem revolvimento).

Dessa forma, ficaram definidos seis tratamentos qualitativos: CERRADO, ALG/SOJA MOB, ALG/SOJA NÃO MOB, ROT MILHO MOB, ROT MILHO NÃO MOB e SOJA NÃO MOB.

Os dados de Tie e os demais parâmetros físicos do solo obtidos (porcentagem de areia, silte e argila, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e densidade de partícula) foram submetidos à análise da variância, no delineamento inteiramente casualizado. As médias dos tratamentos foram comparadas entre si pelo teste de Duncan. Nas análises, utilizou-se um nível de 5% de probabilidade de erro.

3 Resultados e Discussão

Na Figura 5 é ilustrada a classificação textural dos solos das áreas avaliadas no estudo. Pode-se verificar que as áreas avaliadas apresentaram heterogeneidade em relação à classificação textural, variando de areia franca a franco argilosa, passando pelas classes franco arenosa, franco-argilo-arenosa e argilo-arenosa.

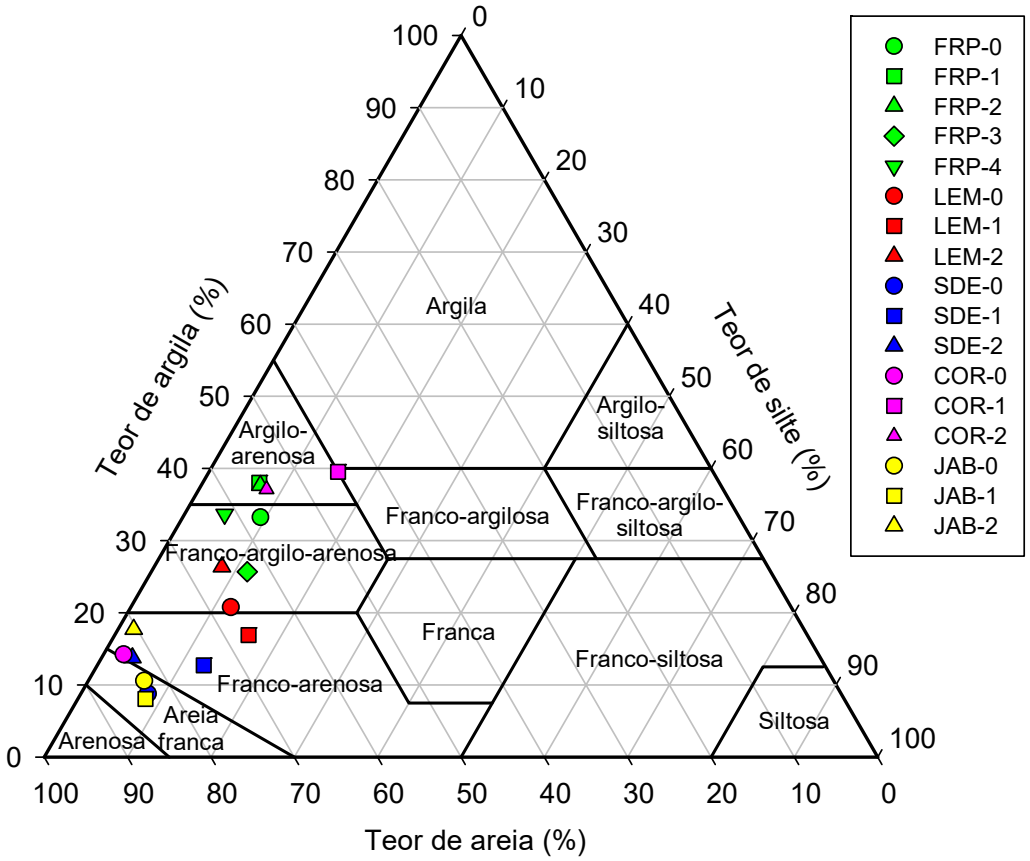


Figura 5 – Classificação textural dos solos das áreas avaliadas no estudo.

A heterogeneidade das áreas em relação à classificação textural reflete a abrangência do estudo e demonstra que, ainda que em geral os solos da região oeste da Bahia apresentem baixos teores de argila, há regiões cujos solos apresentam percentual de argila considerável. Por outro lado, essa heterogeneidade não é observada quando se analisam as áreas avaliadas em um mesmo município. Em geral, as áreas de um mesmo município apresentaram distribuição do tamanho de partículas similar, com exceção da área de cerrado avaliada no município de Correntina (COR-0), que apresentou teor de argila bastante inferior aos valores encontrados nas áreas cultivadas (COR-1 e COR-2). Isso pode ser explicado pela distância da área de cerrado às demais, que é de cerca de 15 km.

No Quadro 1, são apresentados os resultados da análise estatística dos teores de areia, silte e argila em função dos diferentes tratamentos aplicados. Os menores teores de areia foram observados nas áreas cultivadas sob rotação de culturas com milho (ROT MILHO - MOB e ROT MILHO - NÃO MOB), que também apresentaram os maiores teores de argila. Isso demonstra que a granulometria do solo pode ter influência na escolha da cultura e do tipo de manejo adotado pelos produtores. Por outro lado, os altos valores do coeficiente de variação obtidos para os teores de silte e argila sugerem uma maior variabilidade desses teores nas áreas de um mesmo tratamento.

Quadro 1 – Análise estatística dos teores de areia, silte e argila em função dos tratamentos avaliados.

Tratamento	Variável		
	Teor de areia * (%)	Teor de silte * (%)	Teor de argila * (%)
CERRADO [2]	75,94 B [1]	7,62 C	16,44 C
ROT MILHO [3] - MOB [4]	55,72 E	12,78 A	31,50 A
ROT MILHO [3] - NÃO MOB [5]	58,50 D	7,95 C	33,56 A
ALG/SOJA [6] – MOB [4]	79,53 A	10,42 B	10,05 D
ALG/SOJA [6] – NÃO MOB [5]	81,47 A	2,80 D	15,73 C
SOJA [7] – NÃO MOB [5]	65,49 C	8,16 C	26,36 B
Média geral	68,56	8,41	23,03
Coeficiente de variação (%)	10,27	62,11	31,57

* Tratamentos apresentam diferença estatística significativa para esta variável, com base no teste F da análise da variância, em nível de 5% de probabilidade de erro;

[1] Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan, em nível de 5% de probabilidade de erro.

[2] Áreas de cerradão nativo e cerrado strictu sensu nativo, em regeneração em área anteriormente cultivada e em regeneração após queimada.

[3] Áreas cultivadas sob rotação de culturas com milho/soja ou milho/soja/algodão (podendo haver sucessão da mesma cultura em anos consecutivos), com manutenção de razoável cobertura do solo na entressafra com gramíneas (geralmente milheto ou capim) na maioria dos anos agrícolas.

[4] Áreas que sofreram mobilização do solo (subsolagem e/ou gradagem) antes do plantio.

[5] Áreas que não sofreram mobilização do solo após a colheita da safra anterior.

