

ESTUDOS DOS RECURSOS HÍDRICOS

DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA



Sistema Aquífero Urucuia: Monitoramento, Estudos e Bacia-Escola

Em Editoração.

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Dezembro 2021

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL – DHT
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA

ÁREA: ESTUDOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS
SUBÁREA: ESTUDOS INTEGRADOS

**Sistema Aquífero Urucuia:
Monitoramento, Estudos e
Bacia-Escola**

REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Básica – DIHIBA
Divisão de Hidrologia Aplicada – DIHAPI
Divisão de Hidrogeologia e Exploração – DIHEXP

ORGANIZADORES

Myrla de Souza Batista Vieira
João Alberto Oliveira Diniz

Brasília, 2021

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Bento Albuquerque

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Pedro Paulo Dias Mesquita

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Marcio José Remédio

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Departamento de Hidrologia

Frederico Claudio Peixinho

Chefe da Divisão de Hidrologia Básica

Ana Carolina Costi

Chefe da Divisão de Hidrologia Aplicada

Adriana Dantas Medeiros

Chefe da Divisão de Hidrologia Exploratória

João Alberto Oliveira Diniz

EQUIPE DO PROJETO

Alice Silva de Castilho – Pesquisadora em Geociências DHT – M.Sc.

Amilton de Castro Cardoso – Pesquisador em Geociências SUREG/SA

Camila Dalla Porta Mattiuzi – Pesquisadora em Geociências SUREG/PA – M.Sc.

Cristiane Nestes Silva – Pesquisadora em Geociências SUREG/SA

Dandara Cardim de Lima – Estagiária de engenharia SUREG/RE

Daniel Medeiros Moreira – Analista em Geociências DIHAPI – D.Sc.

Diego Lima de Jesus – Técnico em Geociências SUREG/SA

Eronilton Moraes Cavalcanti – Analista em Geociências DIHIBA

Gabriel Cidreira Ramos – Técnico em Geociências SUREG/SA
Gastão Clóvis Guimarães – Pesquisador em Geociências SUREG/SA
George Rodrigues de S. Araújo – Pesquisador em Geociências SUREG/RE – M.Sc.
Giuliana Maria de Deus Rebouças – Técnica em Geociências SUREG/SA
João Alberto Oliveira Diniz – Pesquisador em Geociências DIXPI
João Hipólito P. Brito Salgueiro - Pesquisador em Geociências SUREG/RE – D.Sc.
João Manoel Campos – Técnico em Geociências SUREG/SA
José Carlos Souza Silva – Técnico em Geociências SUREG/RE
Leanize Teixeira Oliveira – Pesquisadora em Geociências SUREG/SA
Luciano Sacramento da Hora – Técnico em Geociências SUREG/SA
Lucivalda Silva Santana – Técnica em Geociências SUREG/SA
Miguel A. dos S. Cidreira – Pesquisador em Geociências SUREG/SA – M.Sc.
Morgana Santana Coelho – Técnica em Geociências SUREG/SA
Myrla de Souza Batista Vieira – Pesquisadora em Geociências DEHID – D.Sc.
Paulo César Machado Villar – Pesquisador em Geociências SUREG/SA
Rebeca de Jesus Barbosa – Técnica em Geociências SUREG/SA
Ricardo Cavalcanti Santiago – Pesquisador em Geociências SUREG/SA
Roberto Fernandes de Paiva – Pesquisador em Geociências SUREG/SA
Victor Hugo Rocha Lopes – Pesquisador em Geociências SUREG-RE
Waldo César Motta – Técnico em Geociências SUREG/AS

Agradecimentos aos ex-colaboradores do Serviço Geológico do Brasil – SGB-CPRM: Roberto Gusmão de Oliveira, Ricardo da Cunha Lopes, Raimundo A. Dias Gomes, Luiz Fernando da Costa Bonfim e José Torres Guimarães, que atuaram neste projeto.

SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA: MONITORAMENTO, ESTUDOS E BACIA-ESCOLA

REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Básica – DIHIBA

Divisão de Hidrologia Aplicada – DIHAPI

Divisão de Hidrogeologia e Exploração – DIHEXP

ORGANIZADORES

Myrla de Souza Batista Vieira

João Alberto Diniz

AUTORES POR CAPÍTULO

Capítulo 1: João Alberto Oliveira Diniz, Amilton de Castro Cardoso

Capítulo 2: João Alberto Oliveira Diniz, Clyvikh Renna Camacho, Daniele Tokunaga Genaro

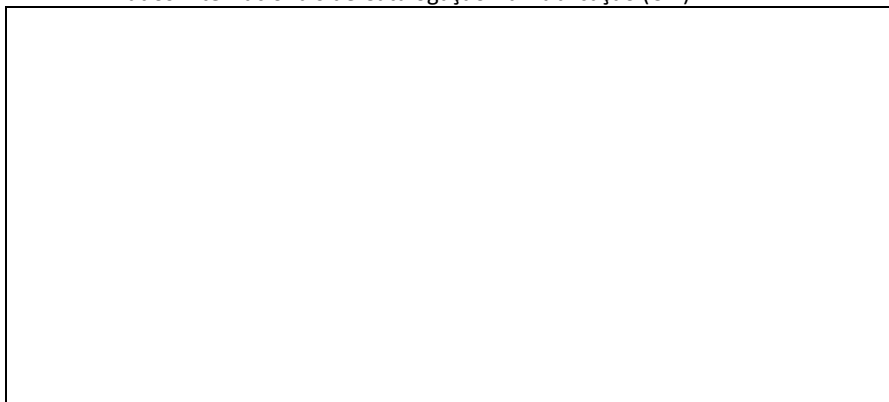
Capítulo 3: Myrla de S. B. Vieira, Camila Dalla P. Mattiuzi, Alice S. de Castilho, Daniel Medeiros Moreira

Capítulo 4: João A. Oliveira Diniz, Amilton de Castro Cardoso, Myrla de Souza Batista Vieira, Leanize Teixeira Oliveira, Viviane Cristina Vieira da Cunha, Camila Dalla Porta Mattiuzi, Clyvikh Renna Camacho, Elvis Martins de Oliveira

Capítulo 5: Alice Silva de Castilho, Roberto Kirchheim, Eber Jose de Andrade Pinto

FOTO DA CAPA: Eronilton Morais Cavalcanti (Março/2017). Estação Fluviométrica Chácara do Alecrim (Código: 22560000), da RHUrucua, instalada no rio Soninho, município de São Félix do Tocantins.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)



Ficha catalográfica elaborada pela DIDOTE

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

Serviço Geológico do Brasil - CPRM
www.cprm.gov.br
seus@cprm.gov.br

APRESENTAÇÃO

O Aquífero Urucuia é um aquífero sedimentar poroso de grande potencial de disponibilidade hídrica, localizado no oeste do estado da Bahia e nas proximidades dos limites dos estados brasileiros nesta área. Por ser um aquífero sedimentar poroso, existe uma grande interação entre as águas superficiais e subterrâneas na região. Em função desta interação e ser um reservatório de grande potencial subterrâneo, contribui significativamente para a manutenção das vazões do rio São Francisco, no período seco, entre a divisa do estado de Minas Gerais e a montante da UHE Sobradinho. Por outro lado, é uma região de expansão agrícola com uso intenso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos para irrigação. Consistindo assim, a possibilidade de conflito entre os usuários, principalmente agrícolas e de geração de energia elétrica.

Ciente disso, o Serviço Geológico do Brasil - CPRM, buscando aprofundar o conhecimento sobre o sistema hídrico da região, no seu papel institucional, instituiu em 2013 o projeto “Sistema Aquífero Urucuia”. Para atingir este objetivo, o projeto tem várias dimensões a saber: estudos geocientíficos para avaliação de disponibilidade hídrica; bacia escola para aprimoramento do aprendizado sobre os processos hidrológicos envolvidos; estimativa de demanda de longo prazo dos usuários da água; informações para a gestão integrada dos recursos hídricos.

O presente relatório tem como objetivo apresentar o andamento das atividades, demonstrando o avanço do conhecimento da região, promovido pelo SGB-CPRM, até 2021.

Em 2013, foi instalada uma rede de monitoramento hidrometeorológico complementar (RHUrucuia). Já a rede integrada de monitoramento de águas subterrâneas (RIMAS) nesta região começou a ser instalada em 2010, sendo este o aquífero com a maior densidade de pontos de monitoramento do país. Os dados, de ambas as redes, já estão sendo usados nos estudos desenvolvidos.

Na parte de estudos, este relatório apresenta Caracterização Geológica feita por equipe de pesquisadores do SGB-CPRM nos últimos anos. Contém levantamentos geofísicos parciais, que serão utilizados na definição da geometria do Aquífero Urucuia, juntamente com os dados dos poços estratigráficos perfurados pelo SGB-CPRM e ANP.

Na parte da Caracterização Hidrogeológica, são apresentados resultados do monitoramento de águas subterrâneas e utilização destas informações em estudos de variação do armazenamento de água no solo com o uso de sensoriamento remoto.

Na parte de Caracterização Hidrológica, o relatório apresenta a análise dos dados da rede complementar instalada (RHUrucuia) e sua aplicação na regionalização de vazões, separação do escoamento e relações entre: vazões com diferentes permanências; deflúvio, precipitação, escoamento de base e evapotranspiração.

No item Bacia Escola, são apresentados resumos de duas teses de doutorado e uma dissertação de mestrado já concluídas, bem como duas teses de doutorado em andamento na região.

Por fim, na parte de Diagnósticos Complementares são apresentadas as atividades, ora em desenvolvimento, relacionadas a Caracterização Isotópica das Águas: meteóricas, superficiais e subterrâneas no Aquífero; técnica que será utilizada para a datação das águas e identificação dos fluxos. Além disso, é apresentado um extrato das atividades desenvolvidas no âmbito dos Estudos Hidrogeológicos Integrados na bacia do rio Carinhanha, projeto em parceria com a ANA, que é um dos grandes rios que fazem parte do Aquífero Urucuia.

Os dados e produtos do projeto Sistema Aquífero Urucuia estão sendo divulgados na página do SGB-CPRM e no Rigeo (<https://rigeo.cprm.gov.br/>).

Frederico Claudio Peixinho

Alice Silva de Castilho

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| INTRODUÇÃO | 21 |
| CAPÍTULO 1. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA | 25 |
| 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA GEOLOGIA..... | 28 |
| 1.1.1. Estratigrafia..... | 28 |
| 1.1.2. Aspectos Depositionais..... | 41 |
| 1.1.3. Condicionamento Tectônico..... | 41 |
| 1.1.4. Evolução Paleogeográfica..... | 42 |
| 1.2. ESTUDOS GEOFÍSICOS..... | 43 |
| 1.2.1. Considerações Gerais..... | 43 |
| 1.2.2. Estudos Regionais..... | 45 |
| 1.2.3. Estudos Sísmicos..... | 50 |
| 1.2.4. Estudos de Detalhe em Sub-bacias Hidrográficas..... | 57 |
| 1.2.5. Outros trabalhos..... | 61 |
| 1.3. CONCLUSÕES..... | 67 |
| CAPÍTULO 2. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA | 69 |
| 2.1. REDE DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS..... | 69 |
| 2.2. UTILIZAÇÃO DE DADOS DE SATÉLITES..... | 72 |
| 2.3. PERFURAÇÃO DE POÇOS ESTRATIGRÁFICOS..... | 74 |
| 2.4. CONCLUSÕES..... | 78 |
| CAPÍTULO 3. CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA | 79 |
| 3.1. AQUÍFERO URUCUIA..... | 80 |
| 3.2. REDE HIDROMETEOROLÓGICA DO AQUÍFERO URUCUIA..... | 84 |
| 3.3. METODOLOGIA DA ANÁLISE DOS DADOS..... | 90 |
| 3.3.1. Dados Climatológicos..... | 90 |
| 3.3.2. Dados Pluviométricos..... | 90 |

| | |
|---|------------|
| 3.3.3. Dados Fluviométricos | 93 |
| 3.4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 97 |
| 3.4.1. Análise dos Dados Climatológicos..... | 97 |
| 3.4.2. Análise dos Dados Pluviométricos | 100 |
| 3.4.3. Análise dos Dados Fluviométricos | 103 |
| 3.4.4. Análise da Curva de Permanência..... | 106 |
| 3.4.5. Identificação de Regiões Homogêneas pela Curva de Permanência Adimensionalizada..... | 107 |
| 3.4.6. Separação do Escoamento Superficial do Subterrâneo | 119 |
| 3.4.7. Análise do Balanço Hídrico Simplificado | 139 |
| 3.5. CONCLUSÕES | 140 |
| CAPÍTULO 4. PROJETO BACIA-ESCOLA DO URUCUIA | 146 |
| 4.1. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO CONCLUÍDA..... | 146 |
| 4.1.1. Avaliação da Interação entre Águas Subterrâneas e Superficiais na Bacia do Rio das Fêmeas, Sistema Aquífero Urucuia – Bahia..... | 146 |
| 4.2. TESES DE DOUTORAMENTO CONCLUÍDAS..... | 151 |
| 4.2.1. Balanço Hídrico Transitório e Análise das Variações de Níveis d’Água na Porção Meridional do Aquífero Urucuia – Bahia” | 151 |
| 4.2.2. Estudo Das Vazões Do Sistema Aquífero Urucuia Em Períodos De Recessão Hídrica | 161 |
| 4.3. TESES DE DOUTORAMENTO EM ANDAMENTO..... | 169 |
| 4.3.1. Avaliação da Interação dos Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos no Sistema Aquífero Urucuia..... | 169 |
| 4.3.2. Monitoramento de água subterrânea usando medidas conjuntas da rede RIMAS e dos satélites GRACE aplicados a aquíferos no Brasil | 170 |
| 4.3.3. Caracterização do Sistema Aquífero Urucuia na borda ocidental da bacia Sanfranciscana..... | 174 |
| 4.4. CONCLUSÕES | 178 |
| CAPÍTULO 5. DIAGNÓSTICOS HIDROLÓGICOS COMPLEMENTARES..... | 179 |

| | |
|--|------------|
| 5.1. ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS INTEGRADOS DA BACIA DO RIO CARINHANHA..... | 179 |
| 5.1.1. Hidrologia da Bacia do Rio Carinhanha | 179 |
| 5.2. ESTUDOS ISOTÓPICOS NO SAU | 186 |
| 5.2.1. Os isotópicos no Sistema Aquífero Urucuia (SAU) | 188 |
| 5.2.2. Componente Isotópica SGB | 189 |
| 5.2.3. Perspectivas Futuras..... | 195 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 197 |
| ANEXOS..... | 202 |
| Anexo I - PRECIPITAÇÃO..... | 203 |
| Anexo II - EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL | 204 |
| Anexo III – INCONSISTÊNCIAS NOS DADOS AUTOMÁTICOS | 205 |
| Anexo IV – INCONSISTÊNCIAS NOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS..... | 207 |
| Anexo V – COMPARAÇÃO ENTRE AS PRECIPITAÇÕES | 219 |
| Anexo VI – INCONSISTÊNCIAS NOS DADOS FLUVIOMÉTRICOS | 235 |
| Anexo VII – MEDIÇÕES, CURVAS-CHAVE E PERFIS | 238 |
| Anexo VIII – VALORES CARACTERÍSTICOS DOS PARÂMETROS CLIMATOLÓGICOS MONITORADOS..... | 247 |
| Anexo IX – DADOS DE MÉDIA PRECIPITAÇÃO MENSAL E ANUAL..... | 253 |
| Anexo X – DADOS DE VAZÃO MÉDIA MENSAL E ANUAL..... | 254 |
| Anexo XI – DADOS DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA..... | 255 |
| Anexo XII – GRÁFICOS DE PRECIPITAÇÃO, EVT REAL E VAZÃO | 257 |
| APÊNDICES | 265 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 0.1 – Figuras exemplificativas das hipóteses principais dos reflexos indesejáveis a partir do médio curso da bacia hidrográfica do rio São Francisco. | 23 |
| Figura 0.2 – Localização de Sistema Aquífero Urucuia. | 24 |
| Figura 1.1 – Estratigrafia da Bacia Sanfranciscana..... | 26 |
| Figura 1.2 - Foto do morro residual de arenito com estratificação tangencial de grande porte, sobre rochas do embasamento, na encosta oeste da Serra Geral de Goiás. Formação Posse. | 27 |
| Figura 1.3 - Foto do morro residual de arenito da Formação Posse sobre granodiorito. Leste de São Domingos..... | 27 |
| Figura 1.4 - Foto da área plana do interior do chapadão, sem vegetação, preparada para plantio. Notar redemoinhos ao fundo (erosão eólica). | 28 |
| Figura 1.5 - Foto do calcário oncolítico, município de São Desidério – BA | 29 |
| Figura 1.6 - Foto dos pelitos vermelho da Fm. Santa Helena cortado por sistemas de fraturas. Local, BR-135, Correntina-Barreiras. | 30 |
| Figura 1.7 - Foto dos pelitos avermelhado e castanho, com intercalações de calcário cinza. Região de Correntina..... | 30 |
| Figura 1.8 - A Bacia Sanfranciscana..... | 31 |
| Figura 1.9 - Foto do contato entre arenito vermelho da Formação Posse na base, e arenito castanho da Formação Serra das Araras no topo. O limite entre as duas unidades corresponde a uma superfície erosiva, segundo Spigolon e Alvarenga (2002). Afloramento na GO-362 | 33 |
| Figura 1.10 - Foto do subarcóseo friável com estratificação cruzada tangencial de muito grande porte, da Fm. Posse. Afloramento na GO-362..... | 33 |
| Figura 1.11 - Foto da bimodalidade textural em quartzo arenito da Fm. Posse. Rodovia BR-242, no trecho Luiz Eduardo (BA) – Taguatinga (TO)..... | 34 |

- Figura 1.12 - Microfotografia mostrando os quartzarenitos da Formação Posse. Aspecto geral dos grãos de quartzo, do cimento de hidróxido de ferro e da porosidade intergranular..... 35
- Figura 1.13 - Fotomicrografia mostrando os quartzarenitos da Formação Posse. Aspecto da bimodalidade dos grãos de quartzo, do cimento de óxido/hidróxido de ferro e da porosidade intergranular. 35
- Figura 1.14 - Subarcóseo da Formação Serra das Araras. Amostra RL-R-20B. Porosidade intergranular destacada pela cor azul da impregnação..... 37
- Figura 1.15 - Quartzarenito da Formação Serra das Araras. Amostra RL-R-52b. Porosidade destacada pela cor azul da impregnação..... 37
- Figura 1.16 - Quartzarenito silicificado da Fm. Serra das Araras. Notar que o cimento silicoso mascarou as estruturas primárias. Local, ponto JT-21. 38
- Figura 1.17 - Subarcóseo com estruturas primárias parcialmente obliteradas pela fluidização. Local, ponto JT- 18. 39
- Figura 1.18 - Quartzarenito/subarcóseo mostram estruturas do tipo ball and pillow. Local, BR-135, trecho Inhaumas-Correntina. 39
- Figura 1.19 - Alternância de quartzarenito e subarcóseo. Notar feição de ball and pillow e estratificação cruzada de baixo ângulo na camada superior. Mesmo local da foto anterior. 40
- Figura 1.20 - Modelo evolutivo da Bacia Sanfranciscana..... 43
- Figura 1.21 – Seção esquemática a sul da cidade de Barreiras, com cerca de 190 km de extensão. Observa-se uma zona onde os prováveis sedimentos Urucuia poderiam atingir cerca de 1.300-1.400 metros de espessura..... 48
- Figura 1.22 – Seção C-C’, também nas proximidades da cidade de Barreiras, nas proximidades oeste da cidade de Barreiras, na qual a espessura interpretada para os sedimentos Urucuia, atingiria na porção central da seção cerca de 1.000 metros 49
- Figura 1.23 – Seção longitudinal ao comprimento da bacia, com aproximadamente 500 km de extensão, mostrando que no extremo sul da

| | |
|--|----|
| região os sedimentos Urucuia poderiam ultrapassar os 1.500 metros de espessura..... | 49 |
| Figura 1.24 – Linhas sísmicas e poços estratigráficos analisados..... | 50 |
| Figura 1.25 – Dados sísmicos originais mostrando os três fortes refletos..... | 51 |
| Figura 1.26 – Arenitos Fanerozóicos sobre o embasamento..... | 51 |
| Figura 1.27 – Incremento nas espessuras sedimentares totais da Bacia Sanfranciscana na direção norte, de acordo com o SGB-CPRM (inédito)..... | 52 |
| Figura 1.28: Seção de empilhamento no tempo (m/s), na linha 284-0103. Dados finais após o reprocessamento da PETROBRAS. | 53 |
| Figura 1.29 – Perfis litológicos e construtivos dos poços de Mambaí/GO e Chapada Gaúcha/MG. | 53 |
| Figura 1.30 – Linha sísmica 0248-101 processada..... | 54 |
| Figura 1.31 – Interpretação da linha sísmica 02480111 | 55 |
| Figura 1.32 – Linha 02480110..... | 55 |
| Figura 1.33 – Linha sísmica 02480109 | 56 |
| Figura 1.34 – Perfil geológico hipotético para as espessuras de ocorrência do Sistema Aquífero Urucuia na porção sul da Bacia do Urucuia..... | 56 |
| Figura 1.35 – Espessuras do SAU, obtidas pelos métodos de eletrorresistividade e TDEM. | 64 |
| Figura 1.36 – Levantamento áudio magnetotélúrico: 18 estações de medição na linha SW/NE e 31 estações na linha SE/NW. As setas e o círculo em vermelho mostram as áreas onde ainda haverá aquisição de dados. | 66 |
| Figura 2.1 – A rede de Monitoramento (RIMAS) no Urucuia | 71 |
| Figura 2.2 – Mapas com resultados dos testes estatísticos aplicados sobre os dados GRACE e RIMAS..... | 73 |

| | |
|--|-----|
| Figura 2.3 – Perfilagens geofísicas (raios gama) dos poços estratigráficos do SGB-CPRM e do poço da ANP..... | 75 |
| Figura 2.4 – Modelo hidrogeológico Conceitual do Aquífero Urucuia..... | 77 |
| Figura 3.1 – Vista da Serra Geral de Goiás, na região de São Domingos, GO..... | 81 |
| Figura 3.2 – Valores médios de evaporação (E) e evapotranspiração (EVT) potencial mensal do SAU comparados aos valores precipitados (P) nos períodos 1961-1990 e 1981-2010..... | 82 |
| Figura 3.3 – Valores médios mensal de precipitação do CHIRPS (resolução de 5 km) e evapotranspiração real do SSEBop (resolução de 1 km), para o período de 2003 a 2020. | 83 |
| Figura 3.4 – Localização das estações da Rede Hidrometeorológica do Aquífero Urucuia – RHUrucuia. | 89 |
| Figura 3.5 – Gráficos da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%), ao longo do tempo monitorados nas estações climatológicas e puviométricas da RHUrucuia, entre 2014 e 2019. | 98 |
| Figura 3.6 – Gráficos da pressão atmosférica (hPa) e radiação solar (W/m ²), ao longo do tempo, monitoradas nas estações climatológicas da RHUrucuia, entre 2014 e 2019..... | 99 |
| Figura 3.7 – Gráficos da velocidade (m/s) e da direção do vento, ao longo do tempo, monitorados nas estações climatológicas da RHUrucuia, entre 2014 e 2019..... | 99 |
| Figura 3.8 – Precipitação anual nas estações da RHUrucuia..... | 101 |
| Figura 3.9 – Hietograma da precipitação das estações convencionais das RHUrucuia, espacializadas pelo método do Kriging, para área do SAU. | 103 |
| Figura 3.10 – Gráfico da correlação entre as precipitações das estações convencionais das RHUrucuia, espacializadas pelo método do Kriging, e dados obtidos no projeto CHIRPS..... | 103 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.11 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 20 com inserção das curvas das estações da RHUrucua na bacia do rio Tocantins | 108 |
| Figura 3.12 – Curvas de Permanência adimensionalizadas das Regiões 21 e 22 com inserção das curvas das estações da RHUrucua na bacia do rio Parnaíba | 109 |
| Figura 3.13 – Geologia das estações na bacia do rio Parnaíba | 110 |
| Figura 3.14 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 1 com inserção das curvas das estações 45120000 - Sumidor das Gaitas e 45125000 - Vereda Grande da RHUrucua na bacia do rio São Francisco..... | 111 |
| Figura 3.15 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 2 com inserção da curva da estação 45155500 - Santa Luzia da RHUrucua na bacia do rio São Francisco | 111 |
| Figura 3.16 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 8 com inserção da curva da estação 45155500 - Santa Luzia da RHUrucua na bacia do rio São Francisco..... | 112 |
| Figura 3.17 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 6 com inclusão da curva da estação 45765000 - Fazenda Mombim da RHUrucua na bacia do rio São Francisco..... | 112 |
| Figura 3.18 – Mapa de uso do solo na área de drenagem da estação 45765000 - Fazenda Mombim, montando a partir da informação do Projeto MapBiomias. | 113 |
| Figura 3.19 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 12 com inclusão da curva da estação 46410000 – Batalha da RHUrucua na bacia do rio São Francisco | 114 |
| Figura 3.20 – Mapa de uso do solo na área de drenagem da estação 46410000 – Batalha..... | 114 |
| Figura 3.21 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 9 com inclusão da curva da estação 46438000 - Retiro da RHUrucua na bacia do rio São Francisco..... | 115 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.22 – Curvas de Permanência adimensionalizadas da curva da estação 46439000 - Ribeirão dos Bois da RHUrucuia na bacia do rio São Francisco..... | 116 |
| Figura 3.23 – Mapa de uso do solo na área de drenagem da 46439000 - Ribeirão dos Bois, montando com informações de vários projetos (ANA e EMBRAPA, 2019; CPRM, 2019b; MapBiomas, 2019). | 116 |
| Figura 3.24 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 13 com inserção da curva da estação 46470000 – Canabravão da RHUrucuia na bacia do rio São Francisco | 117 |
| Figura 3.25 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 17 com inserção das curvas das estações 46555800 - Nova Vista e 46572000 - Fazenda Santa Maria, ambas da RHUrucuia na bacia do rio São Francisco. | 118 |
| Figura 3.26 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 19 com inserção da curva da estação 46780800 - Ponte Riachão da RHUrucuia na bacia do rio São Francisco..... | 118 |
| Figura 3.27 – Localização das áreas de drenagem das estações, sobre o Modelo Numérico de Elevação elaborado pela EMBRAPA (MIRANDA, 2021) | 120 |
| Figura 3.28 – Localização das áreas de drenagem, sobre o mapa hidrogeológico elaborado pelo SGB-CPRM (DINIZ <i>et al.</i> , 2014) | 121 |
| Figura 3.29 – Relação entre a razão das vazões Q90/Q50 e a área de drenagem das bacias hidrográficas..... | 122 |
| Figura 3.30 – Espacialização das razões entre Q90/Q50 para as estações da RHUrucuia e estações analisadas em CPRM (2019a)..... | 124 |
| Figura 3.31 – Espacialização do parâmetro BFI _{max} | 125 |
| Figura 3.32 – Resultado da Análise dos Dados Hidrológicos..... | 126 |
| Figura 3.33 – Separação do escoamento do rio Soninho em Chácara Alecrim. 127 | |
| Figura 3.34 – Separação do escoamento do rio Novo em Barra do Caracol. | 127 |
| Figura 3.35 – Separação do escoamento do rio Preto em Chácara Rio Preto... 128 | |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.36 – Separação do escoamento do rio Paraibinha em Porto Alegre... | 128 |
| Figura 3.37 – Separação do escoamento do rio Gurgueia em Barroão..... | 128 |
| Figura 3.38 – Separação do escoamento do rio Carinhanha em Sumidor das Gaitas..... | 129 |
| Figura 3.39 – Separação do escoamento do rio Carinhanha em Vereda Grande..... | 129 |
| Figura 3.40 – Separação do escoamento do rio Itaquari em Santa Luzia. | 129 |
| Figura 3.41 – Separação do escoamento do rio Arrojado em Fazenda Mombim..... | 130 |
| Figura 3.42 – Separação do escoamento do rio Grande em Batalha..... | 130 |
| Figura 3.43 – Separação do escoamento do rio Rio das Fêmeas em Retiro. | 130 |
| Figura 3.44 – Separação do escoamento do rio Riacho dos Bois em Ribeirão dos Bois..... | 131 |
| Figura 3.45 – Separação do escoamento do rio Do Nado em Canabravão..... | 131 |
| Figura 3.46 – Separação do escoamento do rio Bom Jesus em Nova Vista. | 131 |
| Figura 3.47 – Separação do escoamento do rio Ponta d'água em Faz. Santa Maria..... | 132 |
| Figura 3.48 – Separação do escoamento do rio Riachão em Ponte Riachão. ... | 132 |
| Figura 3.49 – Relação entre a vazão média de longo tempo (QMLT) e a área de drenagem das bacias hidrográficas | 133 |
| Figura 3.50 – Espacialização das razões entre vazão de base (Qb) e vazão de longo tempo (QMLT) para as estações da RHUrucuia e estações analisadas em CPRM (2019a)..... | 134 |
| Figura 3.51 – Relação entre o coeficiente de escoamento Q/P e a área de drenagem das bacias hidrográficas | 135 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.52 – Espacialização dos coeficientes de escoamento (CE) das estações da RHUrucuia e estações analisadas em CPRM (2019a)..... | 136 |
| Figura 4.1 – Localização da Área de Estudo. | 147 |
| Figura 4.2 – Localização dos pontos de monitoramento na Bacia do Rio das Fêmeas. | 148 |
| Figura 4.3 – Representação esquemática do modelo hidrológico/hidrogeológico conceitual da Bacia do Rio das Fêmeas. | 149 |
| Figura 4.4 – Mapa potenciométrico da Bacia do Rio das Fêmeas (média do período de 2011 a 2015)..... | 150 |
| Figura 4.5 – Variação dos níveis d’água no período de simulação de Jul/2015 a Dez/2035. | 151 |
| Figura 4.6 – Valores calculados para recarga, vazão nos cursos d’água e fluxo na borda oeste da Bacia do Rio das Fêmeas durante o período de simulação (2015-2035)..... | 151 |
| Figure 4.7 – Hietograma da precipitação média anual no sistema aquífero Urucuia | 163 |
| Figure 4.8 – Gráfico da precipitação mensal na região do sistema aquífero Urucuia e dos valores mensais do Índice AMO..... | 164 |
| Figura 4.9 – Evolução, ano a ano, da vazão nas estações analisadas na sub-bacia do rio Grande, incluindo seu principal afluente, rio Preto..... | 166 |
| Figura 4.10 – Evolução, ano a ano, da área plantada, com culturas perenes e anuais, na sub-bacia do rio Grande, incluindo seu principal afluente, rio Preto | 166 |
| Figura 4.11 – Evolução, ano a ano, da área plantada e com pastagem sobre o SAU, e da vazão nas estações analisadas na bacia do rio Corrente. | 167 |
| Figura 4.12 – Evolução dos níveis freáticos médios por faixa de variação da profundidade..... | 168 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.13 – Mapa de calor, variação do GWS/RIMAS para o aquífero Urucuia. | 172 |
| Figura 4.14 – Variação média do TWS/GRACE e GWS/RIMAS para o aquífero Urucuia. | 173 |
| Figura 4.15 – Resultado do modelo de inteligência computacional, para a observação do armazenamento das águas subterrâneas, aplicado ao aquífero Urucuia, R^2 0.86. | 174 |
| Figura 4.16 – Evolução do relevo no domínio do Urucuia. | 175 |
| Figura 4.17 – Modelos conceituais: Perfis, Perfilagem sísmica (GR), Fotomicrografias..... | 176 |
| Figura 5.1: Divisão hidrográfica e municipal da bacia hidrográfica do rio Itaguari. | 181 |
| Figura 5.2 – Estações Fluviométricas e pontos de medição de vazão da bacia do rio Carinhanha | 183 |
| Figura 5.3 – Estações Pluviométricas utilizadas no estudo | 185 |
| Figura 5.4 – Ilustração conceitual sobre isótopos estáveis (Gastmans <i>et al.</i> , 2021; Mook, 2000; Yoshimura, 2015)..... | 187 |
| Figura 5.5 – Estações GNIP’s instaladas e mantidas pelo SGB e parceiros com influência nos estudos no SAU. | 191 |
| Figura 5.6 – Pontos de amostragem isotópica de água superficial na campanha da estação seca de 2021..... | 192 |
| Figura 5.7. Coletas e resultados da Coleta desenvolvida por SGB, através de Oliveira (2020), Diagrama ^{18}O - ^2H com assinaturas isotópicas de águas subterrâneas, chuva e rios. Mapa de distribuição de ^{18}O no período chuvoso e seco. | 195 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1.1 – Dados geofísicos existentes..... | 44 |
| Tabela 2.1 – Características dos poços estratigráficos perfurados pelo SGB-CPRM no Urucuia | 75 |
| Tabela 3.1 – Estações climatológicas em operação na RHUrucuia. | 85 |
| Tabela 3.2 – Estações pluviométricas em operação na RHUrucuia. | 86 |
| Tabela 3.3 – Estações fluviométricas em operação na RHUrucuia. | 87 |
| Tabela 3.4 – Disponibilidade de dados pluviométricos da RHUrucuia..... | 91 |
| Tabela 3.5 – Disponibilidade de dados fluviométricos da RHUrucuia..... | 94 |
| Tabela 3.6 – Valores de BFI _{max} sugeridos por Eckhardt (2005) | 96 |
| Tabela 3.7– Curvas-chave definidas para as 16 estações fluviométricas..... | 104 |
| Tabela 3.8 – Vazões mínima e máxima das estações fluviométricas | 105 |
| Tabela 3.9 – Vazões características das estações fluviométricas..... | 106 |
| Tabela 3.10 – Estações fluviométricas utilizadas no cálculo do escoamento de base. | 119 |
| Tabela 3.11 – Resultado aplicação do filtro de Eckhardt | 123 |
| Tabela 3.13 – Resultado da Análise dos Dados Hidrológicos apresentada no estudo “Aquífero Urucuia: Caracterização hidrológica com base em dados secundários” | 123 |
| Tabela 3.12 – Resultado da Análise dos Dados Hidrológicos (em mm/ano)..... | 126 |
| Tabela 3.14 – Deflúvio, precipitação, evapotranspiração e variação de armazenamento média anual por estação fluviométrica. | 139 |
| Tabela 5.1 – Características das estações fluviométricas e pontos de medição de vazão da bacia do rio Carinhanha | 184 |
| Tabela 5.2 – Resultados da estimativa preliminar da recarga anual (mm) | 186 |

INTRODUÇÃO

A região dos extensos chapadões situados ao norte de Minas Gerais, oeste da Bahia, leste de Goiás, extremos sul do Piauí e Maranhão e sudeste de Tocantins, tem sido objeto de estudos geológicos desde o início do século 20, sendo constituída por extensos depósitos arenosos, chamados por Moraes Rego (1926), como “arenitos de chapada”.

Estes arenitos, inicialmente considerados como simples condutores de águas para os diversos rios da região, têm adquirido status de reservas estratégicas, a partir da constatação de suas imensas potencialidades hídricas, ressaltadas pelas elevadas espessuras saturadas, grande área de ocorrência e excelentes porosidades.

A partir do início dos anos 80, como decorrência do expressivo incremento porque passou o agronegócio na área, suas reservas de águas subterrâneas passaram a ser utilizadas para a produção de soja, algodão, arroz e outras culturas agrícolas, além de atividades pecuárias.

A intensa atividade desenvolvida nessa região acentuou os processos de degradação da qualidade e redução dos volumes das águas dos mananciais, originando a elaboração de vários estudos com foco no uso racional das águas, revitalização e proteção de matas ciliares da rede de drenagem.

Ao mesmo tempo, a constatação de que esses recursos hídricos são responsáveis por expressiva parcela da vazão de base dos afluentes da margem esquerda do São Francisco, contribuindo efetivamente com as vazões que chegam à barragem de Sobradinho nos períodos de estiagem (ANA, 2017), ressaltou a preocupação ambiental a seu respeito. Sua importância ecológica é ainda ressaltada pelo papel como mantenedor da perenidade das fontes, nascentes e veredas do cerrado baiano e dos demais estados onde ocorre. Estima-se também que essas águas contribuem também com a manutenção das vazões de base dos cursos d’água das bacias hidrográficas do Tocantins e do Parnaíba.

Para a implantação da gestão integrada e sustentável de seus recursos hídricos e seu gerenciamento integrado, torna-se necessário o conhecimento do comportamento do ciclo hidrológico local, das características de uso e ocupação do solo, da vulnerabilidade natural dos aquíferos e da implantação de um programa de monitoramento sistemático. Somente desta forma será possível a obtenção de informações de suporte à sustentabilidade do desenvolvimento regional a médio e longo prazo.

Sem a adoção de tais procedimentos, será iminente a ocorrência de impactos negativos nas vazões de base do rio São Francisco e de seus principais afluentes da margem esquerda, principalmente nos períodos de estiagem, ameaçando a implantação de projetos estruturadores locais e regionais, como por exemplo, o Projeto de Integração do rio São Francisco – PIF.

Considerando sua missão institucional de “Gerar e difundir o conhecimento geológico e hidrológico básico para o desenvolvimento sustentável do Brasil” e os preceitos estabelecidos na Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, o SGB-CPRM – Serviço Geológico do Brasil, tem desenvolvido pesquisas nesta área, no intuito de contribuir com a proteção dos recursos hídricos e do meio ambiente regional, a partir da realização de estudos geológicos, geofísicos, hidrogeológicos, hidrológicos, de vulnerabilidade e no monitoramento dos recursos hídricos de forma integrada, com vistas à obtenção de informações confiáveis e de qualidade para a gestão integrada dos recursos hídricos da bacia do rio São Francisco.

Parte-se da premissa de que o uso desordenado e sem controle dos recursos hídricos totais (superficiais e subterrâneos) existentes na Bacia do Urucuia, juntamente com os aspectos de mudanças e variações no clima, trarão reflexos indesejáveis na bacia hidrográfica do rio São Francisco, a partir de seu médio curso. São levantadas duas hipóteses principais (Figura 0.1a):

- a. Os incrementos de temperatura, evapotranspiração e a redução das precipitações têm produzido diminuições nas vazões de base do rio São Francisco, a partir da década de 80 (Figura 0.1,a e b);
- b. O incremento do uso dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) registrado desde o início da década de 89 é o principal responsável pela queda dos deflúvios (Figura 0.1b).