[6] Áreas onde se pratica certo nível de rotação com algodão/soja (podendo haver sucessão da mesma cultura em anos consecutivos), com manutenção de pouca cobertura do solo na entressafra com gramíneas (geralmente milheto ou sorgo) em alguns anos.

[7] Áreas cultivadas exclusivamente com soja, com manutenção de mínima cobertura do solo por meio da palhada da própria cultura, sem plantio de cultura de cobertura.

Nas figuras 6, 7 e 8 são apresentados, respectivamente, os teores de areia, silte e argila obtidos nos diferentes tratamentos avaliados, com os respectivos intervalos de confiança da média. Pela análise dessas figuras, pode-se observar que as maiores diferenças entre tratamentos foram encontradas nos teores de silte e argila, enquanto os teores de areia apresentaram as menores diferenças.

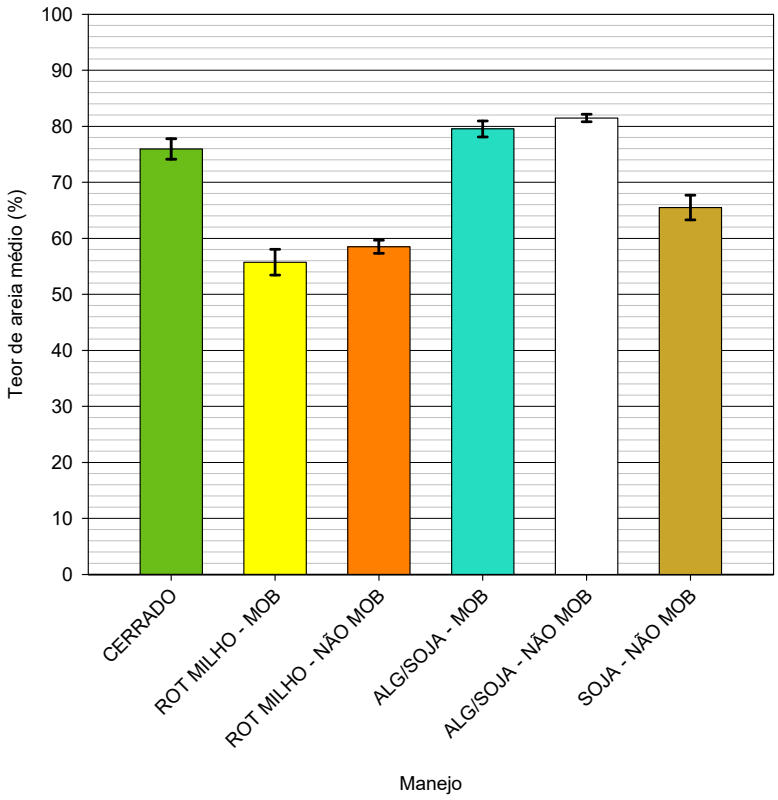


Figura 6 – Teores de areia médios obtidos nos diferentes tratamentos.

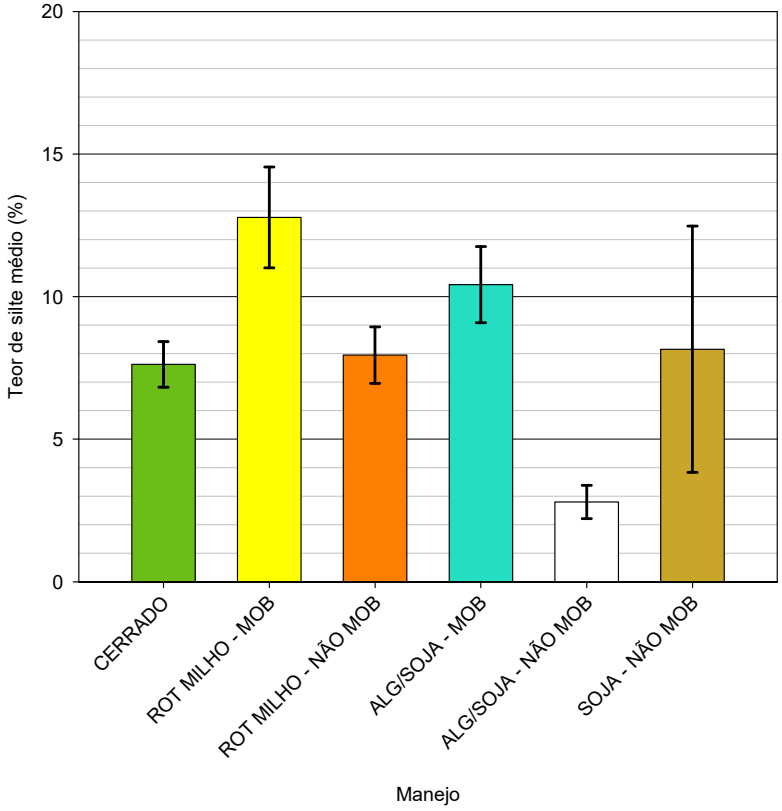


Figura 7 – Teores de silte médios obtidos nos diferentes tratamentos.

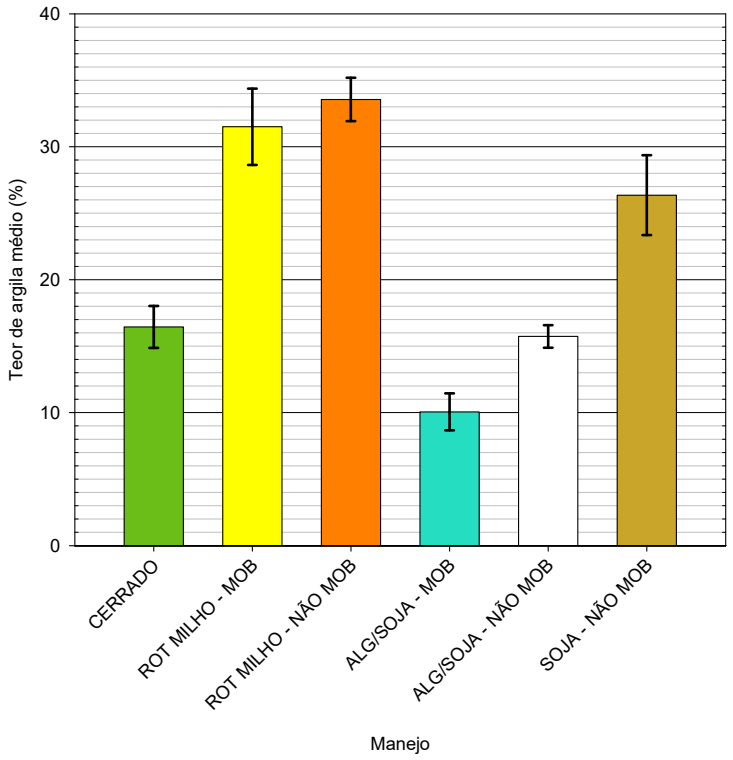


Figura 8 – Teores de argila médios obtidos nos diferentes tratamentos.