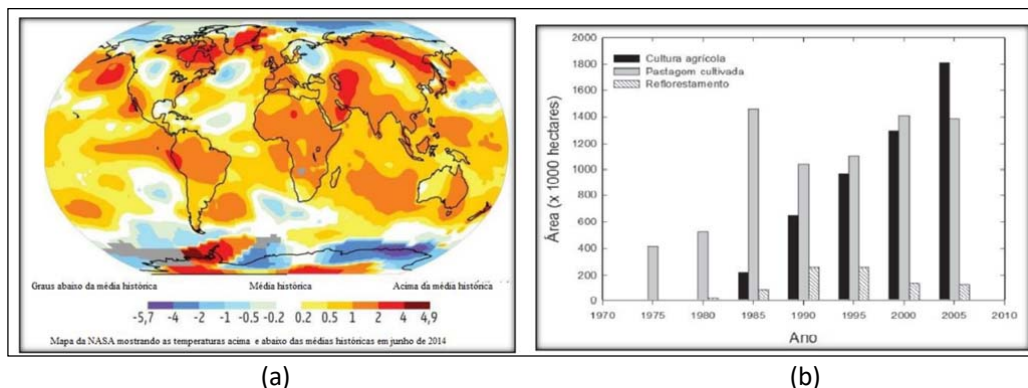


Figura 0.1 – Figuras exemplificativas das hipóteses principais dos reflexos indesejáveis a partir do médio curso da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Neste sentido, o SGB-CPRM implantou o monitoramento integrado de águas superficiais e subterrâneas na região, e partir do qual serão desenvolvidos estudos hidrológicos e hidrogeológicos, com o objetivo de aprimorar o conhecimento da inter-relação dos recursos hídricos da região e permitir a análise de cenários futuros, além do desenvolvimento de ferramentas de gestão integrada das águas. Além disso, visando promover uma ampla capacitação de seus pesquisadores, a instituição criou o projeto da Bacia-Escola do Urucuia no qual, além dos trabalhos de pesquisa direta, incentiva a realização de cursos de pós-graduação de seus colaboradores – em nível de mestrado e doutorado na área. Já foram defendidas duas teses de doutoramento e uma dissertação de mestrado e atualmente outros três doutoramentos estão em desenvolvimento.

Portanto, este relatório tem o objetivo de apresentar o conhecimento adquirido, até o momento, sobre o comportamento das interações entre as águas superficiais e subterrâneas do Sistema Aquífero Urucuia (Figura 0.2), e apresentar os trabalhos em desenvolvimento pelo Serviço Geológico do Brasil. Neste sentido, o presente documento está dividido em cinco capítulos:

- O Capítulo 1 apresenta uma caracterização geológica da região;
- A caracterização hidrogeológica, que aborda o monitoramento do aquífero e os resultados da análise da evolução do armazenamento de água, com base nos dados de múltiplos satélites e das medições *in situ*, está disponível no Capítulo 2;

- O Capítulo 3 apresenta a caracterização hidrológica com base em dados primários da Rede Hidrometeorológica do Aquífero Urucuia (RHUrucuia), comparados com os resultados anteriores apresentados na publicação “Aquífero Urucuia: Caracterização hidrológica com base em dados secundários” (CPRM, 2019a);
- Os trabalhos de pesquisa direta e incentivados através da realização de cursos de pós-graduação, em nível de mestrado e doutorado, no âmbito do projeto da Bacia-Escola do Urucuia, podem ser visualizados no Capítulo 4;
- E, no Capítulo 5 estão apresentados os diagnósticos futuros e suas perspectivas.

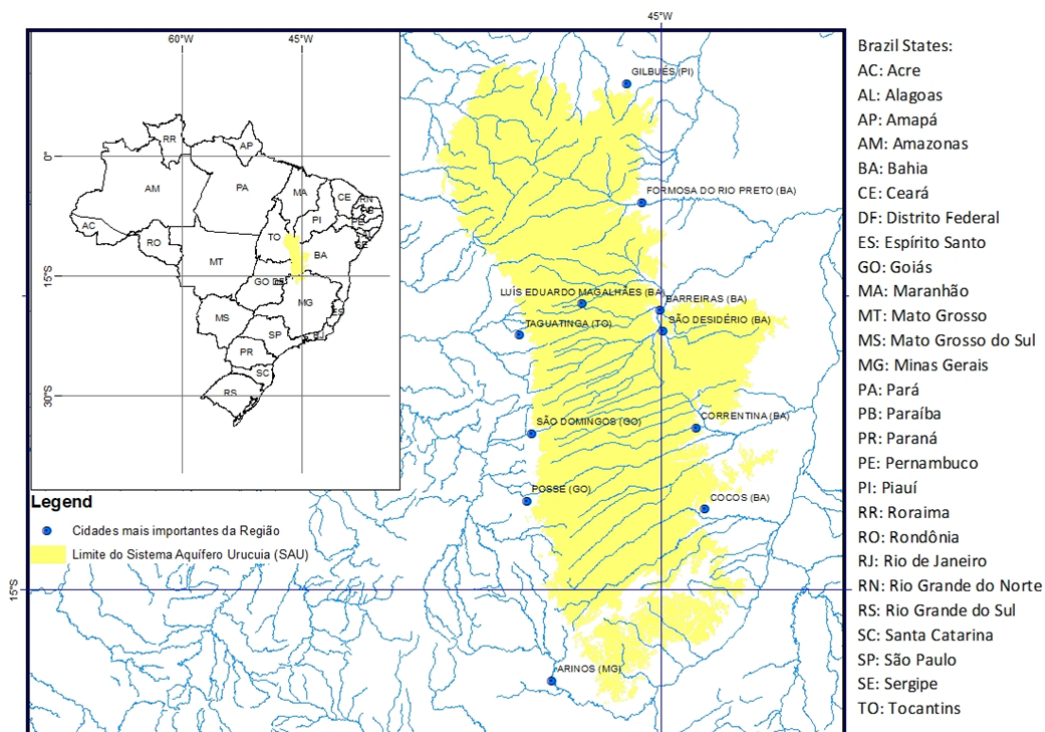


Figura 0.2 – Localização de Sistema Aquífero Urucuia.

Fonte: Vieira, 2021.

CAPÍTULO 1. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

**Autores: João Alberto Oliveira Diniz e
Amilton de Castro Cardoso**

A proposição das atividades de geologia básica e de geofísica objetiva o aprofundamento do conhecimento do Aquífero Urucuia, inserido no Grupo Urucuia, uma cobertura cretácea da Bacia Sedimentar do São Francisco. Estes estudos têm como principal foco o entendimento da geometria da bacia, de sua estratigrafia e estruturas controladoras do armazenamento e fluxo das águas superficiais e subterrâneas.

Tem como objetivo primordial dirimir as dúvidas existentes sobre as variações de espessuras dos sedimentos cretáceos, constatadas em furos estratigráficos (presença de movimentações de falhas configurando riftes e/ou paleo-relevos do embasamento). Também se pretende identificar a natureza, estruturas e distribuição espaciais das unidades do substrato da bacia, constituídas por rochas granito-gnáissicas arqueanas-paleoproterozóicas, metassedimentos da Faixa Dobrada Rio Preto e sedimentos carbonáticos do Grupo Bambuí. Com relação a estes últimos, seu estudo é de vital importância, visto o possível desenvolvimento de feições cársticas que possam originar estruturas de dissolução que desempenhem importante papel de exutório natural das águas subterrâneas do Urucuia, inclusive servindo como condutos para ligação entre elas e o rio São Francisco.

Entende-se que os aspectos geológicos, com seus reflexos nas características hídricas das assembleias estratigráficas (incluindo sedimentos paleozóicos da Bacia do Parnaíba, adjacentes), devem ser estudados de forma sistêmica, visto que se constituem como terrenos acumuladores e distribuidores de grande parte das águas que alimentam o rio São Francisco, em especial nas épocas de seca na região.

As formações que compõem o arcabouço litoestratigráfico do Grupo Urucuia destacam-se em importância pelo seu grande volume e distribuição areal na Bacia Sanfranciscana. No entanto, apesar dessa característica, as rochas desse grupo representam uma unidade homogênea, com pouca variedade de litotipos. Ocorre de forma contínua na Sub-bacia Urucuia, estendendo-se até o

sul dos estados do Piauí e Maranhão, sendo descrito por Góes e Feijó (1994) e Campos (1996), naquela região; e, descontínua na parte sul (Subbacia Abaeté), na forma de mesetas e morros testemunhos. São representadas pela Formação Posse, inferior, e Serra das Araras, superior, ambas de idade cretácica. Recobrimo indistintamente as duas ocorrem os depósitos recentes da Formação Chapadão, conforme pode ser visto na coluna estratigráfica mostrada na Figura 1.1. Nas figuras 1.2, 1.3 e 1.4, podem-se observar fotos que ilustram algumas características dessas formações.

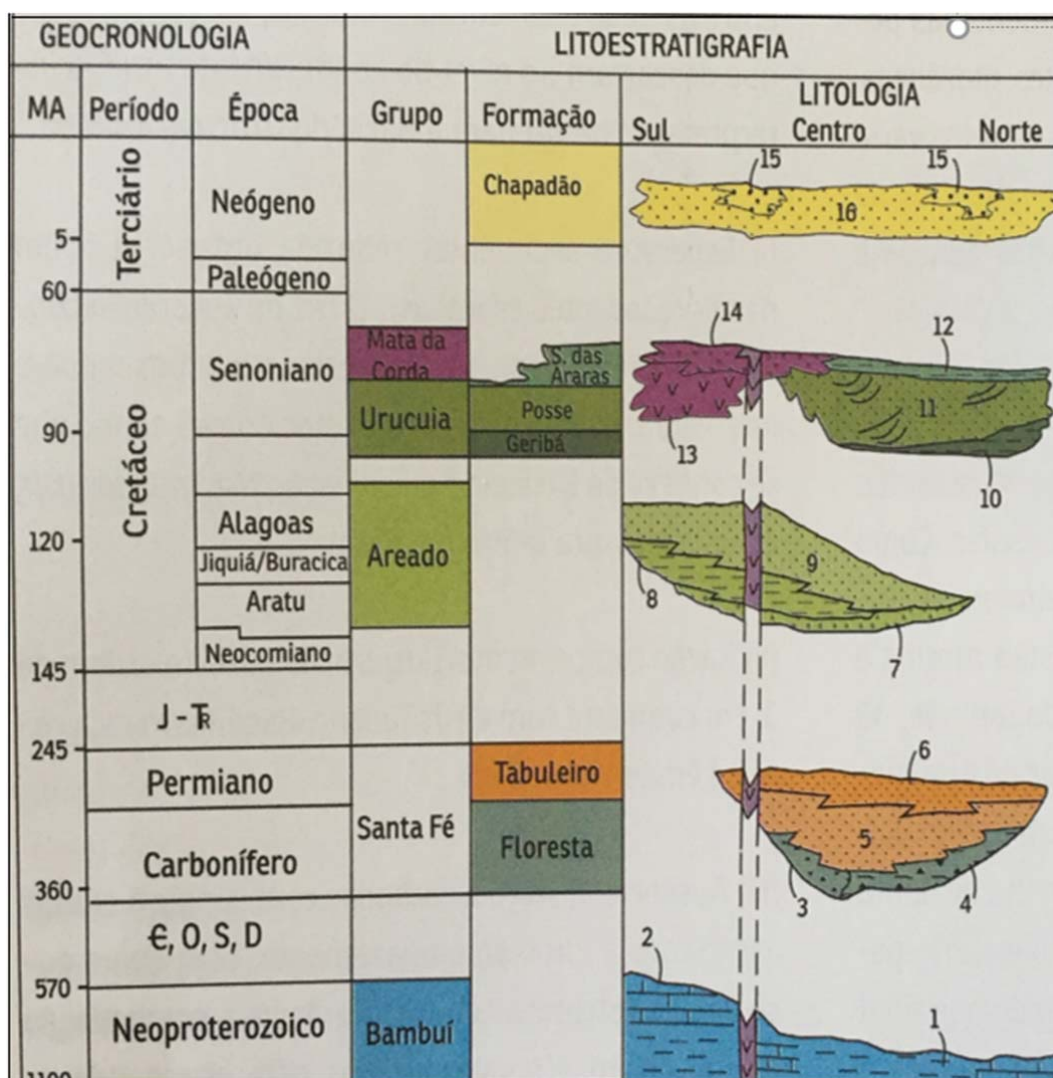


Figura 1.1 – Estratigrafia da Bacia Sanfranciscana
Fonte: modificado de Campos e Dardenne (1997).



Figura 1.2 - Foto do morro residual de arenito com estratificação tangencial de grande porte, sobre rochas do embasamento, na encosta oeste da Serra Geral de Goiás. Formação Posse.
Fonte: CPRM, 2016.



Figura 1.3 - Foto do morro residual de arenito da Formação Posse sobre granodiorito. Leste de São Domingos.
Fonte: CPRM, 2016.



Figura 1.4 - Foto da área plana do interior do chapadão, sem vegetação, preparada para plantio. Notar redemoinhos ao fundo (erosão eólica).

Fonte: CPRM, 2016.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA GEOLOGIA

1.1.1. Estratigrafia

Na Bacia Sanfranciscana ocorrem as seguintes unidades (Campos e Dardenne, 1997b):

Grupo Bambuí

O Grupo Bambuí, juntamente com o Grupo Macaúbas constituem o Supergrupo São Francisco, uma assembleia sedimentar mista que preenche a Bacia Neoproterozóica do São Francisco aflorante nos estados da Bahia, Minas Gerais, Tocantins e Goiás. O Grupo Bambuí, compõe-se, da base para o topo, das unidades Serra da Saudade (Dardenne, 1978), Lagoa do Jacaré (Branco e Costa, 1961), Serra de Santa Helena (Branco e Costa, 1961) e Sete Lagoas (Schöll, 1973), enquanto que o Grupo Macaúbas é representado pela Formação Jequitai (Oliveira e Leonardos, 1943).

A Formação Jequitaí é constituída por diamictitos com intercalações de siltitos, arenitos impuros e pelitos laminados, encobertos por capa carbonática (Zalán e Romeiro-Silva, 2007). Tem espessura máxima de 160 metros.

A Formação Serra de Santa Helena - folhelho vermelho, cinza, creme, interestratificado com margas, siltito e argilito. Intercalações de calcarenito (esp. mínima 40 metros);

A Formação Lagoa do Jacaré - calcarenito, às vezes intraclástico e oncolítico, escuro, interestratificado com folhelho cinza, siltito e margas (esp. mínima 120 metros);

A Formação Serra da Saudade – siltito e folhelho interestratificados (esp. mínima 180 metros).

A Formação Sete Lagoas, por sua vez, constitui-se de uma sequência margosa e pelítica, com lentes de calcários e dolomitos de todas as dimensões.

Nas Figuras 1.5, 1.6 e 1.7 mostram fotos ilustrando aspectos de afloramentos dessas rochas.



Figura 1.5 - Foto do calcário oncolítico, município de São Desidério – BA
Fonte: CPRM, 2016.



Figura 1.6 - Foto dos pelitos vermelho da Fm. Santa Helena cortado por sistemas de fraturas.
Local, BR-135, Correntina-Barreiras.
Fonte: CPRM, 2016.



Figura 1.7 - Foto dos pelitos avermelhado e castanho, com intercalações de calcário cinza.
Região de Correntina.
Fonte: CPRM, 2016.

Grupo Urucuia

O Grupo Urucuia ocorre na chamada “Bacia Sanfranciscana”, que se estende desde o Sul dos estados do Piauí e Maranhão, passando pelo Tocantins, Goiás e Bahia, até a região Norte de Minas Gerais. Representa uma depressão Fanerozóica preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas que bordejam a parte W do Cráton São Francisco.

Ocupa uma área total estimada em 142.061 km² e, juntamente com o Grupo Areado, corresponde às Coberturas Fanerozóicas da Bacia do São Francisco, razão pela qual sua área de ocorrência é conhecida como Bacia Sanfranciscana.

Seus limites longitudinais são paralelos às faixas de dobramentos Brasília e Araçuai, enquanto que a sul se limita com a Bacia do Paraná, pelo Alto de Paranaíba e a norte se limita com a Bacia do Parnaíba, pelo Arco do São Francisco. Internamente, divide-se nas sub-bacias Abaeté, a sul, e Urucuia, a norte, separadas pelo Alto de Paracatu. Para norte, o Grupo Urucuia superpõe-se aos depósitos Paleozóicos da Bacia do Parnaíba (Figura 1.8).

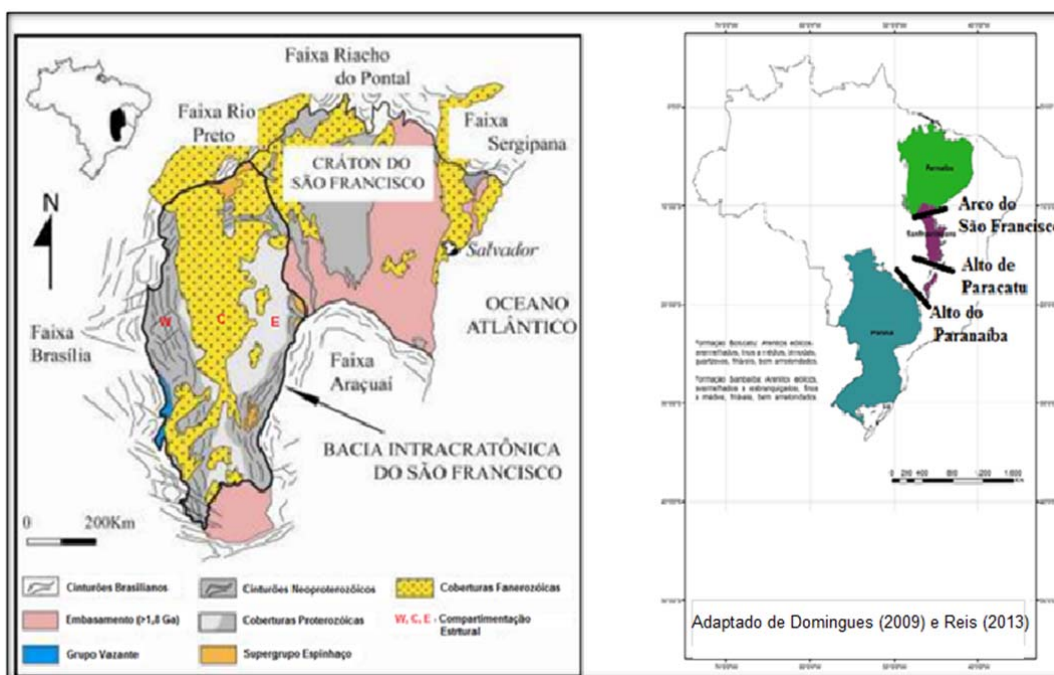


Figura 1.8 - A Bacia Sanfranciscana
Fonte: Adaptado de Domingues (2009).

O Grupo Urucuia (Derby, 1879) foi alçado à categoria de Grupo por Campos e Dardenne (1997a). A característica mais marcante dessa sedimentação é a uniformidade sedimentar, lateral e vertical, das suas litofácies por grandes distâncias, constituindo uma unidade sedimentar horizontalizada, não deformada, acumulada no Cretáceo superior, entre 95 e 80 Ma atrás.

Assenta-se, em discordância erosiva e angular sobre as seguintes unidades:

- Ortognaisses granodioríticos paleoproterozoicos do Complexo Almas-Cavalcante, na região oeste da escarpa da Serra Geral de Goiás;
- Ortognaisses-migmatíticos e granitoides arqueano-paleoproterozoicos do Complexo Gnáissico-Migmatítico e da Suíte Intrusiva Correntina, na porção leste da escarpa da Serra Geral;
- Carbonatos e siliciclastos Neoproterozoicos do Grupo Bambuí.

Da base para o topo, o Grupo Urucuia é composto pelas formações Geribá, Posse e Serra das Araras.

A Formação Geribá (Lima, 2007), constitui uma Unidade Geofísica reconhecida em dois poços produtores de água, que abastecem a sede do município de Luiz Eduardo Magalhães (Poço MO-02) e a localidade de Perdizes, município de São Desidério (Poço PE-01).

Tem espessura mínima, medida por indiretos de 110 m, constituída por pelitos com intercalações de arenitos argilosos, que gradam para arenitos argilosos com intercalações de pelitos, no sentido do topo da formação.