Ainda em relação às figuras 6, 7 e 8, pode-se verificar que os intervalos de confiança para a média dos teores de silte apresentaram, em geral, as maiores magnitudes, evidenciando a maior variabilidade dos dados relativos a esse parâmetro. Esta variabilidade é inerente à metodologia utilizada para a análise granulométrica, em que a determinação do teor de silte é realizada de forma indireta, após a pesagem das frações areia e argila.

No Quadro 2, são apresentados os resultados da análise estatística da densidade de partículas e da densidade do solo em função dos diferentes tratamentos aplicados. Não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos avaliados em relação à densidade de partículas, pelo teste F da análise da variância, o que demonstra que os solos da região Oeste da Bahia são homogêneos em relação a este parâmetro. A densidade de partículas média dos solos avaliados foi de 2,61 Mg m^{-3}.

Por outro lado, observou-se diferença estatística significativa na densidade do solo entre os tratamentos avaliados. Os maiores valores, da ordem de 1,65 Mg m^{-3}, foram encontrados nas áreas cultivadas com algodão e soja que não sofreram mobilização antes do plantio (ALG/SOJA - NÃO MOB). Também foram encontrados valores elevados para esse parâmetro nas áreas cultivadas com soja (SOJA - NÃO MOB) e nas áreas cultivadas com algodão e soja cujo solo foi mobilizado antes do plantio (ALG/SOJA - MOB), atingindo 1,61 e 1,54 Mg m^{-3}, respectivamente. Os altos valores de densidade do solo encontrados nessas áreas indicam que o manejo adotado pode estar prejudicando a qualidade desses solos pelo aumento do seu grau de compactação, o que pode interferir diretamente no rendimento das culturas e na infiltração da água no solo.

Quadro 2 – Análise estatística da densidade do solo e da densidade de partículas em função dos tratamentos avaliados.

Tratamento	Variável	
	Densidade de partículas [ns] (Mg m^{-3})	Densidade do solo * (Mg m^{-3})
CERRADO [2]	2,62 ABC [1]	1,39 DE
ROT MILHO [3] - MOB [4]	2,63 AB	1,37 E
ROT MILHO [3] - NÃO MOB [5]	2,58 BC	1,42 D
ALG/SOJA [6] – MOB [4]	2,64 A	1,54 C
ALG/SOJA [6] – NÃO MOB [5]	2,59 BC	1,65 A
SOJA [7] – NÃO MOB [5]	2,60 BC	1,61 B
Média geral	2,61	1,46
Coeficiente de variação (%)	3,97	7,83

* Tratamentos apresentam diferença estatística significativa para esta variável, com base no teste F da análise da variância, em nível de 5% de probabilidade de erro;

[ns] Tratamentos não apresentam diferença estatística significativa para esta variável, com base no teste F da análise da variância, em nível de 5% de probabilidade de erro;

[1] Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan, em nível de 5% de probabilidade de erro.

[2] Áreas de cerradão nativo e cerrado strictu sensu nativo, em regeneração em área anteriormente cultivada e em regeneração após queimada.

[3] Áreas cultivadas sob rotação de culturas com milho/soja ou milho/soja/algodão (podendo haver sucessão da mesma cultura em anos consecutivos), com manutenção de razoável cobertura do solo na entressafra com gramíneas (geralmente milheto ou capim) na maioria dos anos agrícolas.

[4] Áreas que sofreram mobilização do solo (subsolagem e/ou gradagem) antes do plantio.

[5] Áreas que não sofreram mobilização do solo após a colheita da safra anterior.

[6] Áreas onde se pratica certo nível de rotação com algodão/soja (podendo haver sucessão da mesma cultura em anos consecutivos), com manutenção de pouca cobertura do solo na entressafra com gramíneas (geralmente milheto ou sorgo) em alguns anos.

[7] Áreas cultivadas exclusivamente com soja, com manutenção de mínima cobertura do solo por meio da palhada da própria cultura, sem plantio de cultura de cobertura.

O menor valor de densidade do solo (1,37 Mg m^{-3}) foi encontrado nas áreas cultivadas com milho e soja ou milho, soja e algodão, com certo nível de rotação, cujo solo foi mobilizado antes do plantio (ROT MILHO - MOB). As áreas com manejo similar, cujo solo não sofreu mobilização antes do plantio (ROT MILHO - NÃO MOB) também apresentaram baixa densidade do solo, da ordem de 1,42 Mg m^{-3}. Os valores de densidade do solo obtidos nesses dois tratamentos não diferiram estatisticamente do encontrado para as áreas de cerrado (1,39 Mg m^{-3}), indicando que a inserção do milho em alguns anos agrícolas pode promover a melhoria da qualidade do solo.

Nas figuras 9 e 10 são apresentados, respectivamente, os valores de densidade de partículas e densidade do solo obtidos para os diferentes tratamentos avaliados, com os respectivos intervalos de confiança da média. A pequena magnitude dos intervalos de confiança obtidos para esses dois parâmetros demonstra que a

variabilidade entre os dados de um mesmo tratamento foi pequena. Isso é corroborado pelos baixos valores de coeficiente de variação dos experimentos (vide Quadro 2), e atesta a confiabilidade dos dados obtidos.

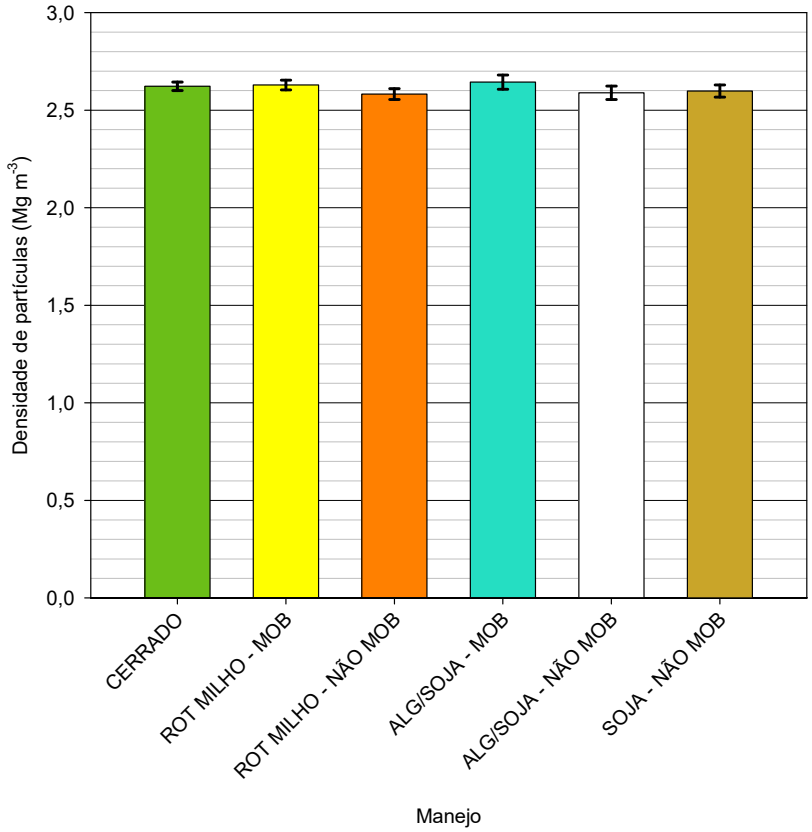


Figura 9 – Densidades de partículas obtidas nos diferentes tratamentos.

Em relação à densidade do solo (Figura 10), ficam evidentes as diferenças entre os tratamentos. Enquanto as áreas de cerrado e as cultivadas com milho em rotação com outras culturas apresentaram densidades do solo da ordem de 1,40 Mg m^{-3}, nas demais áreas avaliadas a densidade do solo atingiu valores superiores a 1,50 Mg m^{-3}, indicando que tanto o desenvolvimento radicular das culturas quanto a capacidade de infiltração da água no solo podem estar sendo prejudicados pelos manejos adotados nas áreas cuja rotação é mais restrita e a manutenção de cobertura no solo é limitada.

É importante salientar, ainda, que mesmo as áreas não mobilizadas antes do plantio que foram cultivadas com milho e soja ou milho, soja e algodão (ROT MILHO - NÃO MOB) apresentaram valores relativamente baixos de densidade do solo e, portanto, baixo grau de compactação. Tal comportamento atesta o efeito positivo do cultivo de gramíneas para a melhoria da estrutura do solo. Além disso, como nesse tratamento estão incluídas áreas cujo solo não é mobilizado há pelo menos nove anos, pode-se verificar também os benefícios do plantio direto para a estruturação do solo.

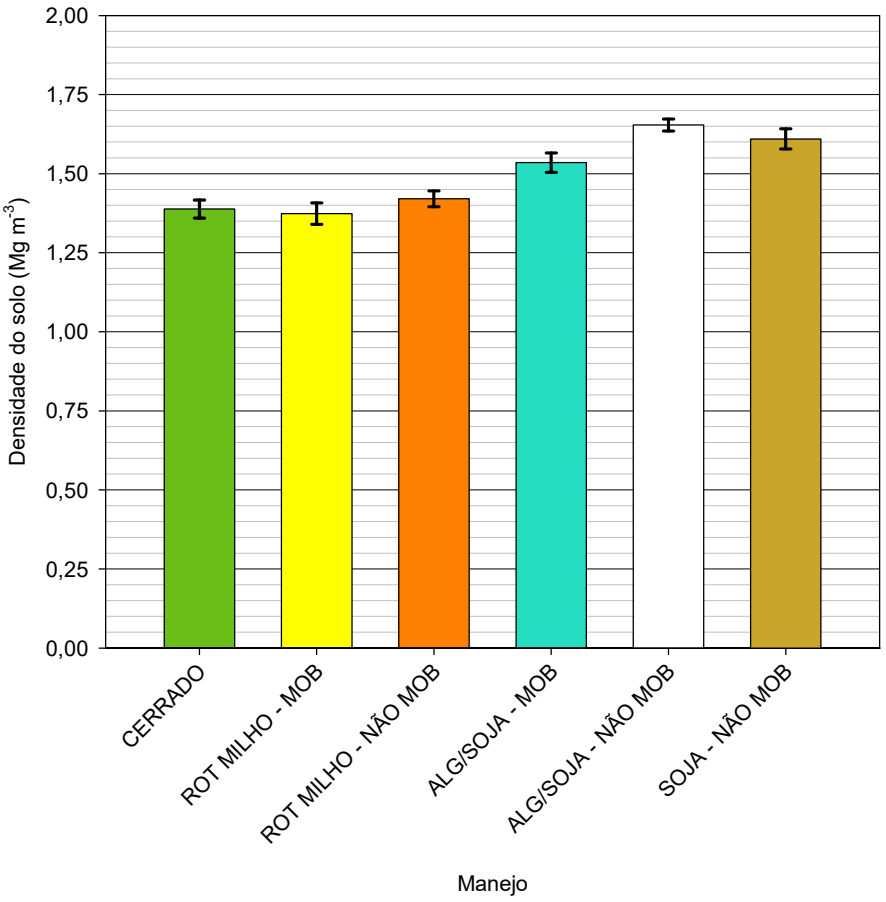


Figura 10 – Densidades do solo obtidas nos diferentes tratamentos.

No Quadro 3, são apresentados os resultados da análise estatística da macroporosidade, da microporosidade e da porosidade total em função dos diferentes tratamentos aplicados. As áreas de cerrado apresentaram o maior valor de macroporosidade média (19,98%), diferindo estatisticamente das demais áreas, o que possivelmente se deve à ausência de circulação de máquinas, à grande quantidade de material orgânico na superfície do solo e à presença de grande número de raízes.

Por outro lado, as áreas de cerrado apresentaram um dos menores valores de microporosidade média (27%). Ainda assim, a porosidade total média das áreas de cerrado foi a segunda maior dentre todos os tratamentos avaliados (46,98%), não diferindo estatisticamente do valor encontrado para as áreas cultivadas com milho e soja ou milho, soja e algodão que foram mobilizadas antes do plantio (ROT MILHO - MOB), para as quais a porosidade total média alcançou o maior valor dentre todos os tratamentos avaliados (47,77%).

Quadro 3 – Análise estatística da macroporosidade, da microporosidade e da porosidade total em função dos tratamentos avaliados.

Tratamento	Variável		
	Macroporosidade * (%)	Microporosidade * (%)	Porosidade total * (%)
CERRADO [2]	19,98 A [1]	27,00 BC	46,98 A
ROT MILHO [3] - MOB [4]	14,13 B	33,64 A	47,77 A
ROT MILHO [3] - NÃO MOB [5]	10,96 C	33,94 A	44,91 B
ALG/SOJA [6] – MOB [4]	16,16 B	25,64 C	41,80 C
ALG/SOJA [6] – NÃO MOB [5]	8,09 D	27,87 BC	35,96 E
SOJA [7] – NÃO MOB [5]	9,14 CD	28,83 B	37,97 D
Média geral	14,25	29,81	44,05
Coeficiente de variação (%)	39,79	19,33	9,93

* Tratamentos apresentam diferença estatística significativa para esta variável, com base no teste F da análise da variância, em nível de 5% de probabilidade de erro;

[1] Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan, em nível de 5% de probabilidade de erro.

[2] Áreas de cerradão nativo e cerrado strictu sensu nativo, em regeneração em área anteriormente cultivada e em regeneração após queimada.

[3] Áreas cultivadas sob rotação de culturas com milho/soja ou milho/soja/algodão (podendo haver sucessão da mesma cultura em anos consecutivos), com manutenção de razoável cobertura do solo na entressafra com gramíneas (geralmente milheto ou capim) na maioria dos anos agrícolas.