Maia e Rodrigues (2012) constatou lamitos e folhelhos por ele relacionados à Formação Geribá, aflorando na borda leste da Bacia do Urucuia (km 645 da BR-242).

A Formação Posse (Campos e Dardenne, 1997b) ocorre apenas na borda oeste da Serra Geral de Goiás, limitada na base com as rochas Arqueano-proterozóicas da Formação Geribá e no topo com a Formação Serra das Araras. De acordo com as informações atualmente disponíveis, mostra espessuras variando entre 93 a 121 m na borda oeste (Lopes, 2006), com valor máximo de 30 m, estimada nos poços de água MO-02 e PE-01 (Lima, 2007).

Erro! Fonte de referência não encontrada. Ilustram algumas características dessa unidade, estão apresentadas nas figuras 1.9, 1.10 e 1.11.



Figura 1.9 - Foto do contato entre arenito vermelho da Formação Posse na base, e arenito castanho da Formação Serra das Araras no topo. O limite entre as duas unidades corresponde a uma superfície erosiva, segundo Spigolon e Alvarenga (2002). Afloramento na GO-362
Fonte: Fonte: CPRM, 2016.



Figura 1.10 - Foto do subarcóseo friável com estratificação cruzada tangencial de muito grande porte, da Fm. Posse. Afloramento na GO-362.
Fonte: Fonte: CPRM, 2016.



Figura 1.11 - Foto da bimodalidade textural em quartzo arenito da Fm. Posse. Rodovia BR-242, no trecho Luiz Eduardo (BA) – Taguatinga (TO).

Fonte: Fonte: CPRM, 2016.

Microscopicamente tem contatos entre grãos pontuais e tangenciais e o empacotamento é aberto.

O arcabouço é formado por 80 a 95% de quartzo monocristalino com elevada porosidade, grãos subangulares a arredondados e esfericidade média a alta e subordinadamente, de quartzo de origem vulcânica, quartzo metamórfico e feldspatos, normalmente argilizados e caulinizados.

A matriz, quando presente, é pseudomatriz, formada a partir da alteração e fragmentação dos grãos de feldspato. Como cimento ocorre *overgrowth* de quartzo, óxido de ferro e caulinita intergranular. A porosidade é intergranular e móldica, raramente intragranular, como mostra as fotos das Figuras 1.12 e 1.13.

Os demais minerais descritos na rocha são: argila infiltrada mecanicamente, silixito, zircão, turmalina e epidoto.

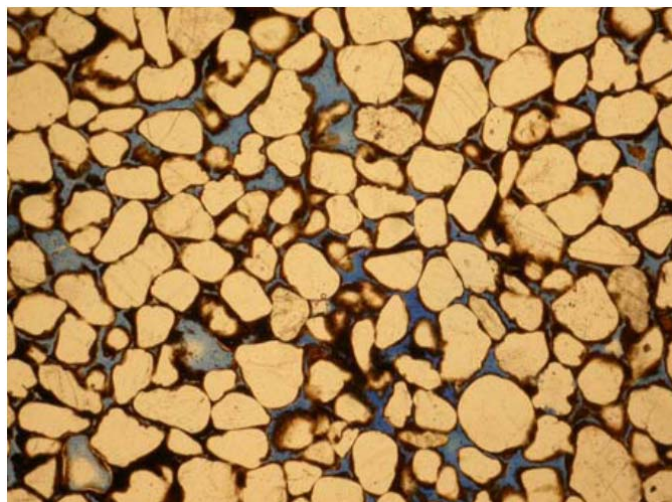


Figura 1.12 - Microfotografia mostrando os quartzoarenitos da Formação Posse. Aspecto geral dos grãos de quartzo, do cimento de hidróxido de ferro e da porosidade intergranular.

Fonte: Lopes, 2006.



Figura 1.13 - Fotomicrografia mostrando os quartzoarenitos da Formação Posse. Aspecto da bimodalidade dos grãos de quartzo, do cimento de óxido/hidróxido de ferro e da porosidade intergranular.

Fonte: Lopes, 2006.

A Formação Serra das Araras (Campos e Dardenne, 1997b), assenta-se diretamente sobre o embasamento pré-Urucuia em toda a borda leste da Serra Geral e sobre a Formação Posse na borda W.

São cobertas por formações superficiais cenozoicas, semiconsolidadas a inconsolidadas, constituídas de depósitos aluviais e elúvio-colúviais areno-argilosos, de cor avermelhada a rósea. Muitas dessas areias derivam da desintegração e erosão dos arenitos do Grupo Urucuia. No topo do chapadão do Urucuia encontra-se com muita frequência crostas lateríticas que, juntamente com os arenitos silicificados, sustentam o relevo nos interflúvios.

Mostra espessuras desde variando entre 37 a 154 m, na borda Oeste, e de 6 a 138 m, na borda Leste (Lopes, 2006).

No interior do chapadão a espessura também é bastante variável:

- 1 a 79 m na região entre Barreiras e São Desidério.
- 53 a 86 m entre a escarpa leste da Serra Geral e a cidade de Cristópolis, ao longo da BR-242,
- 130 m entre o aeroporto de Barreiras e Luiz Eduardo Magalhães, ao longo da BR-242.

Exibe uma associação de duas microfácies principais:

ASSOCIAÇÃO 1 – Subarcóseo, quartzarenito e microconglomerado, eventualmente com pelitos, formando ciclos decimétricos a métrico amalgamados, granodecrescentes no sentido do topo, separados por superfícies de reativação horizontais a subhorizontais.

ASSOCIAÇÃO 2 - Compreende basicamente arcóseo médio e fino, castanho e avermelhado, friável e bimodal. Esta associação caracteriza-se pela presença conspícua de estratificação cruzada tangencial à base de médio a muito grandes portes, com paleocorrentes direcionadas para os quadrantes SW e SE.

O estudo microscópico dessas associações identificou quartzarenito e subarcóseo de granulação fina a muito grossa de grãos subangulares a arredondados e esfericidade de baixa a alta.

No arcabouço predominam grãos de quartzo monocristalino, subordinadamente ocorrendo quartzo policristalino e feldspatos, normalmente argilitizados, sericitizados e caulinizados.

Como acessórios ocorrem fragmentos de mica, chert, calcedônia, zircão e epidoto.

O cimento de óxido/hidróxido de ferro ou de caulinita, clorita e ilita contribui para o fechamento dos poros dessas rochas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** e 1.15).

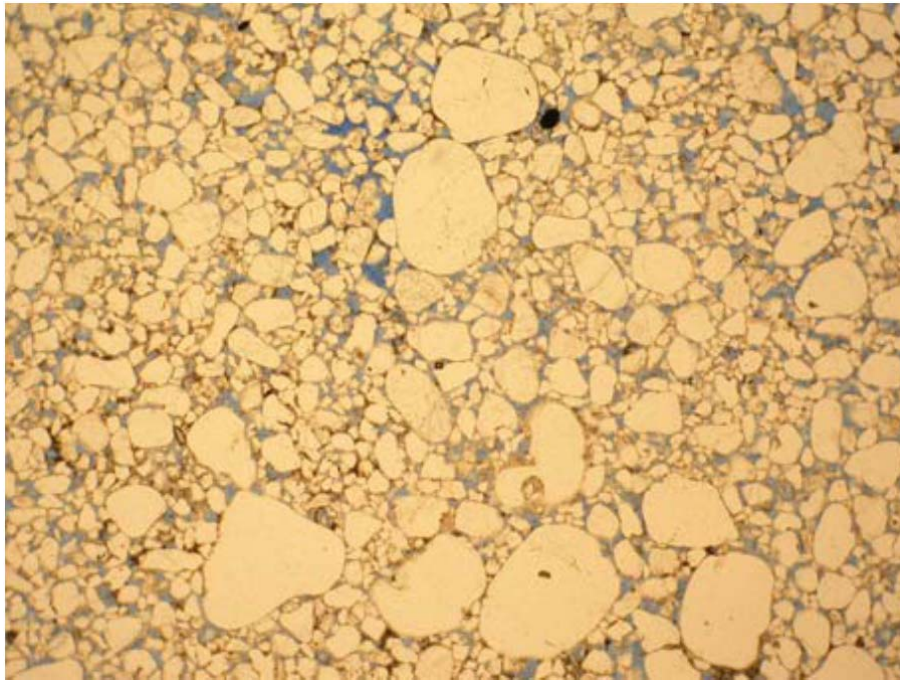


Figura 1.14 - Subarcóseo da Formação Serra das Araras. Amostra RL-R-20B. Porosidade intergranular destacada pela cor azul da impregnação.
Fonte: Lopes, 2006.

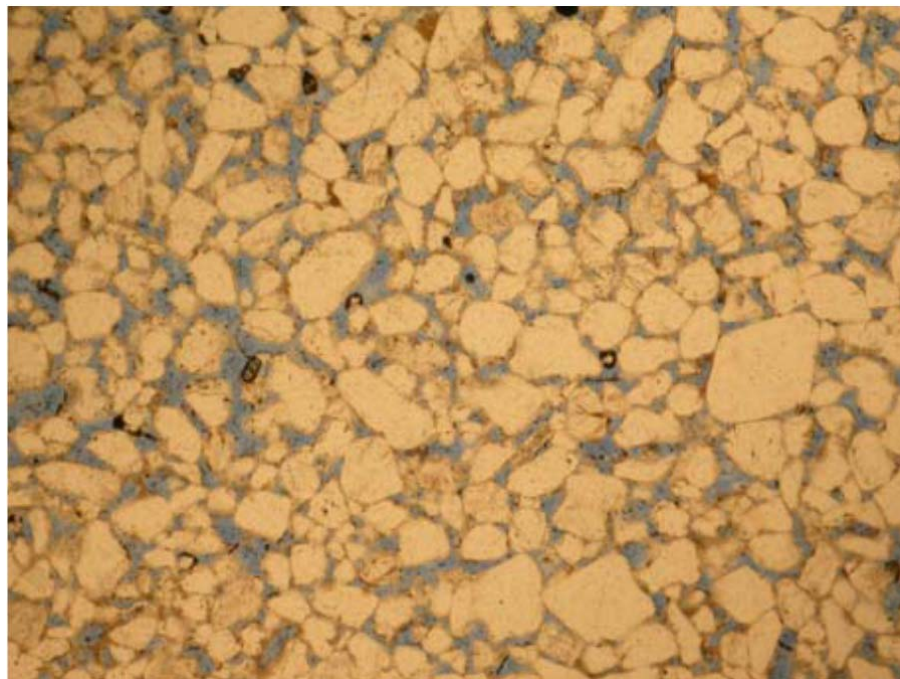


Figura 1.15 - Quartzarenito da Formação Serra das Araras. Amostra RL-R-52b. Porosidade destacada pela cor azul da impregnação.
Fonte: Lopes, 2006.

Os psamitos são caulinizados, castanhos, esbranquiçados avermelhados, finos a médios, com grãos grossos dispersos. Apresentam boa maturidade composicional e imaturidade textural. Têm como característica mais marcante a presença de silicificação e oxidação que endurecem as camadas e oblitera os espaços intergrãos (Figura 1.16).



Figura 1.16 - Quartzarenito silicificado da Fm. Serra das Araras. Notar que o cimento silicoso mascarou as estruturas primárias. Local, ponto JT-21.
Fonte: CPRM, 2016.

As estruturas primárias encontradas nessas rochas são estratificações cruzadas tangencial à base e sigmoidal de pequeno e médio-portes, com paleocorrentes direcionadas para ESE e ENE e estruturas de fluidização dos tipos dobras convolutas e *ball and pillow* (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** Microconglomerados oligomíticos, às vezes correspondem a uma brecha conglomerática matriz-sustentada, ocre, vermelho e branco. Ocorre na base de cada ciclo sedimentar como camadas tabulares centimétricas a decimétricas. Os clastos até 5 cm, são angulosos a subarredondados, de quartzo, chert, arenito e feldspato. A matriz é sub-arcoseana, em geral, oxidada, silicificada e caulinizada.



Figura 1.17 - Subarcóseo com estruturas primárias parcialmente obliteradas pela fluidização.
Local, ponto JT- 18.
Fonte: CPRM, 2016.



Figura 1.18 - Quartzarenito/subarcóseo mostram estruturas do tipo ball and pillow. Local, BR-135, trecho Inhaumas-Correntina.
Fonte: CPRM, 2016.



Figura 1.19 - Alternância de quartzarenito e subarcóseo. Notar feição de ball and pillow e estratificação cruzada de baixo ângulo na camada superior. Mesmo local da foto anterior.
Fonte: CPRM, 2016.

Pelitos ocorrem em camadas com até 1 m de espessura, na porção superior da unidade. Lima (2007) identificou no perfil geofísico do poço produtor de água MO-02, uma camada argilosa com cerca de 20 m de espessura na parte superior da Formação Serra das Araras.

Recobrimo indistintamente todas essas unidades ocorre a Formação Chapadão, compreendendo todos os depósitos de sedimentos recentes da Bacia Sanfranciscana. Essas coberturas foram classificadas como (Campos e Dardenne, 1997b):

- Aluvionares são associadas à planície de inundação das maiores drenagens. São associadas a depósitos resultantes de retrabalhamentos fluviais recentes de materiais detríticos diversos;
- Coluvionares são resultantes de pequenos retrabalhamentos de unidades Fanerozóicas e da regressão de formas de relevo tabular elevado;
- Eluvionares correspondem às areias inconsolidadas, que se desenvolvem a partir dos arenitos pertencentes às diversas unidades Fanerozóicas. São representados por depósitos in situ ou pouco retrabalhados. Ocorrem nas

extensas chapadas, sendo mais comuns sobre os arenitos do Grupo Urucuia, como no Chapadão do Oeste Baiano.

Para elaboração deste reconhecimento, equipe de pesquisadores do SGB-CPRM, liderados pelo geólogo Ricardo da Cunha Lopes, trabalharam por 21 dias de campo, perfazendo um deslocamento total de 1.348 Km, nos quais foram descritos 56 afloramentos, coletadas 36 amostras de rochas e realizados 752 km de caminhamentos.

1.1.2. Aspectos Depositionais

Para Campos e Dardenne (1997a), o Grupo Urucuia representa uma sedimentação num ambiente desértico, com influxos de depósitos fluviais, inicialmente raros, durante a acumulação da Formação Posse, e posteriormente dominantes, quando da deposição da Formação Serra das Araras. Já Spigolon e Alvarenga (2002) e Lopes (2006), interpretam a Formação Posse como constituída predominantemente por depósitos de dunas eólicas acumulados em um deserto seco, enquanto que para a Formação Serra das Araras interpretam um contexto flúvio-eólico em deserto úmido, com predomínio de depósitos de rios entrelaçados e sob regime de enxurradas e com corpos d'água, permanentes ou não, para os quais corriam rios construindo depósitos deltaicos.

1.1.3. Condicionamento Tectônico

De acordo com Campos e Dardenne (1997b), “as características gerais da bacia mostram uma tectônica pouco pronunciada, contrariando a hipótese de evolução por rifteamento continental sugerida pela sua disposição geral norte-sul. O conhecimento detalhado dos aspectos tectônicos da bacia permite, segundo esses autores, a proposição de um modelo de preenchimento de calha tipo *sag*, ou seja, uma ampla bacia intracontinental com pequena subsidência, apenas localmente afetada por incipientes processos tafrogênicos”.

Vários autores (Amorim Jr., 2003; Bomfim e Gomes, 2004; Gaspar, 2006; Lima, 2007; Tschiedel, 2004), com base em estudos geofísicos de superfície, sugerem que o pacote sedimentar Urucuia foi controlado por estruturas em horts e grabens, ou que existiam grabens antigos preenchidos com sedimentos

paleozóicos de outras unidades (p.ex., Bacia do Parnaíba), sobre os quais se depositou o Urucuia. Sugerem para essas estruturas falhas de bordas com rejeitos superiores a 300 m. As espessuras sedimentares totais, nesse caso, variariam entre 600 e 1500 m, bastante superiores àquelas propostas por Campos e Dardenne (op cit).

1.1.4. Evolução Paleogeográfica

Ghignone (1979) propõe que a sedimentação do Grupo Urucuia se deu no Albiano-Aptiano e constitui parte de uma extensa cobertura plataformar, na qual depósitos fluviais com contribuições eólicas refletem, no interior do continente, uma transgressão que se seguiu à separação dos continentes sulamericano e africano, enquanto que para Chang *et al* (1992), a Bacia do Urucuia apresenta relação tectônica mais íntima com o colapso do Gondwana, cujo arranjo de tensões intraplaca causou a formação de uma sinéclise que propiciou a sedimentação do Grupo Urucuia.

Campos (1996) sugere que a Bacia Sanfranciscana se desenvolveu do Paleozoico ao Cenozoico em seis estágios tectônicos, já Alkmim e Martins-Neto (2001) descrevem sua história evolutiva desde o Paleoproterozóico até a abertura do Atlântico Sul, no Cretáceo.

A Figura , ilustra o modelo de evolução desta unidade, de acordo com Domingues (2009), onde estão apresentadas as fases:

1. **Neopaleozóico:** deposição do Grupo Santa Fé, a partir do sul da bacia;
2. **Eomesozóico:** intensos processos erosivos retrabalham grande parte dos depósitos da sucessão Santa Fé;
3. **Eocretáceo:** deposição do Grupo Areado e desenvolvimento das feições tafrogenéticas na Subbacia Abaeté. Início do soerguimento do Alto de Paracatu;
4. **Neocretáceo:** fase principal soerguimento do Alto de Paracatu. Deposição do Grupo Urucuia e desenvolvimento de magmatismo alcalino na área afetada pelo soerguimento;
5. **Cenozóico:** Deposição da Formação Chapadão, desenvolvimento da atual superfície de relevo e incisão das formas geomorfológicas de mesetas e chapadas.

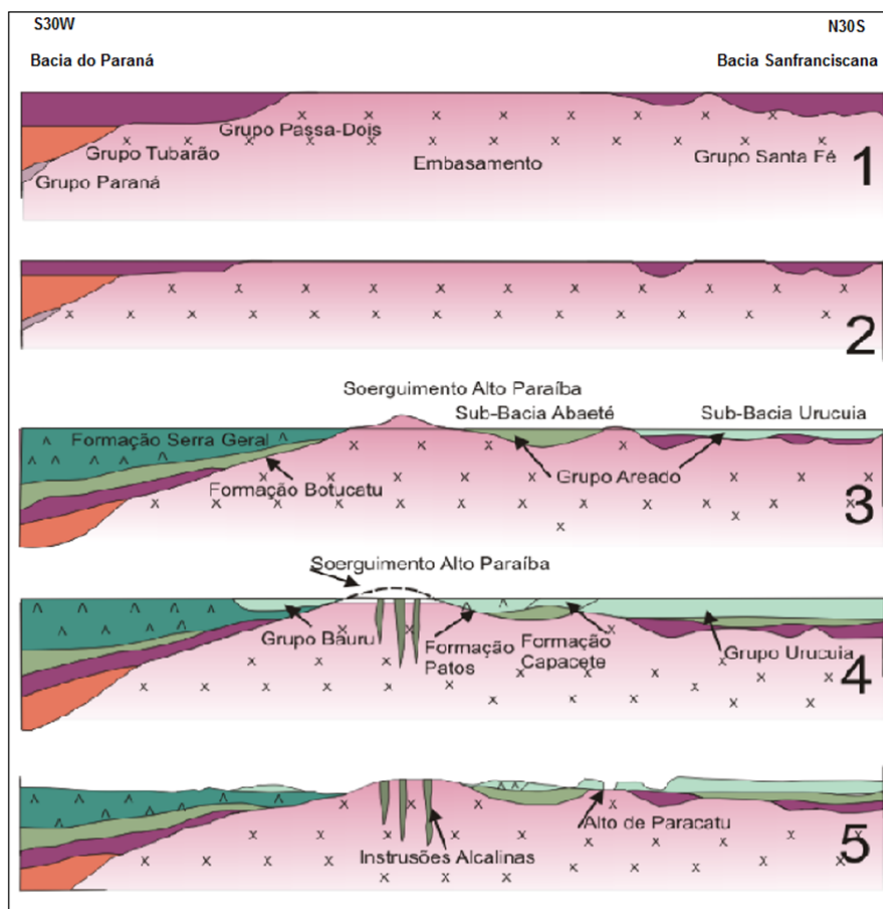


Figura 1.20 - Modelo evolutivo da Bacia Sanfranciscana
 Fonte: Domingues, 2009.