[4] Áreas que sofreram mobilização do solo (subsolagem e/ou gradagem) antes do plantio.

[5] Áreas que não sofreram mobilização do solo após a colheita da safra anterior.

[6] Áreas onde se pratica certo nível de rotação com algodão/soja (podendo haver sucessão da mesma cultura em anos consecutivos), com manutenção de pouca cobertura do solo na entressafra com gramíneas (geralmente milheto ou sorgo) em alguns anos.

[7] Áreas cultivadas exclusivamente com soja, com manutenção de mínima cobertura do solo por meio da palhada da própria cultura, sem plantio de cultura de cobertura.

Os valores relativamente altos de macroporosidade, microporosidade e porosidade total obtidos nas áreas cultivadas com milho e soja ou milho, soja e algodão que foram mobilizadas antes do plantio (ROT MILHO - MOB) possivelmente têm relação com o manejo adotado, bem como com as características granulométricas dos solos dessas áreas. O cultivo do milho em alguns anos agrícolas possivelmente favoreceu a estruturação do solo e o aumento do seu volume de poros, tendo em vista a grande abrangência das raízes dessa gramínea. Por outro lado, nessas áreas foram observados altos teores de argila, o que pode conferir uma maior estruturação para o solo, aumentando o volume de macroporos; além disso, solos argilosos tendem a possuir maior percentual de microporos do que solos arenosos.

O revolvimento do solo antes do plantio também tem influência sobre a macroporosidade do solo. Esse efeito fica evidente ao se observar a Figura 11, na qual são apresentados os valores médios de macroporosidade obtidos em cada tratamento, com os respectivos intervalos de confiança. Percebe-se que as áreas mobilizadas cultivadas com milho e soja ou milho, soja e algodão e as áreas mobilizadas cultivadas com algodão e soja apresentaram maiores valores de macroporosidade do que as áreas não mobilizadas cultivadas sob o mesmo tipo de rotação de culturas. É possível perceber, ainda, que as áreas não mobilizadas cultivadas com soja também apresentaram valores relativamente baixos de macroporosidade.

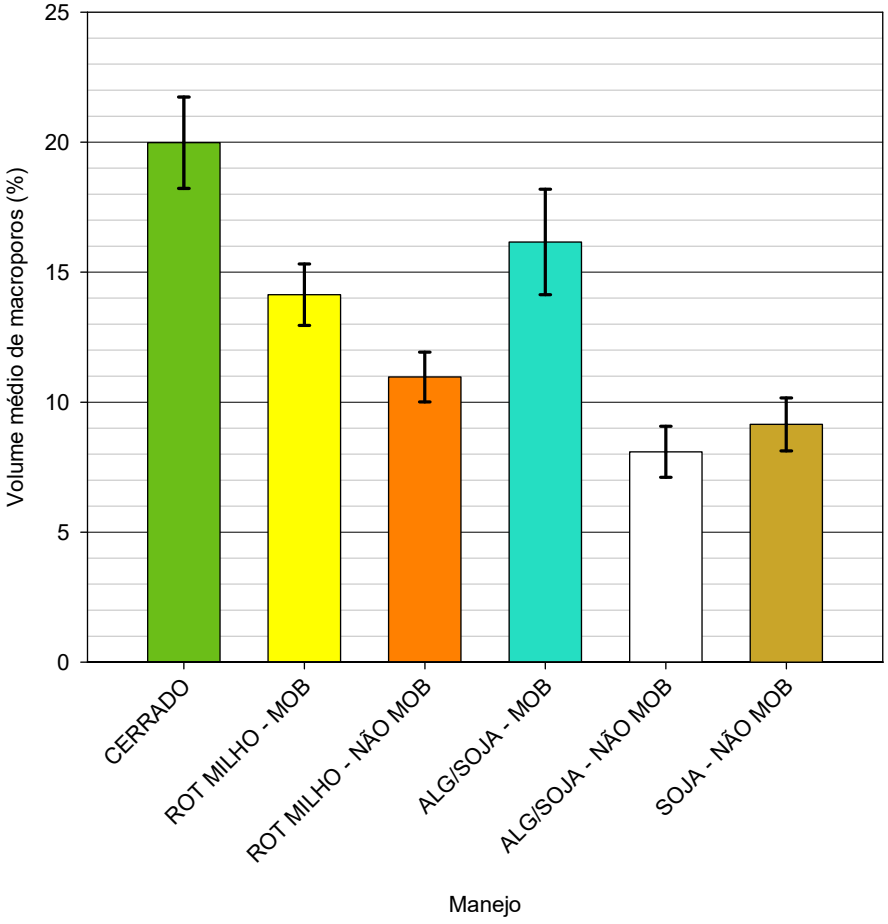


Figura 11 – Macroporosidades médias obtidas nos diferentes tratamentos.

Nas figuras 12 e 13 são apresentados, respectivamente, os valores médios de microporosidade e porosidade total obtidos em cada tratamento, com os respectivos intervalos de confiança. As áreas que apresentaram os maiores valores de microporosidade (ROT MILHO - MOB e ROT MILHO - NÃO MOB) foram também aquelas que apresentaram os maiores teores de argila, o que demonstra a influência da granulometria sobre o volume total de microporos do solo.

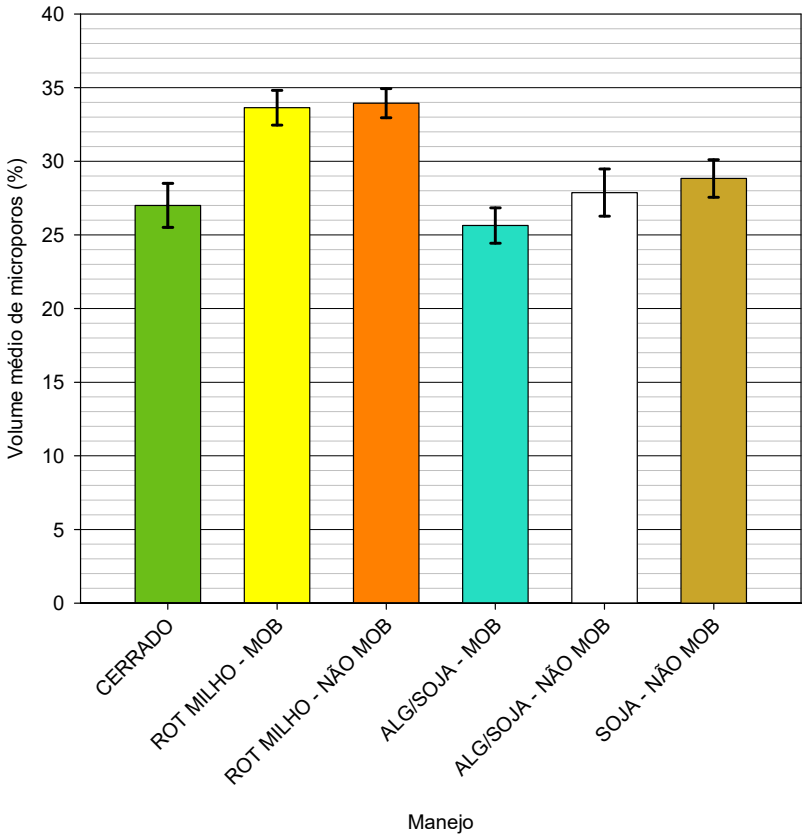


Figura 12 – Microporosidades médias obtidas nos diferentes tratamentos.

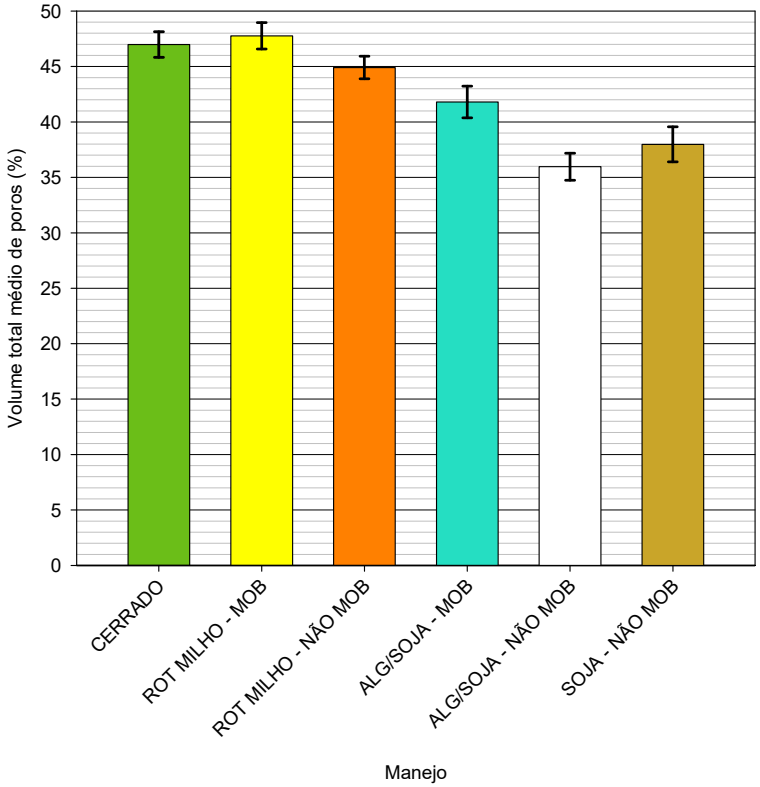


Figura 13 – Porosidades totais médias obtidas nos diferentes tratamentos.

As áreas cultivadas com milho e soja ou milho, soja e algodão que não sofreram mobilização do solo antes do plantio (ROT MILHO - NÃO MOB) apresentaram valores relativamente altos de porosidade total, maiores e diferentes estatisticamente dos valores obtidos para as áreas cultivadas com algodão e soja (ALG/SOJA - MOB e ALG/SOJA - NÃO MOB) e soja (SOJA - NÃO MOB). Como estão incluídas nessas áreas lavouras cultivadas sob plantio direto, pode-se perceber um efeito positivo do não revolvimento do solo e da rotação de culturas sobre o volume total de poros do solo, o que influencia no aumento do armazenamento de água e da capacidade de infiltração do solo.

Na Figura 14 são apresentadas as médias da taxa de infiltração estável obtidas em cada área avaliada, contemplando os 208 testes de infiltração realizados durante as estações seca e chuvosa, com os respectivos intervalos de confiança. Pela figura, percebe-se que as áreas de cerrado apresentaram as maiores taxas de infiltração, independentemente da sua localização, e que as áreas cultivadas apresentaram comportamento diverso em função do manejo adotado.

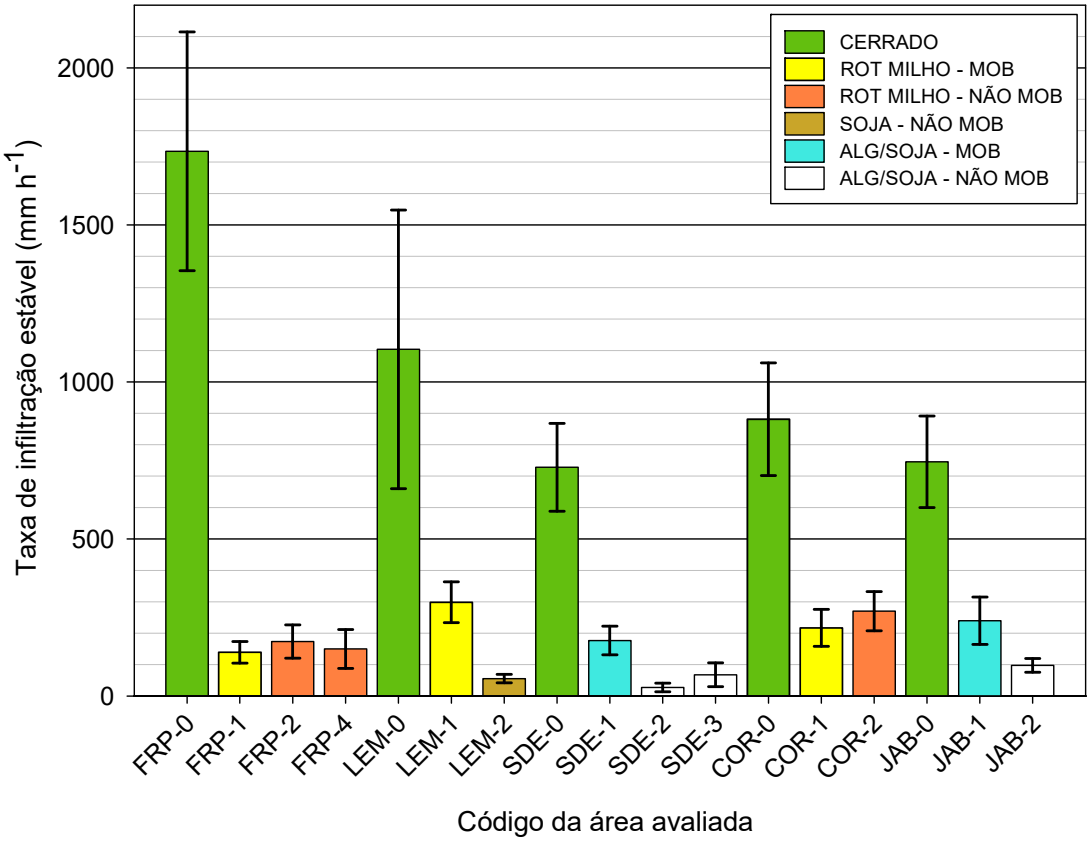


Figura 14 – Taxas de infiltração estáveis obtidas nas diferentes áreas avaliadas.