1.2. ESTUDOS GEOFÍSICOS

1.2.1. Considerações Gerais

Os estudos geofísicos aqui apresentados, baseiam-se principalmente na análise de dados secundários, originários de pesquisas da UFBA – Universidade Federal da Bahia, UNB – Universidade de Brasília, ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, CPRM - Serviço Geológico do Brasil e Secretaria de Recursos Hídricos do Estado da Bahia efetuadas pelo geofísico do SGB-CPRM Roberto Gusmão de Oliveira, in “Pesquisa Hidrogeológicas em Bacias Sedimentares do Nordeste Brasileiro – Bacia do Urucuia, Anexos – Geofísica do Aquífero Urucuia” (Oliveira, 2009), inédito.

Nos estudos geofísicos regionais foram empregados os métodos eletromagnético e gravimétrico. No método eletromagnético foram efetuadas sondagens ao longo de estradas federais (Tschiedel, 2004), ou distribuídas aleatoriamente ao longo do eixo N-S da bacia (Gaspar, 2006). Nos dois casos foi empregado o método transiente (domínio do tempo). No método gravimétrico, Bomfim e Gomes (2004) reinterpretraram dados do Projeto Levantamento Gravimétrico no Estado da Bahia (Gomes, R. A. A. D e Motta, 1980), cujas estações de medidas foram distribuídas de forma aleatória, com objetivos de um reconhecimento gravimétrico regional. Os principais trabalhos de geofísica encontram-se relacionados na Tabela 1.1.1.

Tabela 1.1 – Dados geofísicos existentes.

| Nº | NATUREZA DO TRABALHO | AUTOR | LOCAL | MÉTODO EMPREGADO | PRINCIPAIS CONCLUSÕES |
|----|----------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---|
| 1 | Regional | Gomes e Motta (1980) | Bahia | Gravimetria | Mapa gravimétrico Bouguer regional |
| 2 | Local | LIMA (2000) | Rio do Cachorro | SEV | Profundidade do nível de saturação do aquífero; topografia do substrato do Urucuia; mapeamento de falhas normais. |
| 3 | Local | Amorim Jr. e Lima (2007) | Bacia do rio das Fêmeas | SEV | Qualidade de água; estruturação tectônica. |
| 4 | Local | Lima (2007) | Rios Arrojado e Formoso | SEV; IP domínio do tempo | Idem |
| 6 | Regional | Tschiedel (2004) | SAU | Eletromagnético | Modelamento do aquífero com três camadas distintas |
| 7 | Regional | Bomfim e Gomes (2004) | SAU | Gravimetria | Estimativa de espessuras até 1500 m; estruturação da bacia em horts e grabens. |
| 8 | Regional | (Gaspar, 2006) | SAU | Eletromagnético | Mapa de isópacas do SAU; Seções geológicas interpretadas |
| 9 | Regional | ANP (2021) | Bacia São Francisco Norte | Sísmica, gravimetria, magnetometria. | Mapas temáticos, seções sísmicas. |
| 10 | Regional | ANA (2017) | Bacias do Urucuia e | Gravimetria, eletrorresistividade, | Mapas temáticos; estimativas de |

| Nº | NATUREZA DO TRABALHO | AUTOR | LOCAL | MÉTODO EMPREGADO | PRINCIPAIS CONCLUSÕES |
|----|----------------------|--------------------|------------------------|------------------------------------|--|
| | | | Abaeté | eletromagnético. | espessuras do SAU e SAA; espessuras saturadas. |
| 11 | Regional | CPRM e CBPM (2015) | Oeste da Bahia | Magnetometria e gamaespectrometria | Mapas temáticos |
| 12 | Regional | ANP (2021) | Bacia do São Francisco | Sísmica | Espessuras Sedimentares |

1.2.2. Estudos Regionais

Método Eletromagnético

As investigações com o método eletromagnético, realizadas por Gaspar (2006), tiveram como objetivo a definição do arcabouço do substrato dos pacotes sedimentares Fanerozóicos. Após alguns ensaios, foi empregado um loop quadrado com 350 m de lado, com frequências de 0,5 e 1,0 e 2,0 Hz. A aquisição final dos dados consistiu em 27 sondagens elétricas verticais, distribuídas ao longo do eixo N-S da bacia, com espaçamentos entre as estações, variando entre 25 e 100 km de distância. Dos resultados finais é possível se inferir as seguintes conclusões:

- A espessura dos pacotes sedimentares do Grupo Urucuia varia gradativamente de oeste para leste, com as maiores espessuras estando localizadas a oeste;
- Existem dois depocentros na região oeste da bacia, um com 600 m, a leste de Posse (GO), e outro com 450 m, a leste de Taguatinga (TO);
- No leste da bacia, nas regiões próximas das cidades de Barreiras (BA) e Correntina (BA), a espessura do pacote sedimentar não ultrapassa 150 m.

Segundo Oliveira (2009), entre os vários aspectos positivos deste trabalho, sobressai-se a boa qualidade dos dados utilizados. Os resultados são bastante confiáveis e foram obtidos com critérios bem definidos, descrevendo o comportamento regional do substrato da bacia.

Apesar disto, considerando a extensão da área de trabalho e a quantidade e distribuição das sondagens efetuadas, os resultados são apenas de reconhecimento.

As investigações com o método eletromagnético transiente, realizadas por Tschiedel (2004) tiveram também o objetivo de avaliar o comportamento do arcabouço do substrato dos pacotes sedimentares Fanerozóicos. As estações de medidas foram posicionadas ao longo de rodovias federais, uma de direção geral N-S e outra E-W. Foi empregado um loop quadrado com 350 m de lado, com frequências de 0,25; 0,5; 1; 2 e 8 Hz. A aquisição final dos dados consistiu em 42 sondagens elétricas verticais, 20 na direção N-S, com espaçamentos médios de 20 km, e 22 sondagens na direção E-W, com espaçamentos médios de 10 km. Os resultados finais permitem chegar as seguintes conclusões:

- Foi obtido um modelo geoeétrico com três diferentes camadas. A primeira, superior, com resistividade entre 1400 e 2400 ohm.m, foi interpretada como sendo coberturas Fanerozóicas do Grupo Urucuia. As outras duas, inferiores, a intermediária com resistividades entre 17 e 46 ohm.m, e a mais profunda com resistividades entre 118 e 689 ohm.m, foram interpretadas com pertencentes ao Grupo Bambuí;
- Entre o sul da cidade de São Domingos (BA) e a cidade de Luís Eduardo Magalhães (BA), a cobertura Fanerozóica aumenta gradativamente de espessura para norte, passando de 300 m, na extremidade sul, para 600 m na extremidade norte. São observados dois grabens, com rejeitos em torno de 100 m, um na região dos rios Veredãozinho e Correntina, e o outro na região do Rio Pau d'Óleo;
- No perfil E-W, localizado na latitude da cidade de Luís Eduardo Magalhães (BA), o Grupo Urucuia apresenta uma espessura média, aproximadamente constante, de 300 m.

Este trabalho, apesar de ter levantado uma quantidade maior de estações do que o trabalho realizado por Gaspar (2006), deve ser encarado com restrição devido à qualidade dos dados. O fato da maioria das estações estarem posicionadas ao longo de rodovias, possivelmente, inseriu uma grande quantidade de “ruídos” nos resultados, (sobretudo, por causa do tráfego de automóveis). Talvez, também por isso, foram utilizadas poucas estações para a construção dos modelos físicos. Além disso, existem discrepâncias entre os resultados. O gradiente de aprofundamento para norte da espessura do pacote do Grupo Urucuia é inverso daquele resultado obtido por Gaspar. Além do mais,

não se observa no perfil E-W o afinamento do Grupo Urucuia para leste, claramente definido nos resultados de Gaspar (2006).

Método Gravimétrico

Bomfim e Gomes (2004) empregaram dados regionais do Levantamento Gravimétrico no Estado da Bahia (Gomes, R. A. A. D e Motta, 1980) para modelar o substrato dos sedimentos do Grupo Urucuia e calcular a espessura do pacote sedimentar. As estações gravimétricas desse levantamento (figura 1.21, 1.22 e 1.23) apresentam uma distribuição com densidades que variam entre 1/212 km² e 1/418 km². Ou seja, são muito espaçadas e com condições, apenas, de configurar grandes estruturas regionais. De seus resultados finais se podem auferir as seguintes conclusões:

- A modelagem dos dados gravimétricos sugere que, em um perfil E-W, os sedimentos do Grupo Urucuia estão depositados em uma bacia simétrica, cuja geometria indica um espessamento gradativo para o centro, por meio de estruturas escalonadas até profundidades máximas de 1.500 m;
- Em um perfil N-S, longitudinal, a bacia apresenta um alto estrutural próximo da sua região centro sul, onde os sedimentos teriam espessuras inferiores a 500 m;
- O seu substrato é representado pelo Grupo Bambuí, que teria uma variação de espessura quase em simetria com a variação de espessura do Grupo Urucuia.

De acordo com Oliveira (2009), as modelagens dos perfis gravimétricos e as interpretações resultantes são bastante relevantes do ponto de vista da evolução da Bacia do Urucuia. Entretanto, os resultados desse trabalho estão em clara discordância com os resultados de Gaspar (2006) e Tschiedel (2004), que estimaram espessuras máximas de 600 m. Possivelmente, as densidades das rochas escolhidas têm um papel importante nessa discrepância. Aparentemente, os valores de densidades de massa dos grupos Urucuia (1,95 g/cm³) e Bambuí (2,30 g/cm³) foram subestimados. No caso do Grupo Urucuia, a densidade igual a 1,95 g/cm³ corresponde à média para solos e sedimentos não consolidados (Telford, Geldart e Sheriff, 1990), o que não é o caso. Além disso, Lima (2007) obteve por meio de análise petrofísicas efetuadas em dados de

perfilagens de poços perfurados nas rochas do Grupo Urucuia, valores de 2,54 g/cm³ e 2,56 g/cm³, muito superior àquela que foi empregada por (Bomfim e Gomes, 2004). Seguindo esse raciocínio, a densidade escolhida para o Grupo Bambuí também é muito baixa, considerando que as rochas estão em profundidade maior, possuem grande volume de calcários.

Segundo (Oliveira, 2009), a escolha de densidades maiores (e mais realistas) do que aquelas que foram empregadas nas modelagens gravimétricas gerariam modelos geológicos semelhantes, porém com espessuras menores para as rochas sedimentares. Em resumo, um trabalho de modelagem gravimétrica que incorporasse vínculos dos resultados obtidos com o método eletromagnético, bem como, os valores de densidades calculados por meio das perfilagens de poços, produziria resultados muito positivos. De qualquer forma, se deve considerar a necessidade de um aumento significativo na quantidade de estações gravimétricas.

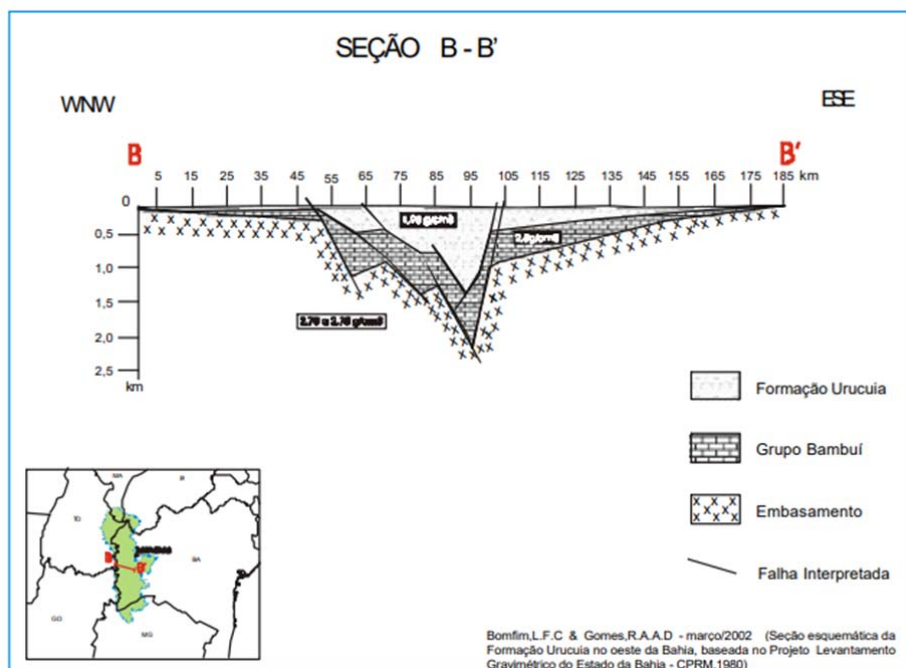


Figura 1.21 – Seção esquemática a sul da cidade de Barreiras, com cerca de 190 km de extensão. Observa-se uma zona onde os prováveis sedimentos Urucuia poderiam atingir cerca de 1.300-1.400 metros de espessura.

Fonte: Bomfim e Gomes, 2004.

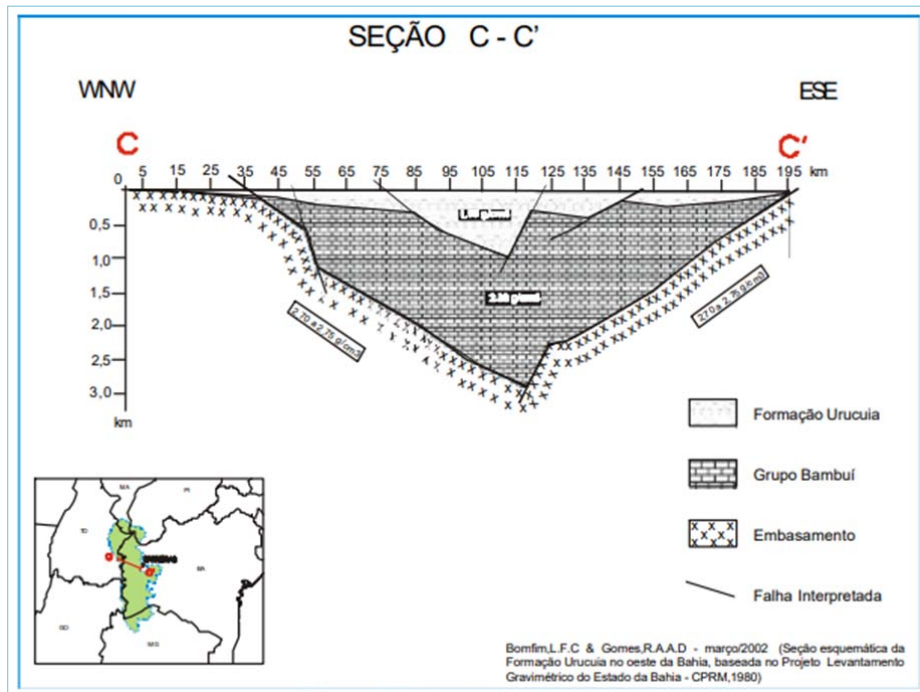


Figura 1.22 – Seção C-C', também nas proximidades da cidade de Barreiras, nas proximidades oeste da cidade de Barreiras, na qual a espessura interpretada para os sedimentos Urucuia, atingiria na porção central da seção cerca de 1.000 metros
Fonte: Bomfim e Gomes, 2004.

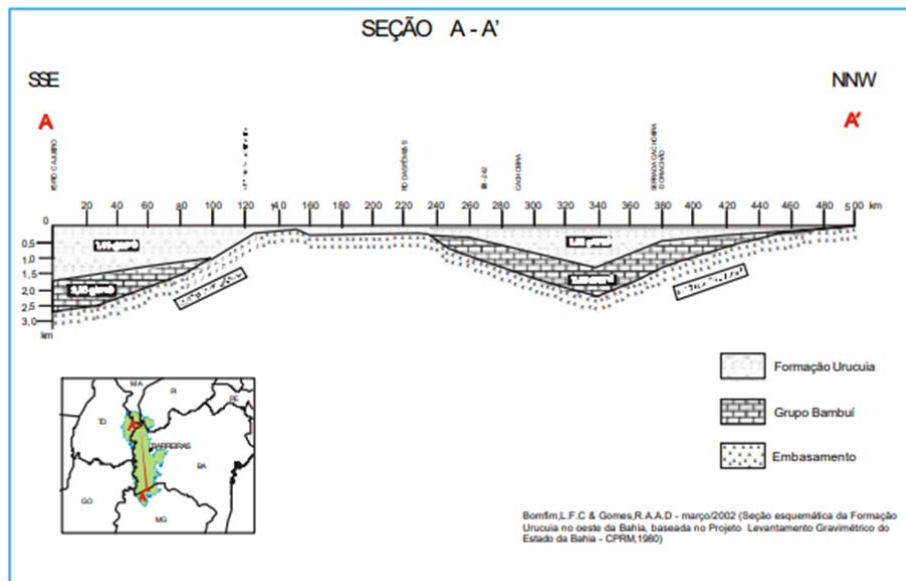


Figura 1.23 – Seção longitudinal ao comprimento da bacia, com aproximadamente 500 km de extensão, mostrando que no extremo sul da região os sedimentos Urucuia poderiam ultrapassar os 1.500 metros de espessura.
Fonte: Bomfim e Gomes, 2004.

1.2.3. Estudos Sísmicos

Com o objetivo de investigar a estratigrafia na parte norte da bacia do São Francisco, a ANP (Agência Nacional de Petróleo) adquiriu onze linhas sísmicas 2D e perfurou um poço estratigráfico, 2-ANP-3-BA (Figura 1.24), nesta área.

Embora os dados sísmicos originais sugerissem uma região com embasamento profundo, a partir da constatação de existência de três grandes refletores, o poço 2-ANP-3-BA amostrou rochas cristalinas a 840 m, muito mais aquém do esperado.

Assim, os dados originais foram interpretados como um pacote espesso de sedimentos (Figura 1.25) sobre um forte refletor do embasamento em torno de 700 a 1000 m e a seção foi correlacionada com o Grupo Bambuí (linha sísmica 284-0103 na Figura 1.24).

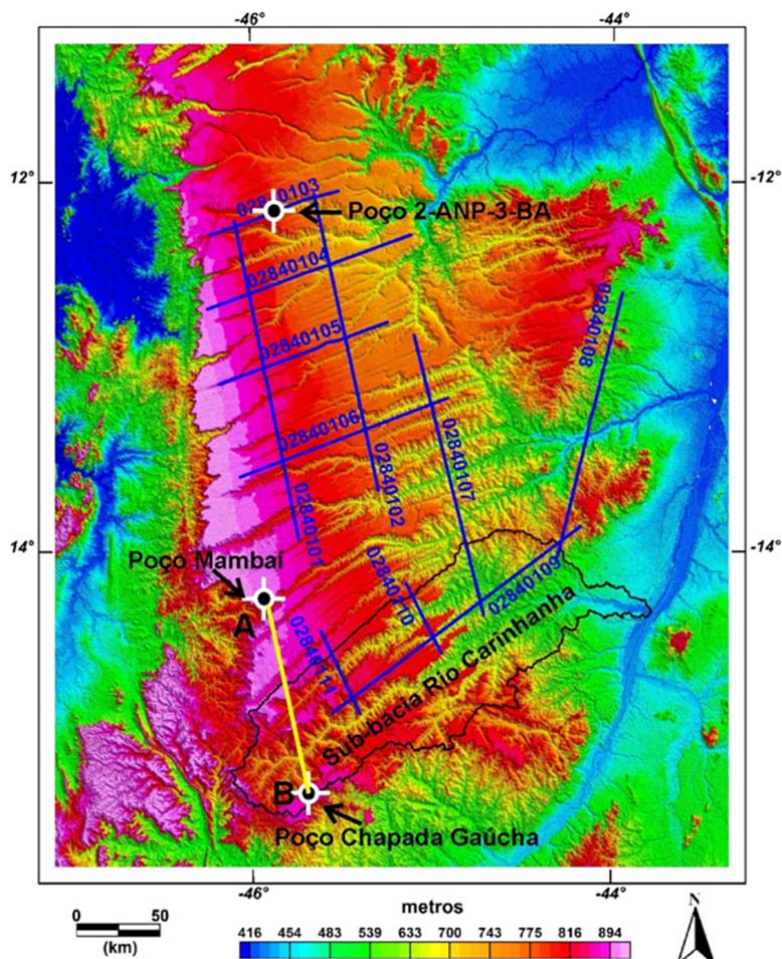


Figura 1.24 – Linhas sísmicas e poços estratigráficos analisados.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

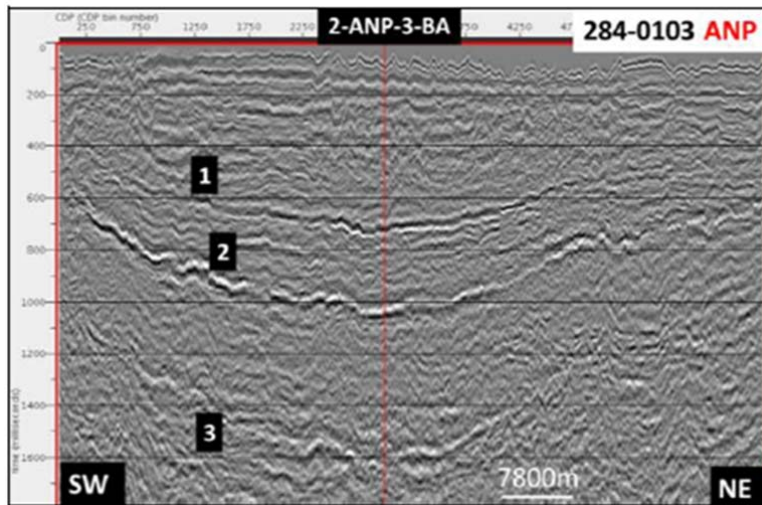


Figura 1.25 – Dados sísmicos originais mostrando os três fortes refletos
Fonte: Pereira *et al.*, 2015.

Da mesma forma, e corroborando essa menor espessura, o poço estratigráfico perfurado pela ANP na linha 284-0103 encontrou uma coluna bem menos espessa de sedimentos Fanerozóicos do que previsto (840 m) sobre o embasamento Pré-Cambriano (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Com base nos trabalhos da ANP, geofísicos do SGB-CPRM sugeriram um aumento progressivo nas espessuras no sentido norte da bacia, conforme mostrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

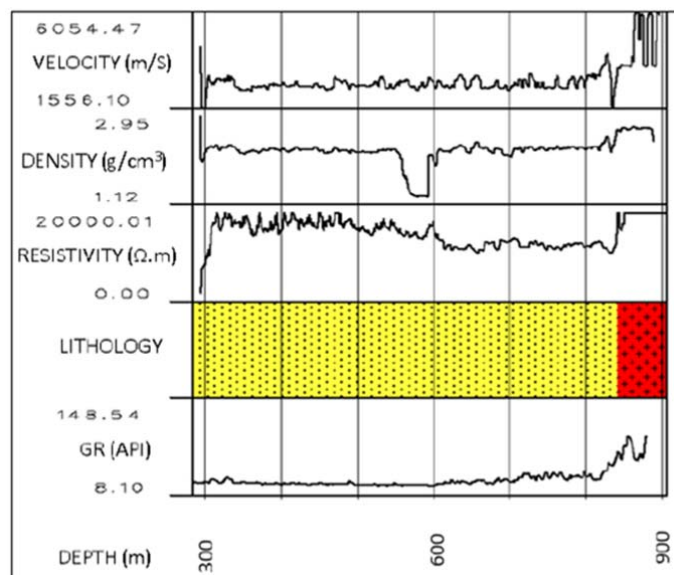


Figura 1.26 – Arenitos Fanerozóicos sobre o embasamento.
Fonte: Pereira *et al.*, 2015.

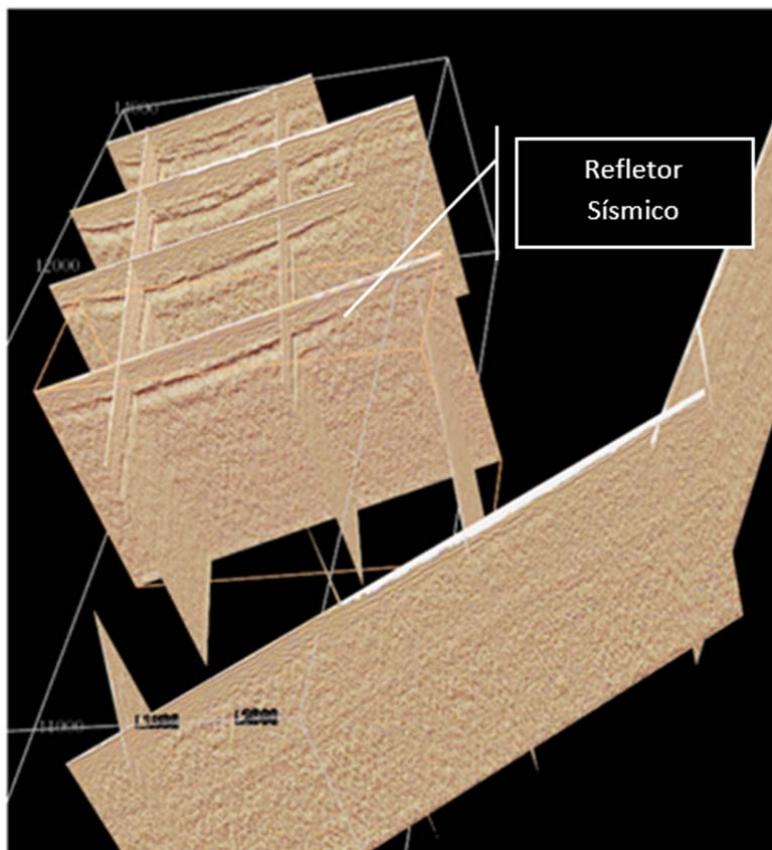


Figura 1.27 – Incremento nas espessuras sedimentares totais da Bacia Sanfranciscana na direção norte, de acordo com o SGB-CPRM (inédito).
Fonte: Pereira *et al.*, 2015.

Em vista das discrepâncias verificadas entre as espessuras previstas e comprovadas no furo 2-ANP-3-BA, foi realizada pela ANP/PETROBRÁS nova modelagem sísmica (Pereira *et al.*, 2015), calibrada com as informações obtidas no poço stratigráfico (2-ANP-3-BA). Foram aventadas várias hipóteses para justificar as discrepâncias encontradas, concluindo por considerar a existência de acumulações de reverberações de refrações no embasamento cristalino e no topo do Grupo Urucuia, originando os refletores falsos mostrados na Figura . O resultado final da reinterpretção da linha 284-0103 é mostrado na Figura 18.

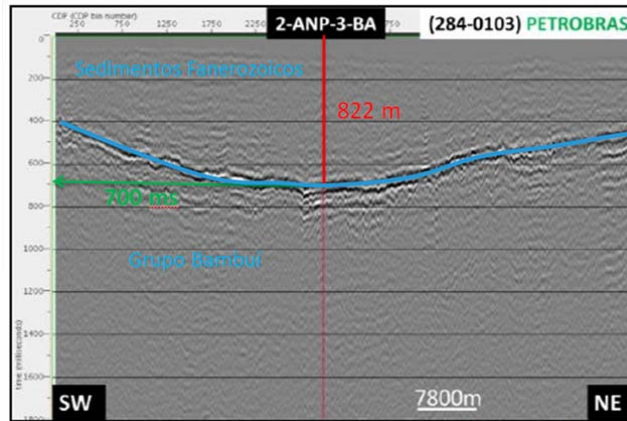


Figura 18: Seção de empilhamento no tempo (m/s), na linha 284-0103. Dados finais após o reprocessamento da PETROBRAS.

Fonte: Adaptado de Pereira et al., 2015.

Para discutir os resultados dos dados sísmicos obtidos, foram feitas tentativas no SGB-CPRM de interpretação das linhas 284-0101, 284-0111, 284-0110 e 284-0109 e foram examinados os perfis construtivos de dois poços considerados relevantes: (i) O furo estratigráfico do SGB-CPRM perfurado no Assentamento Paraná, município de Mambai – GO, situado a cerca de 50 km a norte da borda da bacia e; (ii) O poço Chapada Gaúcha – Sede, perfurado pela COPASA/MG (Figura 2). As informações do mapeamento geológico realizado em ambas as áreas também foram utilizadas.

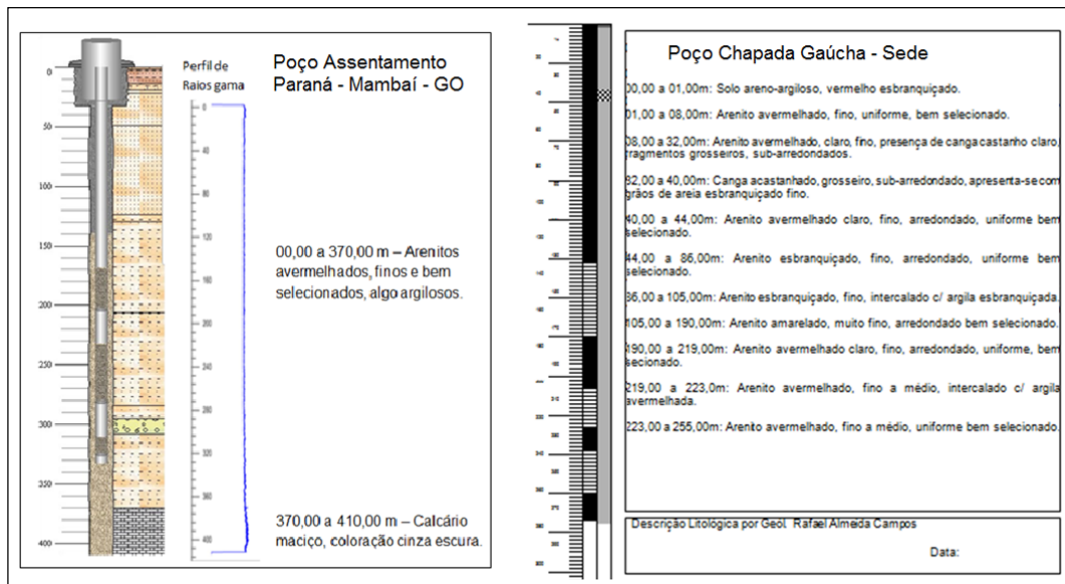


Figura 2 – Perfis litológicos e construtivos dos poços de Mambai/GO e Chapada Gaúcha/MG.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A linha 284-0111 foi sistematizada devido à sua proximidade do poço 2-ANP-3-BA e por se prolongar até as proximidades da Bacia do Carinhanha, extremo sul da Bacia do Urucuia, servindo assim como parâmetro de discussão para as análises.

Ao se realizar o processamento desta linha (Figura), considerando a tendência de diminuição na velocidade do refletor de 700 m/s (que representa uma profundidade de 822 m, atestada pelo poço 2-ANP-3-BA), o mesmo deveria atingir a área da bacia do Carinhanha com 300 m/s, o que equivaleria a uma espessura possível para os depósitos Fanerozóicos de cerca de 350 m.

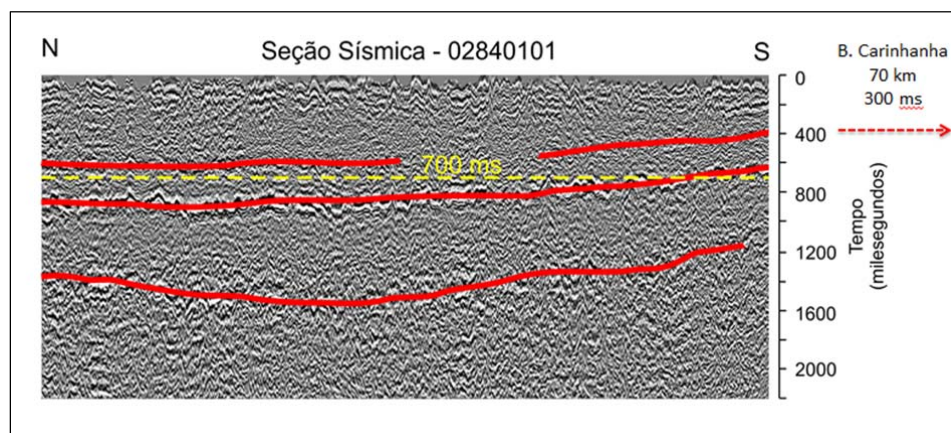


Figura 1.30 – Linha sísmica 0248-101 processada.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Na interpretação das três linhas sísmicas (248-0111, 248-0110 e 248-0109) que se situam na área, destacam-se em princípio os fortes traços estruturais presentes. Embora aparentemente não provoquem grandes movimentações nas camadas das diferentes unidades (Fanerozóicas e Pré-Cambrianas), parecem exercer notáveis influencia nas drenagens superficiais **(Erro! Fonte de referência não encontrada.**

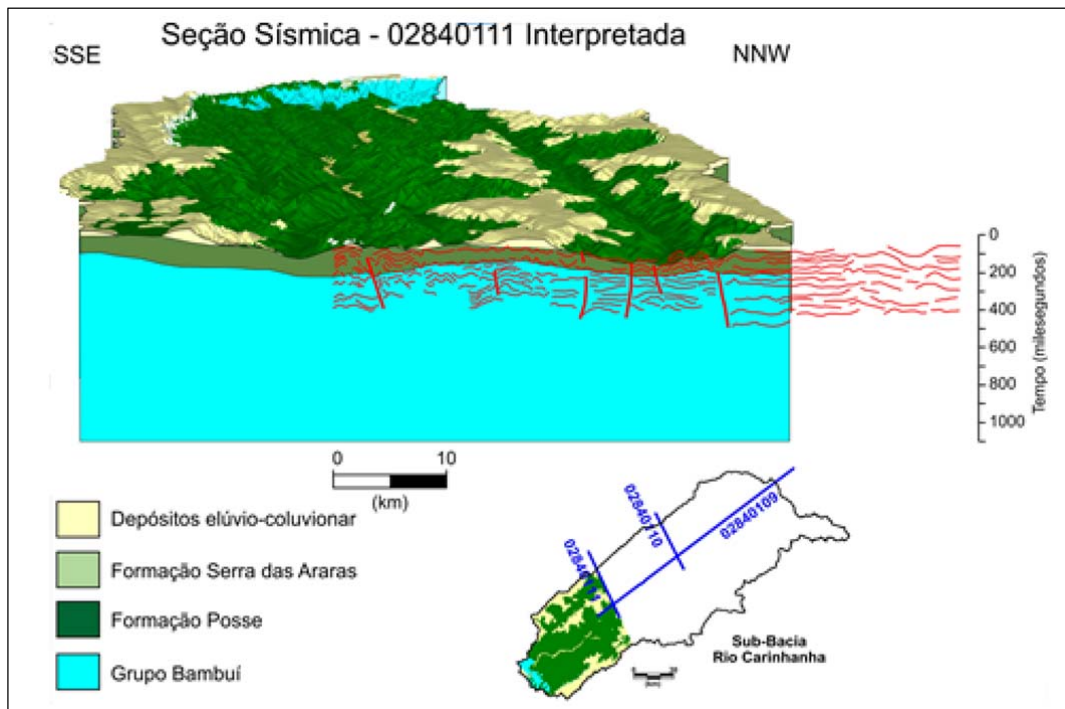


Figura 1.31 – Interpretação da linha sísmica 02480111
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

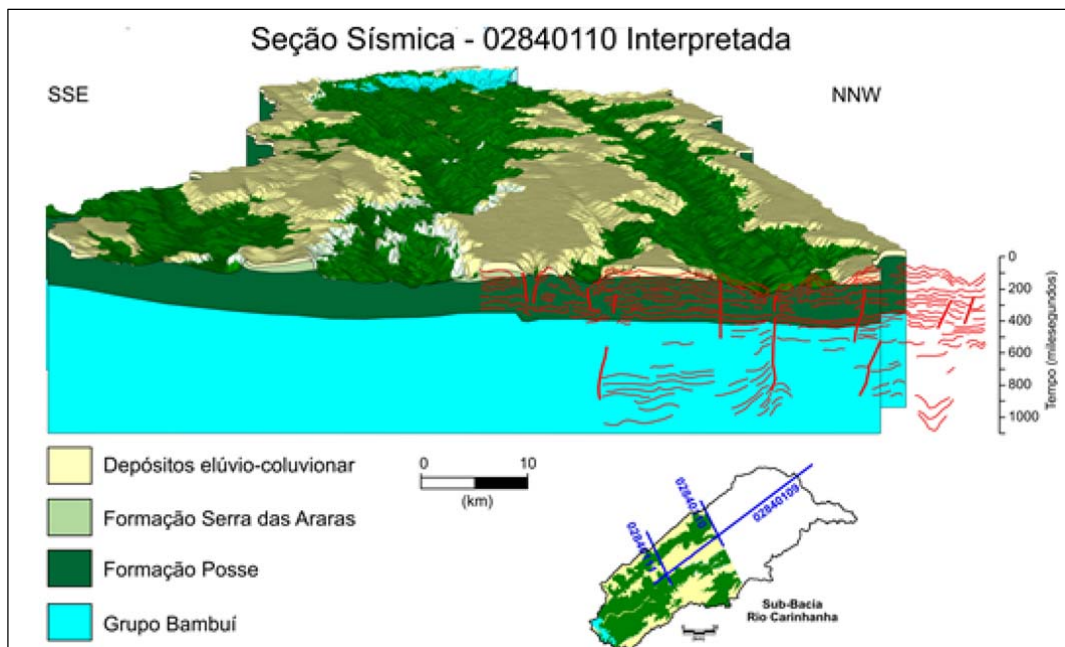


Figura 1.32 – Linha 02480110.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

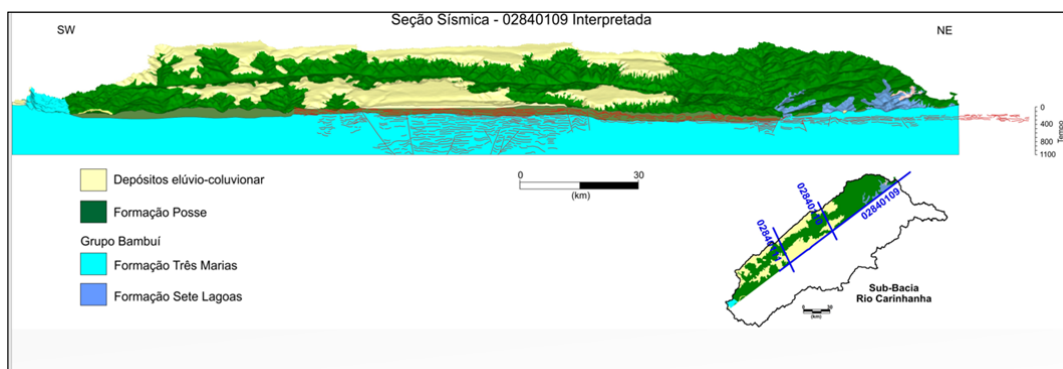


Figura 1.33 – Linha sísmica 02480109
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

O poço do Assentamento Paraná, em Mambaí – GO tem uma profundidade total de 410 metros, sendo totalmente penetrante nos sedimentos Fanerozóicos, atingindo o topo do embasamento carbonático do Grupo Bambuí aos 370 m. O poço da sede da cidade de Chapada Gaúcha, por sua vez, não atravessa completamente este pacote, tendo sido interrompido aos 255 m, sem atingir o embasamento da bacia sedimentar.