No Quadro 4 são apresentadas as médias da taxa de infiltração estável obtidas e o número de testes realizados em cada tratamento, com a comparação de médias e os respectivos intervalos de confiança. As áreas de cerrado apresentaram as maiores taxas de infiltração estável, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos avaliados. As menores taxas de infiltração estável foram obtidas nas áreas cujo solo não foi mobilizado e que não incluem o milho na rotação de culturas

(ALG/SOJA - NÃO MOB e SOJA - NÃO MOB), que não diferiram estatisticamente entre si mas diferiram dos demais tratamentos avaliados.

Quadro 4 – Análise estatística da taxa de infiltração estável em função dos tratamentos avaliados.

Tratamento	Taxa de infiltração estável (mm h^{-1}) *			
	Número de testes realizados	Limite inferior do intervalo de confiança [1]	Média [2]	Limite superior do intervalo de confiança [1]
CERRADO [3]	40	868,2	1038,7 A	1209,3
ROT MILHO [4] - MOB [5]	48	182,2	218,1 B	254,0
ROT MILHO [4] - NÃO MOB [6]	32	165,3	208,1 B	250,8
ALG/SOJA [7] – MOB [5]	40	170,6	207,3 B	244,0
ALG/SOJA [7] – NÃO MOB [6]	32	54,8	72,4 C	90,0
SOJA [8] – NÃO MOB [6]	16	41,7	55,3 C	68,9

* Tratamentos apresentam diferença estatística significativa para esta variável, com base no teste F da análise da variância, em nível de 5% de probabilidade de erro;

[1] Intervalos de confiança calculados pelo teste T, em nível de 5% de probabilidade de erro.

[2] Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan, em nível de 5% de probabilidade de erro.

[3] Áreas de cerradão nativo e cerrado *strictu sensu* nativo, em regeneração em área anteriormente cultivada e em regeneração após queimada.

[4] Áreas cultivadas sob rotação de culturas com milho/soja ou milho/soja/algodão (podendo haver sucessão da mesma cultura em anos consecutivos), com manutenção de razoável cobertura do solo na entressafra com gramíneas (geralmente milheto ou capim) na maioria dos anos agrícolas.

[5] Áreas que sofreram mobilização do solo (subsolagem e/ou gradagem) antes do plantio.

[6] Áreas que não sofreram mobilização do solo após a colheita da safra anterior.

[7] Áreas onde se pratica certo nível de rotação com algodão/soja (podendo haver sucessão da mesma cultura em anos consecutivos), com manutenção de pouca cobertura do solo na entressafra com gramíneas (geralmente milheto ou sorgo) em alguns anos.

[8] Áreas cultivadas exclusivamente com soja, com manutenção de mínima cobertura do solo por meio da palhada da própria cultura, sem plantio de cultura de cobertura.

Na Figura 15 são apresentadas as médias da taxa de infiltração estável obtidas em cada tratamento, com os respectivos intervalos de confiança. A taxa de infiltração estável média das áreas de cerrado foi da ordem de 1040 mm h^{-1}, valores bastante elevados quando comparados às demais áreas avaliadas. BONO *et al.* (2012), avaliando a capacidade de infiltração de um Latossolo Vermelho distrófico sob diferentes manejos, obtiveram valores médios de taxa de infiltração estável da ordem de 900 mm h^{-1} em uma área de cerrado nativo, bastante próximos dos obtidos no presente trabalho.

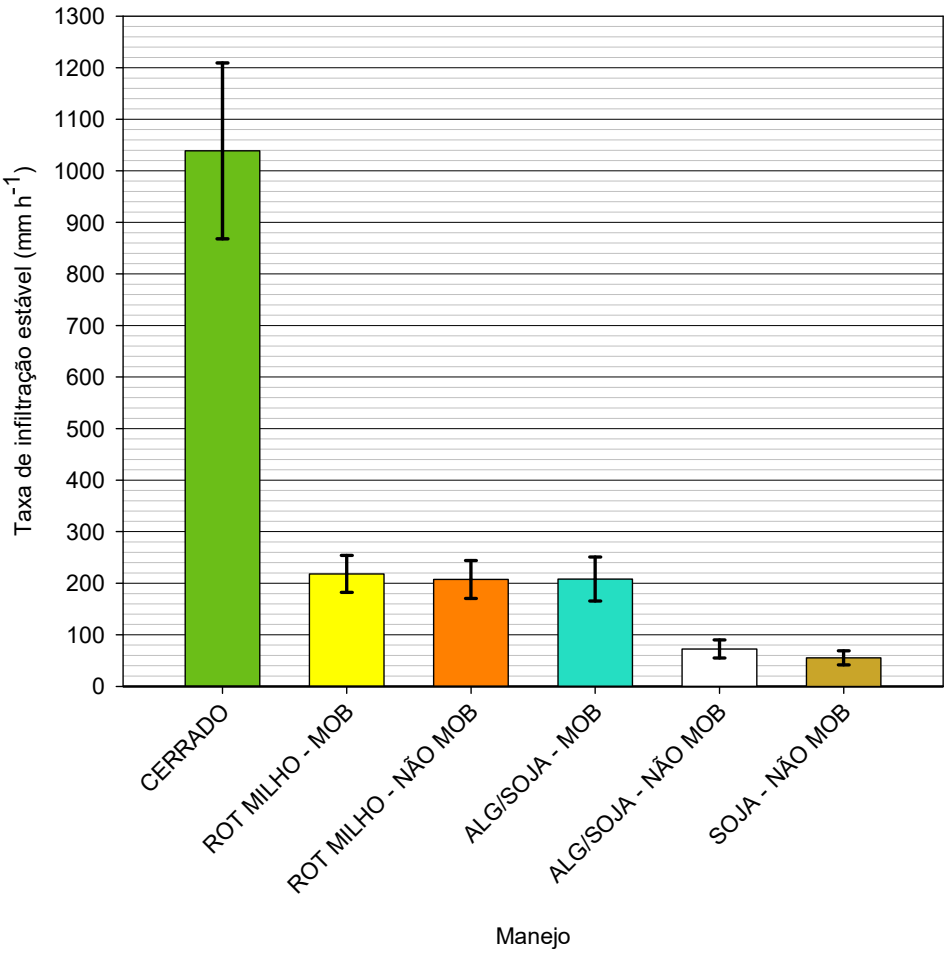


Figura 15 – Taxas de infiltração estáveis médias obtidas nos diferentes tratamentos.

Os altos valores obtidos para a taxa de infiltração estável das áreas de cerrado podem ser explicados pelos os altos valores de macroporosidade e os valores baixos de densidade do solo verificados nessas áreas. A sua menor suscetibilidade à compactação, associada à maior cobertura do solo, à existência de raízes em maior quantidade e à maior quantidade de material orgânico em decomposição, influencia diretamente na qualidade do solo, melhorando suas características físicas e possibilitando que a água proveniente da precipitação infiltre e seja armazenada no solo e no subsolo, abastecendo os mananciais subterrâneos.

Em relação às cultivadas, aquelas cujo solo sofreu mobilização antes do plantio da safra 2017/2018 (ROT MILHO - MOB e ALG/SOJA - MOB) apresentaram taxas de infiltração estáveis médias superiores a 200 mm h^{-1}. As áreas cultivadas com milho e soja ou milho, soja e algodão que não sofreram mobilização do solo antes do plantio (ROT MILHO - NÃO MOB) também apresentaram médias da ordem de 200 mm h^{-1}, enquanto as áreas cujo solo não foi mobilizado e que não incluem o milho na rotação de culturas (ALG/SOJA - NÃO MOB e SOJA - NÃO MOB) apresentaram taxas de infiltração estáveis médias inferiores a 80 mm h^{-1}.

As taxas de infiltração estáveis médias obtidas para as áreas cultivadas estão intimamente ligadas às características físicas dos solos avaliados. Os três tratamentos que apresentaram as maiores taxas de infiltração estáveis (ROT MILHO – MOB, ALG/SOJA – MOB e ROT MILHO - NÃO MOB) foram também os que

apresentaram os maiores volumes totais de poros e de macroporos e as menores densidades do solo, em comparação com as demais áreas cultivadas.

Já nas áreas cujo solo não foi mobilizado antes do plantio e que não apresentam rotação de culturas com milho (ALG/SOJA - NÃO MOB e SOJA - NÃO MOB), foram encontradas as menores taxas de infiltração, diferindo estatisticamente das demais áreas. Nas áreas em que se cultiva soja e algodão em rotação, a taxa de infiltração estável média foi da ordem de 72 mm h^{-1}, enquanto na área em que se cultiva soja sem rotação, a taxa de infiltração estável média foi de 55 mm h^{-1}. As taxas de infiltração estáveis médias dessas duas áreas não diferiram estatisticamente entre si, e os valores relativamente baixos encontrados indicam que a ausência de rotação de culturas ou sua utilização restrita à cultura da soja e do algodão desfavorecem a capacidade de infiltração da água no solo.

Em geral, as taxas de infiltração estáveis obtidas foram altas mesmo nas áreas cultivadas. Apesar disso, deve-se ter especial atenção às áreas cujo manejo não contempla a rotação de culturas, ou a contempla de forma restrita, e cuja cobertura do solo é menos favorecida, pois as taxas de infiltração estáveis obtidas nessas áreas estão em patamares que podem propiciar a geração de escoamento superficial e, consequentemente, estimular a erosão e as perdas de solo. O limite inferior do intervalo de confiança para a média, em nível de 5% de probabilidade de erro, das áreas cultivadas com soja sem mobilização do solo (SOJA - NÃO MOB) foi de 41,7 mm h^{-1}, o que indica que uma precipitação com intensidade superior a essa taxa pode gerar escoamento superficial e, consequentemente, redução na recarga do aquífero, bem como erosão e perdas de solo.

Além disso, deve-se considerar que o método do infiltrômetro de anéis concêntricos tende a superestimar os valores da taxa de infiltração, visto que não simula o efeito do selamento superficial e exige a manutenção de uma carga hidráulica sobre o solo, o que não ocorre durante um evento de precipitação.

5 Conclusões

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que o uso e o manejo do solo nas áreas de recarga do Sistema Aquífero Urucuia interferem diretamente em suas propriedades físicas, podendo interferir no rendimento das culturas e na recarga dos mananciais subterrâneos.

Ainda que, nas áreas de recarga efetiva do Sistema Aquífero Urucuia, os solos cultivados apresentem taxas de infiltração estáveis significativamente menores que as áreas de cerrado, sua capacidade de infiltração é, em geral, elevada, o que não desfavorece a recarga do aquífero.

Áreas cultivadas sob rotação de culturas com milho e soja ou milho, soja e algodão, com manutenção de razoável cobertura do solo na entressafra com gramíneas, apresentam altas capacidades de infiltração e baixo grau de compactação, mesmo quando o solo não é mobilizado antes do plantio.

Áreas cultivadas com algodão e soja ou apenas com soja, com manutenção de pouca cobertura do solo na entressafra, apresentam baixas capacidades de infiltração e alto grau de compactação, possuindo potencial para geração de escoamento superficial.

6 Referências Bibliográficas

BARBOSA, N. S.; LEAL, L. R. B.; BARBOSA, N. S.; MELLO, J. C.; SANTOS, C. B; LIMA, O. A. L. Caracterização Geométrica e Hidráulica do Sistema Aquífero Urucuia Meridional com base em Testes de Bombeamento e Levantamentos Geofísicos Elétricos. **Revista Águas Subterrâneas,** v. 28, n. 2, p.41-52, 2014.

BONO, J. A. M.; MACEDO, M. C. M.; TORMENA, C. A.; NANNI, M. R.; GOMES, E. P.; MÜLLER, M. M. L. Infiltração de água no solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1845-1853, 2012.

DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L. de; POLIDORO, J. C.; DÖWICH, I. Sistema plantio direto e a sustentabilidade da agricultura: avaliação física de solos arenosos do oeste baiano. In: **XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água.** Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147444/1/trab-3459-666.p df> Acesso em: 29 abr. 2018.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

FREITAS, P. L. de; BERNARDI, A. C. de C.; MANZATTO, C. V.; RAMOS, D. P.; DOWICH, I.; LANDERS, J. N. Comportamento físico-químico dos solos de textura arenosa e média do oeste baiano. **Comunicado Técnico 27.** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2004.

FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.; BALIEIRO, F. de C.; MOURA, T. P. A. de; MENEZES, A. R. de; SANTANA, C. I. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 51, n. 9, p.1457-1465, set. 2016.

GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G. O Sistema Aquífero Urucuia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 4, p. 216-226, 2007.

MENDONÇA, J. O. O potencial de crescimento da produção de grãos no Oeste da Bahia. **Bahia Agrícola,** v.7, n.2, 2006.

PIMENTEL, A. L.; AQUINO, R. F.; SILVA, R. C. A.; VIEIRA, C. M. B. Estimativa da recarga do aquífero Urucuia da sub-bacia do rio das Fêmeas – Oeste da Bahia, utilizando separação de hidrogramas. In: Congresso sobre Aproveitamento e Gestão de Recursos Hídricos em Países de Idioma Português, 1., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2000.

RODRIGUES, Z. R. C. **Aplicação de modelos analíticos para outorga e gestão integrada dos recursos hídricos na bacia do rio Grande.** 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2013.

SCHUSTER, H. D. M.; SILVA, F. F.; TEIXEIRA, S. L.; BATISTA, L. H. G.; FREITAS, W. A. Estudos hidrogeológicos do aquífero Urucuia no Oeste baiano para obtenção de parâmetros nas outorgas de mananciais subterrâneos. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 12., Florianópolis, 2002. **Anais...**, Florianópolis, 2002.