Em ambos são descritos arenitos avermelhados e bem selecionados, localmente argilosos, litologia bastante comum do Grupo Urucuia.

Considerando-se a forma tabular e horizontalizada de ocorrência do Urucuia, é possível se traçar uma seção geológica hipotética entre esses dois poços, partindo-se da base desta unidade, determinada pelo poço do Assentamento Paraná, prolongando-a até o município de Chapada Gaúcha, conforme mostrado no perfil A/B da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (para localização da seção vide a Figura 1.24).

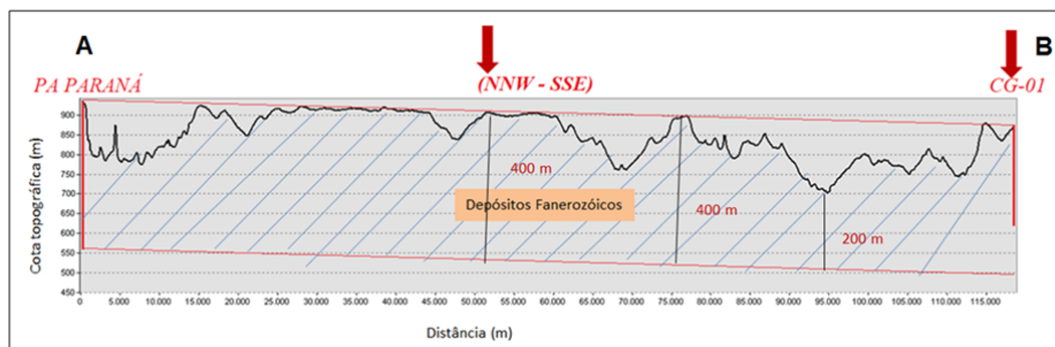


Figura 1.34 – Perfil geológico hipotético para as espessuras de ocorrência do Sistema Aquífero Urucuia na porção sul da Bacia do Urucuia.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Conforme pode ser visto, as espessuras variam entre 400 m e 200 m, em função da topografia local e, aparentemente, depósitos Paleozóicos não ocorrem nesta área, sendo restritos, caso de fato ocorram, à porção mais setentrional da bacia Sanfranciscana.

1.2.4. Estudos de Detalhe em Sub-bacias Hidrográficas

Sub-bacias dos Rios Arrojado e Formoso

Lima (2007) realizou nessas duas sub-bacias hidrográficas uma análise integrada de dados geoeletricos (65 sondagens elétricas verticais, arranjo Schlumberger com AB/2 máximo de 1.000 m), perfilagens geofísica de poços e 565 medidas do campo gravimétrico. Os principais resultados obtidos foram:

- Uma boa distinção, do ponto de vista petrofísico e geoeletrico, das três formações Serra das Araras, Posse e Geribá;
- Caracterização geoeletrica do topo saturado do aquífero;
- Caracterização geoeletrica do substrato condutivo que corresponde ao topo da Formação Geribá e, portanto, da base impermeável do aquífero;
- Caracterização geoeletrica e gravimétrica de algumas falhas que compartimentam a sub-bacia em um sistema de grabens e horsts.

Em seus comentários, Oliveira (2009) ressalta que o relatório de Lima (2007) é um bom exemplo de trabalho integrado, onde o emprego de vários métodos geofísicos converge para a obtenção de resultados concretos. Contudo, é notória a necessidade de uma melhor análise e integração entre os resultados obtidos pelos métodos geoeletrico e gravimétrico, de forma a permitir uma interpretação mais consolidada do comportamento tectônico-estrutural do pacote sedimentar. “Os resultados descritos demonstram que o investimento na análise desses dados está aquém do que eles poderiam oferecer”. A execução de sondagens elétricas mais profundas (valores de AB/2 maiores do que 1.000 m) permitiria a identificação do comportamento geoeletrico do substrato do Grupo Urucuia, e forneceria um excelente vínculo para os trabalhos de modelagens dos dados gravimétricos.

Sub-bacia do Rio das Fêmeas

Nesta sub-bacia hidrográfica foram desenvolvidos trabalhos geofísicos por (Amorim Jr., 2003; Amorim e Lima, De, 2007), pelo método de eletrorresistividade e polarização induzida no domínio do tempo e de perfilagem geofísica de poços (Nascimento, 2002; Nascimento e Lima, 2003).

Amorim Jr. (2003) executou 80 sondagens elétricas verticais e de polarização induzida (arranjo Schlumberger com AB/2 máximo de 1.000 m) no domínio do tempo, distribuídas de forma regular ao longo de quatro perfis longitudinais ao comprimento da bacia, e em um perfil transversal na parte centro-sudoeste. Este último extrapolou os limites da bacia hidrográfica. Os principais resultados obtidos foram os seguintes:

- Conformação e distribuição espacial dos pacotes sedimentares aquíferos;
- Identificação de um substrato condutivo que corresponde aos sedimentos argilosos da base do Grupo Urucuia, ou do topo do Grupo Bambuí;
- Configuração da distribuição da qualidade da água do aquífero;
- Identificação de uma estruturação tectônica interna, com ocorrência de grabens e horsts.

De acordo com Oliveira (2009), este trabalho apresenta resultados muito positivos quanto à avaliação do comportamento do Aquífero Urucuia na região desta sub-bacia hidrográfica. Novamente, como no caso das sub-bacias dos rios Arrojado e Formoso, a falta de sondagens mais profundas (AB/2 maiores do que 1.000 m), impede a identificação clara do comportamento do embasamento do Grupo Urucuia. É possível que isso ocorra por causa de limitações dos equipamentos disponíveis. Além disso, seria importante que nessa sub-bacia hidrográfica também fossem realizados levantamentos gravimétricos.

Nascimento e Lima (2003) interpretaram dados de perfilagem geofísica de um poço localizado na Bacia do Rio das Fêmeas. Os trabalhos de perfilagem foram realizados pela Hydrolog – Serviços de Perfilagem Ltda. Os principais resultados obtidos foram os seguintes:

- Caracterização petrofísica de três estratos sedimentares distintos;
- O estrato superior possui radioatividade baixa e resistividade alta, que corresponde a um padrão típico de arenitos limpos;

- No estrato intermediário a radioatividade aumenta com a profundidade e a resistividade cai rapidamente, o que sugere um aumento do conteúdo de argila com a profundidade e/ou um aumento no conteúdo de sais;
- O estrato inferior possui radioatividade alta e resistividade uniforme, o que indica existência de rochas argilosas.

Segundo Oliveira (2009), a importância da execução de perfilagens geofísicas em poços de sistemas aquíferos, visto as importantes informações delas obtidas. Um aspecto a ser notado é o fato de que esta perfilagem apresenta características básicas muito parecidas com as perfilagens das sub-bacias dos rios Arrojado e Formoso (Lima, 2007). Esse fato indica que Grupo Urucuia possui uma uniformidade sedimentar lateral muito constante. A comparação dos resultados da perfuração e da perfilagem com a inversão dos dados de sondagem elétrica de Amorim Jr. (2003) foram compatíveis quanto à identificação do topo do estrato mais condutivo (mais argiloso) e, como consequência, da base do arenito mais limpo.

Sub-bacia do rio do Cachorro

Os trabalhos de estudos geofísicos desta sub-bacia hidrográfica foram realizados por meio do método de eletrorresistividade e polarização induzida no domínio do tempo (Lima, 2000). Para isto foram realizadas 50 sondagens elétricas verticais e de polarização induzida (arranjo Schlumberger com AB/2 máximo de 1.000 m) no domínio do tempo. Os principais resultados obtidos foram os seguintes:

- Identificação do nível saturado do aquífero;
- Configuração da topografia do substrato do aquífero Urucuia, que nessa sub-bacia apresenta profundidades variando entre 450 e 550 m;
- Em termos geoeletrico, esse substrato apresenta resistividades baixas, comparadas com os estratos sedimentares do Aquífero Urucuia;
- Caracterização tectônica estrutural, com identificação de falhas normais com pequeno rejeito.

Oliveira (2009) ressalta a boa qualidade dos resultados obtidos, enfatizando, contudo, a necessidade de que fossem realizados, nessa bacia

hidrográfica, levantamentos gravimétricos. E, em suas observações finais, o autor ressalta os seguintes pontos:

- O Grupo Urucuia, considerando apenas dados de reconhecimento regional, tem espessuras máximas em torno de 600 m. O substrato apresenta gradientes de aprofundamento para sul e oeste;
- Os pacotes sedimentares apresentam do topo para base características petrofísicas distintas, porém lateralmente uniformes por longas distâncias. Eles podem ser separados em três diferentes estratos, que possivelmente correspondem às formações Serra das Araras, Posse e Geribá;
- A densidade de massa média dessas formações é $2,56 \text{ g/cm}^3$;
- O Aquífero Urucuia é constituído por rochas eletricamente resistivas e de baixa radioatividade. Essas características petrofísicas são típicas de arenitos limpos;
- O substrato do Aquífero Urucuia apresenta resistividades elétricas baixas e possivelmente corresponde a Formação Geribá;
- O Grupo Urucuia sofreu a ação de atividades tectônicas rúpteis posteriores a sua deposição. Essa atividade tectônica condicionou, em alguns locais, uma estruturação em grabens e horsts, cujas falhas normais podem apresentar rejeitos de até 100 m;
- Os dados geofísicos disponíveis ainda não conseguiram caracterizar claramente o comportamento do embasamento dos sedimentos do Grupo Urucuia.

Oliveira (2009) finaliza seus comentários com as três seguintes sugestões:

- Continuar a execução de levantamentos gravimétricos de detalhes, tal como ocorreu nas sub-bacias hidrográficas dos rios Arrojado e Formoso. Esses levantamentos devem também ocupar a área do embasamento adjacente, permitindo ao intérprete parâmetros de comparação nos trabalhos de interpretação e modelagens quantitativas;
- Aumentar a dimensão de abertura (AB/2) nos trabalhos de sondagens elétricas, de forma tal que a investigação penetre no embasamento dos sedimentos do Grupo Urucuia;

- Aumentar a quantidade de sondagens efetuadas com o método transiente, com loops e frequências adequadas para a investigação do embasamento mais profundo.

1.2.5. Outros trabalhos

O consórcio ENGECORPS & WALM, em trabalho contratado pela Agência Nacional de Águas – ANA realizou investigações geofísicas “visando determinar a distribuição espacial, espessura, litofácies e profundidades do nível d’água dos sistemas aquíferos Urucuia e Areado, respectivamente nas subbacias Urucuia e Abaeté”.

Foram empregados três métodos geofísicos distintos: eletrorresistividade, utilizando as técnicas de Sondagem Elétrica Vertical (SEV), gravimetria e método eletromagnético, utilizando a técnica de sondagem vertical no domínio do tempo (TDEM). Ao todo, foram realizadas 149 SEV’s, 200 sondagens pelo método TDEM e obtidos 200 registros gravimétricos.

Método da Eletrorresistividade

Os levantamentos geofísicos pelo método de eletrorresistividade com utilização da técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e arranjo Schlumberger, com espaçamento máximo de $AB/2$ de 2000 m, foram apoiadas no modelo geométrico definido pelo estudo, em informações de geologia de superfície e em dados de poços profundos.

Dentre as 149 SEVs executadas e modeladas neste, 12 foram realizadas nos domínios operacionais do Sistema Aquífero Areado e 99 nos domínios operacionais do Sistema Aquífero Urucuia. As demais sondagens foram realizadas em pontos fora dos domínios operacionais dos aquíferos ou em terrenos do embasamento Proterozóico.

De maneira geral, a análise morfológica das curvas das SEVs permitiu identificar duas eletrofácies principais:

- Eletrofácies com valores de resistividade altos, típicos de sedimentos predominantemente arenosos dos grupos Urucuia e Areado;

- Eletrofácies com valores extremamente altos, associados ao Grupo Bambuí e ao embasamento constituído por rochas gnáissicas ou calcárias.

Nos domínios dos sistemas aquíferos Urucuia e Areado foi possível distinguir as zonas não saturada e saturada, com base nas variações de resistividade. A zona não saturada apresentou ampla variação de resistividade, de 32,95 ohm.m a 569.855 ohm.m, onde valores inferiores a 100 ohm.m podem estar relacionados a sedimentos argilosos ou a sedimentos arenosos, Inconsolidados e saturados; já valores superiores a 40.000 ohm.m correspondem provavelmente, a níveis conglomeráticos e/ou arenosos silicificados. Na zona saturada foi possível distinguir 3 eletrofácies a partir da correlação dos níveis geoeletricos com a geologia: eletrofácies predominantemente silto-argilosas, eletrofácies predominantemente areno-siltosas e eletrofácies predominantemente arenosas.

As resistividades do embasamento variaram de 26,50 ohm.m a 858.836 ohm.m. Valores inferiores a 170 ohm.m estão relacionados, provavelmente, às rochas do Subgrupo Paraopeba, constituído por ardósias, argilitos, folhelhos e margas. Valores superiores a 170 ohm.m podem ser correlacionados aos metassedimentos do Grupo Bambuí, incluindo margas e filitos com diferentes intensidades de alteração, e superiores a 100.000 ohm.m podem estar relacionados ao embasamento constituído por calcários, quartzitos e por rochas gnáissicas.

As profundidades do nível de água subterrânea do SAU na sub-bacia Urucuia, com base nas interpretações das SEVs, variaram entre 2,1 m e 159,8 m. As maiores profundidades de nível de água foram constatadas, principalmente, na porção oeste da sub-bacia Urucuia. Na sub-bacia Abaeté, as profundidades do nível de água do SAA variaram entre 3,3 m e 28 m.

Com relação à espessura do SAU na sub-bacia Urucuia, a variação foi de 15 m (porção leste da área) a 317 m (porção noroeste da área). Na sub-bacia Abaeté, a espessura do SAA variou entre 20,2 m e 115,65 m.

As SEVs, interpretadas com apoio de informações geológicas, indicaram a presença de rochas que podem estar relacionadas ao embasamento, em locais onde as descrições litológicas de poços não confirmam sua ocorrência. Uma das explicações aventadas para as respostas geoeletricas distintas das SEVs deve-se à presença de metassedimentos do embasamento que poderiam ter sido

considerados, nas descrições de poços, como sedimentos do Grupo Urucuia, como no caso do poço de Perdizes.

Método Eletromagnético – TDEM

Foram realizadas 200 sondagens utilizando o método eletromagnético - TDEM das quais 33 foram desconsideradas devido a problemas de ruídos existentes nos dados. Sessenta e um (61) foram locados próximos às SEVs, todavia, apenas 46 deles não apresentaram ruídos e os resultados puderam ser comparados com os resultados das SEVs.

O mapa de distribuição das espessuras do Sistema Aquífero Urucuia (Sub-bacia Urucuia), elaborado com dados de TDEM, representa variações que ocorrem no intervalo entre 2 m e 366,7 m, de acordo com os resultados das interpretações geofísicas.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, mostram-se os mapas obtidos com o uso dos dois métodos.

Segundo os autores, a comparação entre os valores de espessura do SAU obtidos pelo método TDEM e pelo método elétrico (SEVs) mostra que somente em pouco mais da metade dos pontos ensaiados (52%) as diferenças de espessura foram menores ou iguais a 50 m. De acordo com eles, o baixo percentual de registros que podem ser considerados aproximadamente coincidentes, obtidos por esses dois métodos geofísicos, foi fortemente condicionado pelos parâmetros adotados na aquisição dos dados de TDEM, que consideraram frequências baixas de modo a favorecer a investigação de profundidades maiores, nesse caso até 1.000 m, mas reduziram o contraste na identificação de estratos com propriedades físicas distintas. Essa perda de contraste provavelmente suprimiu algumas camadas identificadas nas SEVs e que correspondem ao contato da base do SAU.

Devido a esta redução de contraste na identificação dos estratos por meio da técnica TDEM, os autores advertem que as espessuras do SAU obtidas por meio da técnica de SEV mostram-se mais condizentes com as espessuras presumíveis do aquífero.

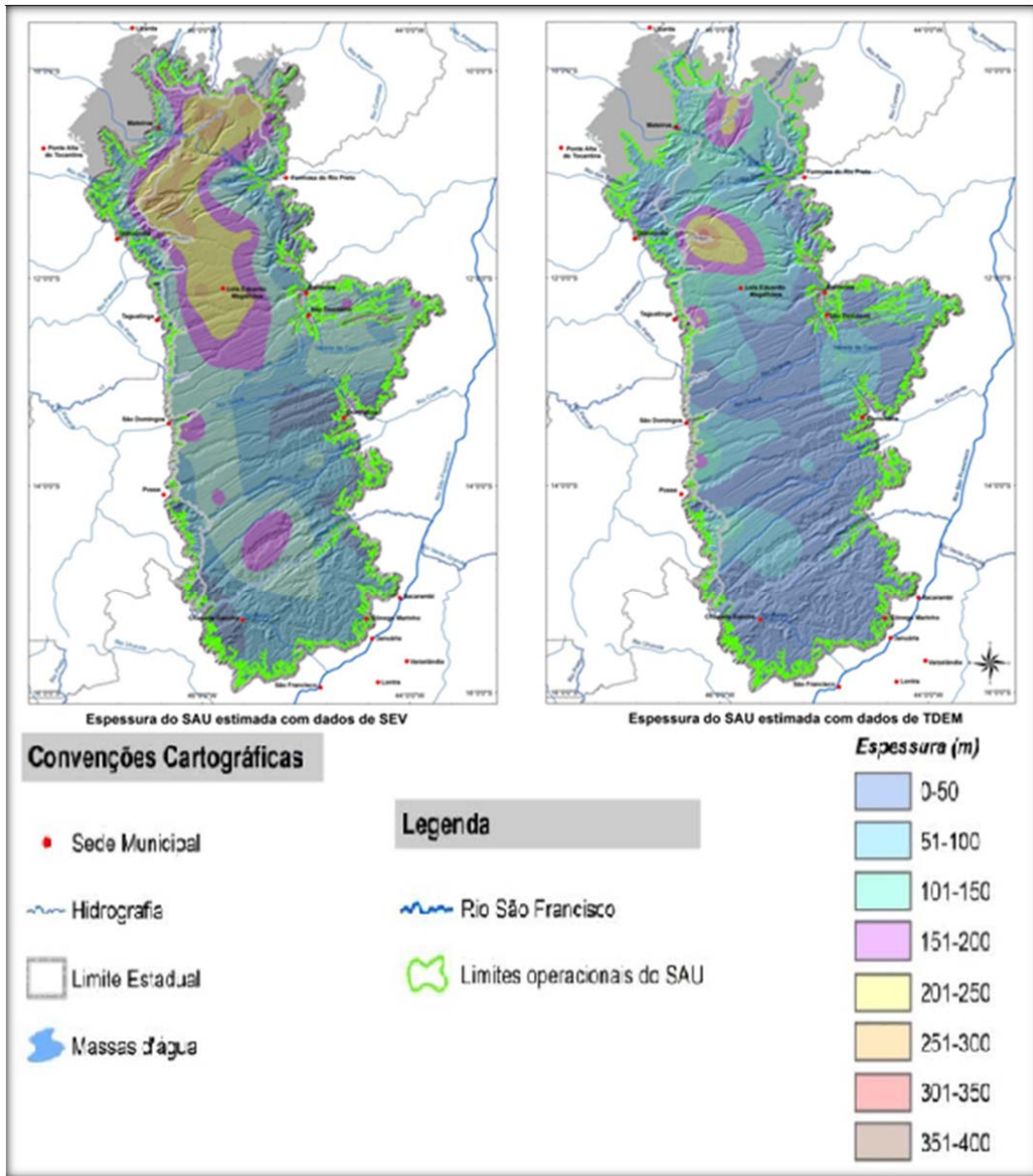


Figura 1.35 – Espessuras do SAU, obtidas pelos métodos de eletrorresistividade e TDEM.
Fonte: Engecorps & Walm, 2013.

Método Gravimétrico

Os dados gravimétricos foram adquiridos em 200 estações distribuídas em uma malha com espaçamento de 30 km entre cada ponto, com posições coincidentes com os pontos de ensaio de TDEM.

A modelagem gravimétrica foi efetuada com diferentes valores de densidade para cada tipo de material, de acordo com estudos prévios e consultas bibliográficas. O valor de densidades utilizado na modelagem foi de 1,9 g/cm³ para as rochas associadas ao Grupo Urucuia; 2,3 g/cm³ para as rochas que compõem o Grupo Bambuí; 2,5 g/cm³ para as rochas que compõem os Grupos Canastra e Espinhaço e 2,7 g/cm³ para as rochas do embasamento cristalino. Com base na modelagem gravimétrica, foram elaboradas seis seções que permitiram estimar a geometria e delimitar o comportamento do Sistema Aquífero Urucuia.

No modelamento dos dados gravimétricos foram observadas quebras bruscas no contato entre o topo do embasamento e as rochas dos Grupos Espinhaço/Canastra. Para justificar tais desníveis foram inferidos sistemas de falhas.

Pesquisas Complementares

Conforme tudo anteriormente exposto, evidencia-se a existência de expressivo volume de dados na região centro-sul do Urucuia, porém verifica-se, da mesma forma, uma relativa escassez de dados geofísicos na região norte da bacia Sanfranciscana.

As únicas informações disponíveis advêm de poucos poços da RIMAS existentes e do poço estratigráfico do SGB-CPRM localizado na Vila Coaceral, no município de Formosa do Rio Preto – BA. Entende-se que o conhecimento da conformação da bacia na sua porção norte é fundamental para a compreensão da interação entre elementos da bacia Sanfranciscana e da bacia do Parnaíba, conforme suposição levantada por Bomfim e Gomes (op cit) e outros autores.

A perfuração do poço EST 03-BA (Formosa do Rio Preto / Vila Coaceral), revestiu-se de grande importância devida à constatação direta dos sedimentos Paleozóicos da Bacia do Parnaíba, como embasamento setentrional dos sedimentos Fanerozóicos naquela área norte.

Este poço foi até a profundidade de 636,00 m com uma espessura de sedimentos Fanerozóica de 550,00 m. A transição entre as bacias foi definida pelos dados de perfis geoeletricos e confirmados pelas análises micro

paleontológicas e palinológicas da fauna de idade Devoniana, identificadora da Bacia do Parnaíba.

Diante desse contexto, foram planejadas e executadas duas linhas de pontos de medição pelo método Áudio-Magnetotelúrico (AMT) com o intuito de investigar a estratigrafia local, desde as camadas mais superficiais até aquelas mais profundas, o que possibilitará o conhecimento das espessuras reais do pacote sedimentar Fanerozóico e sua modelagem.

O método Magnetotelúrico é um importante método geofísico de alta resolução que detecta variações de eletroresistividade em subsuperfície a partir de variação no campo eletromagnético natural da Terra. Ao todo, foram feitas medições em 31 estações no perfil SE-NW e 18 no perfil SW-NE (Figura 1.35).

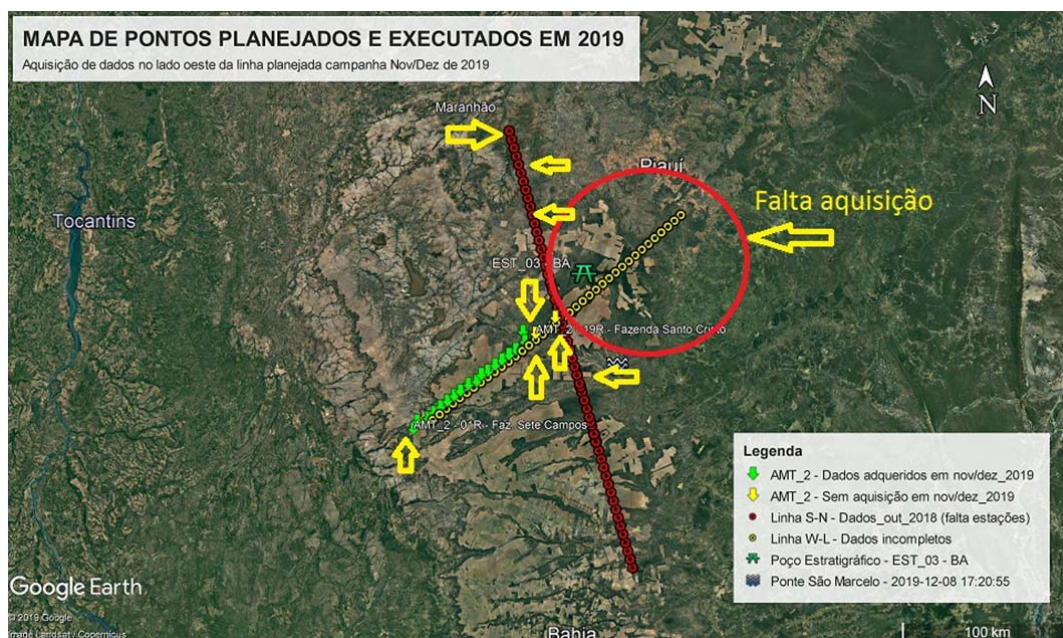


Figura 1.36 – Levantamento áudio magnetotelúrico: 18 estações de medição na linha SW/NE e 31 estações na linha SE/NW. As setas e o círculo em vermelho mostram as áreas onde ainda haverá aquisição de dados.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Com estas aquisições de dados completos e processados será possível conhecer e interpretar em 3D sua distribuição que, associados a outros elementos, como porosidade efetiva, área saturada e condições de contorno, permitirá o cálculo das reservas de águas subterrâneas que, associadas a uma

efetiva rede de monitoramento subterrânea proporcionará as condições para a correta gestão do aquífero.

Os dados desse levantamento encontram-se atualmente sendo processados internamente no SGB-CPRM e, ao mesmo tempo, se planeja a conclusão da fase de aquisição de dados, conforme exposto a seguir:

- Complementar a aquisição no ramo Leste dos pontos projetados. (círculo vermelho).
- Estações que não foram feitas no ramo Oeste (4) e Norte (5), devido à logística e acesso / tempo em campo, assim como descalibração e não leitura da ADU (equipamento de aquisição / periféricos).

1.3. CONCLUSÕES

Parece clara a necessidade de se aprofundar os estudos geológico/hidrogeológicos e geofísicos na área da Bacia Sanfranciscana, uma vez que não se conhece as espessuras sedimentares totais envolvidas e a totalidade das formações existentes.

Espessuras sedimentares expressivamente superiores aos valores médios de 300 m até então atribuído ficam comprovadas, tanto pelo poço da ANP, perfurado em Luís Eduardo Magalhães – BA, com 822 m de espessura acima do Bambuí, quanto pelo de Formosa do Rio Preto, também na Bahia, perfurado pela CPRM até 636 m, sem atingir o embasamento cristalino e no qual foram identificados fósseis de idade Devoniana, atribuídos à Bacia Sedimentar do Parnaíba.

É também muito importante que se defina se essas zonas de maior espessura são grabens preenchidos pelo Urucua, ou se são paleograbens remanescentes da Bacia do Parnaíba, contendo depósitos sedimentares daquela unidade. Neste caso, caso ocorram depósitos Mesozóicos (Formação Sambaíba, p.ex.), verificar também a continuidade da sedimentação no Paleozóico (formações Cabeças e Serra Grande).

De grande importância é também a definição da continuidade do Grupo Urucua para norte, visto o correto dimensionamento de sua geometria.

No projeto “Estudo global dos recursos minerais da Bacia do Parnaíba” (CPRM, 1975), volume 1, página 21 transcreve-se, que na Folha SC23-V, a

Formação Areado, cretácea, registrada no projeto Gilbués, não foi compilada, por não ser mapeável na escala de 1:500.000”. No mesmo documento, na página 50, os autores afirmam que “Northfleet e Neves (1967) mapearam no sul da bacia, acima dos derrames basálticos (Formação Mosquito ou Barra do Corda), uma seção de 300 m de arenitos considerados da Formação Urucuia e correlacionou-a à Formação Itapecuru”.

No GIS BRASIL (CRPM, 2004) se relatam afloramentos do Grupo Areado a norte e a sul da sub-bacia Urucuia, sugerindo sua continuidade constante, abaixo do Grupo Urucuia por toda a área. No SIAGAS consta um poço da AGESPISA – PI em Gilbués (poço nº 2200001944), no qual é descrita a ocorrência do Grupo Urucuia, entre 0 e 30 m e do Grupo Areado, entre 30 e 202 m.

CAPÍTULO 2. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

**Autores: João Alberto Oliveira Diniz,
Clyvikh Renna Camacho e
Daniele Tokunaga Genaro**

2.1. REDE DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas) surgiu da necessidade de ampliar o conhecimento nos principais aquíferos do Brasil e da exigência constante em vários instrumentos legais, de uma ferramenta de ação para subsidiar a gestão dos recursos hídricos subterrâneos, efetuada pelos órgãos gestores estaduais.

Tem como objetivo registrar as variações naturais do nível d'água com vistas à estimativa da recarga, de parâmetros hidráulicos e cálculo do balanço hídrico além de acompanhar a variação do nível d'água em condições influenciadas pela intensa exploração e ocupação dos terrenos (Mourão e Peixinho, 2011), auxiliando inclusive na identificação de variações na qualidade das águas subterrâneas monitoradas, uma vez que análises químicas e físico-químicas completas são realizadas na instalação do poço, e durante a operação da rede, a partir da determinação in loco de parâmetros considerados indicadores (pH, condutividade elétrica e temperatura). Secundariamente monitoram-se parâmetros climatológicos (pluviometria, umidade relativa e temperatura do ar) nos locais onde estão instalados os poços de observação.

O monitoramento ocorre nacionalmente respeitando alguns critérios de priorização:

- Poços/piezômetros dedicados (exclusivos para a atividade de monitoramento);
- Aquíferos sedimentares livres (área de recarga);
- Importância socioeconômica da água;
- Uso da água para abastecimento público;
- Aspectos de vulnerabilidade natural e riscos; e
- Representatividade espacial do aquífero.

A rede de monitoramento (RIMAS) no Urucuia é constituída por 78 pontos de monitoramento (Figura 3), sendo parcialmente operada em conjunto com a ANA. Conta com o suporte da Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN (ANA/SGB-CPRM), Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência – RHNR (ANA/SGB-CPRM) e Rede Hidrometeorológica de Aquífero Urucuia – RHUrucuia (SGB-CPRM).

Observando a Figura 3, é possível de verificar o comportamento do fluxo das águas subterrâneas, paralelo ao das águas superficiais em toda a área da Bacia do São Francisco, aparentemente sem cruzar os limites de cada sub-bacia (Grande, Corrente e Carinhanha).

Por outro lado, embora o aquífero se estenda às bacias do Tocantins e Parnaíba, verifica-se, nestes casos, a ocorrência de claros divisores do fluxo subterrâneo.

Também, é interessante se notar que, ainda que não se observem rebaixamentos acentuados, alguns poços mostram rebaixamentos progressivos de níveis, principalmente na Bacia do Grande, seguido pela Bacia do rio Corrente. Além do mais, esses pontos se localizam principalmente nas proximidades das áreas planas dos chapadões, onde é menor a disponibilidade hídrica de superfície.

No Apêndice A, estão os gráficos de acompanhamento da evolução dos níveis de água subterrânea no aquífero Urucuia em toda a região, elaborados para compor o relatório do Projeto RIMAS (Genaro, 2021).

Nestes gráficos, pode-se perceber um sutil aumento da amplitude dos níveis de leste para oeste, é também na porção oeste (próximo à divisa da Bahia com Goiás) onde os níveis d'água são mais profundos. Essa variação (amplitude superior a 5 m) é basicamente a perda do volume de água nos poços, ou seja, ao aumento da profundidade dos níveis monitorados. Também, é possível observar uma aparente melhora dos níveis d'água, contudo mais de 75% dos poços apresentaram valores abaixo do normal, em diversos casos com níveis menores do que toda a série de registros (Genaro, 2021).

Trata-se de uma região que carece de bastante atenção e acompanhamento por parte dos agentes de fiscalização e demais órgãos públicos responsáveis.

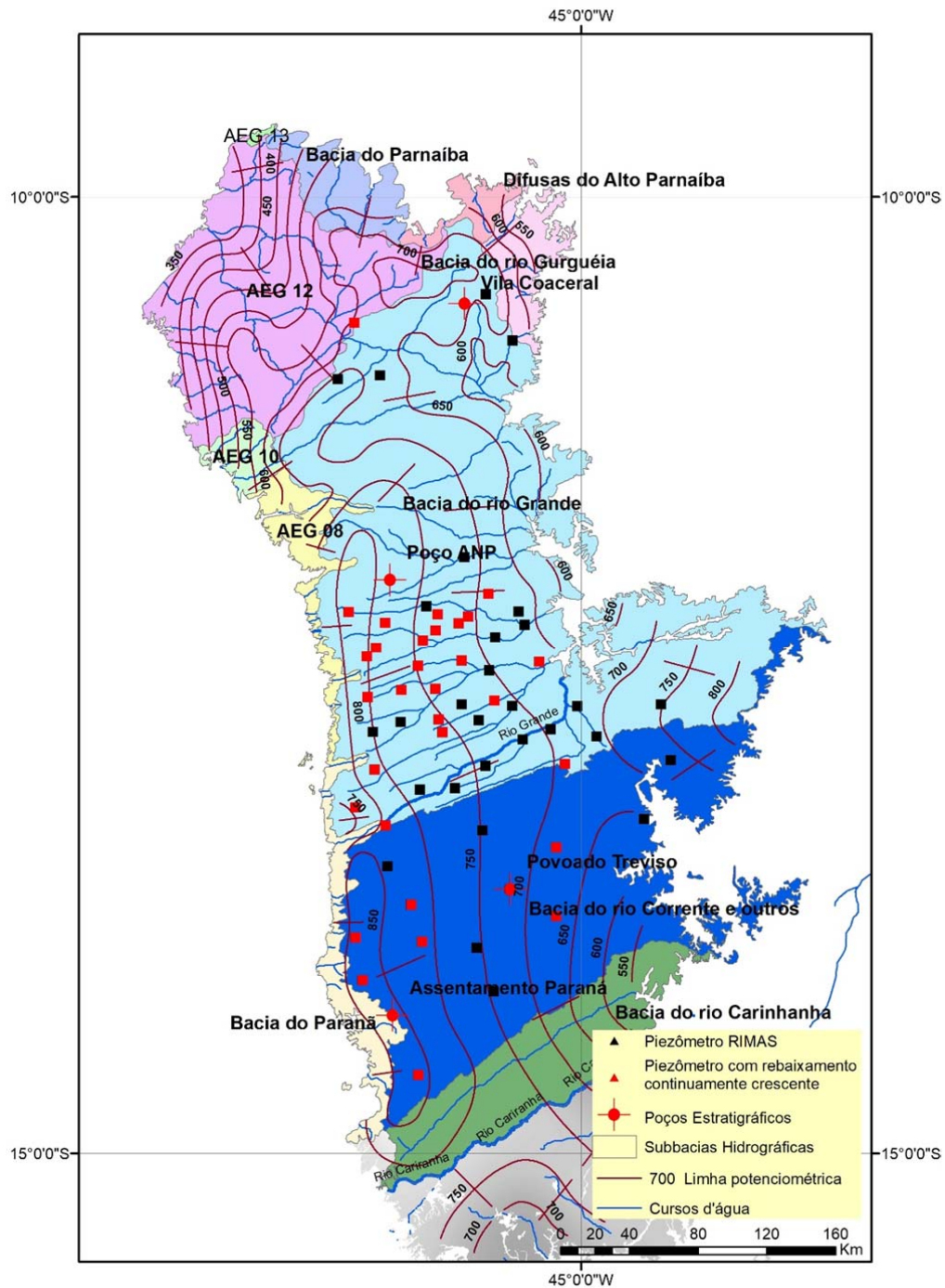


Figura 3 – A rede de Monitoramento (RIMAS) no Urucuia
 Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

2.2. UTILIZAÇÃO DE DADOS DE SATÉLITES

No trabalho “Análise da evolução do armazenamento de água em aquíferos porosos no nordeste brasileiro utilizando dados de múltiplos satélites e medições *in situ*” (Camacho, 2021), o autor ressalta que estudos de reconhecimento hidrogeológico no semiárido brasileiro com a utilização de dados dos satélites das missões GRACE e GRACE-FO (*Gravity Recovery and Climate Experiment*) (Tapley *et al.*, 2004) têm avançado nos últimos anos.

Para Camacho (2021), as medições *in situ* dos níveis estáticos realizadas pela Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil – CPRM permitem constituir acervo de dados que configuram uma referência essencial para análise das variações e oscilações de TWS identificadas por meio do satélite GRACE. Por outro lado, o estudo das águas subterrâneas deve também contemplar os processos de recarga de aquífero, de forma a permitir avaliar o comportamento do sistema aquífero frente às diferentes pressões, naturais ou antropicamente induzidas, sendo a precipitação reconhecida como principal fonte do processo de recarga, podendo historicamente ser usualmente mensurada por pluviômetros e mais recentemente por produtos de satélite. Nesse sentido, dados de chuva GPM (*Global Precipitation Measurement*), desenvolvido no âmbito da iniciativa denominada de *Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM* (IMERG - <https://gpm.nasa.gov/data/imerg>) foram utilizados.

O referido trabalho buscou delinear as variações e tendências de armazenamento de água nos aquíferos porosos monitorados através da RIMAS, sobretudo na região nordeste do Brasil mediante o emprego dos testes estatísticos de Mann-Kendall (Sneyers, 1991), que observa a presença de tendência nas séries, de Sen (Sen, 1968), que estima a magnitude das tendências das amostras, e de Pettitt (Pettitt, 1979), que busca quebras nas sequências e potencial para indicar variações bruscas ou mudanças nas tendências ocorridas. Os testes foram aplicados nas séries temporais das três fontes de dados, GRACE, RIMAS e GPM, durante o período de estudo que se estende de 2002 a 2020, com nível de confiança de 95%.

O estudo revela que os dados coletados pela rede de monitoramento RIMAS, associados a dados de satélites, GRACE e GPM, compõem uma base de dados valiosa. A metodologia proposta ilustra a importância da

complementaridade de informações coletadas *in situ* e por sensoriamento remoto para o melhor entendimento e monitoramento das águas subterrâneas.

Os resultados dos testes Mann-Kendall nos dados RIMAS e GRACE mostram uma tendência decrescente no armazenamento de águas subterrâneas para a região (Figura 2.2), principalmente na região do aquífero Urucuia, mesmo em áreas com regimes estacionários de precipitação, como demonstrado pelos resultados Mann-Kendall dos dados GPM.

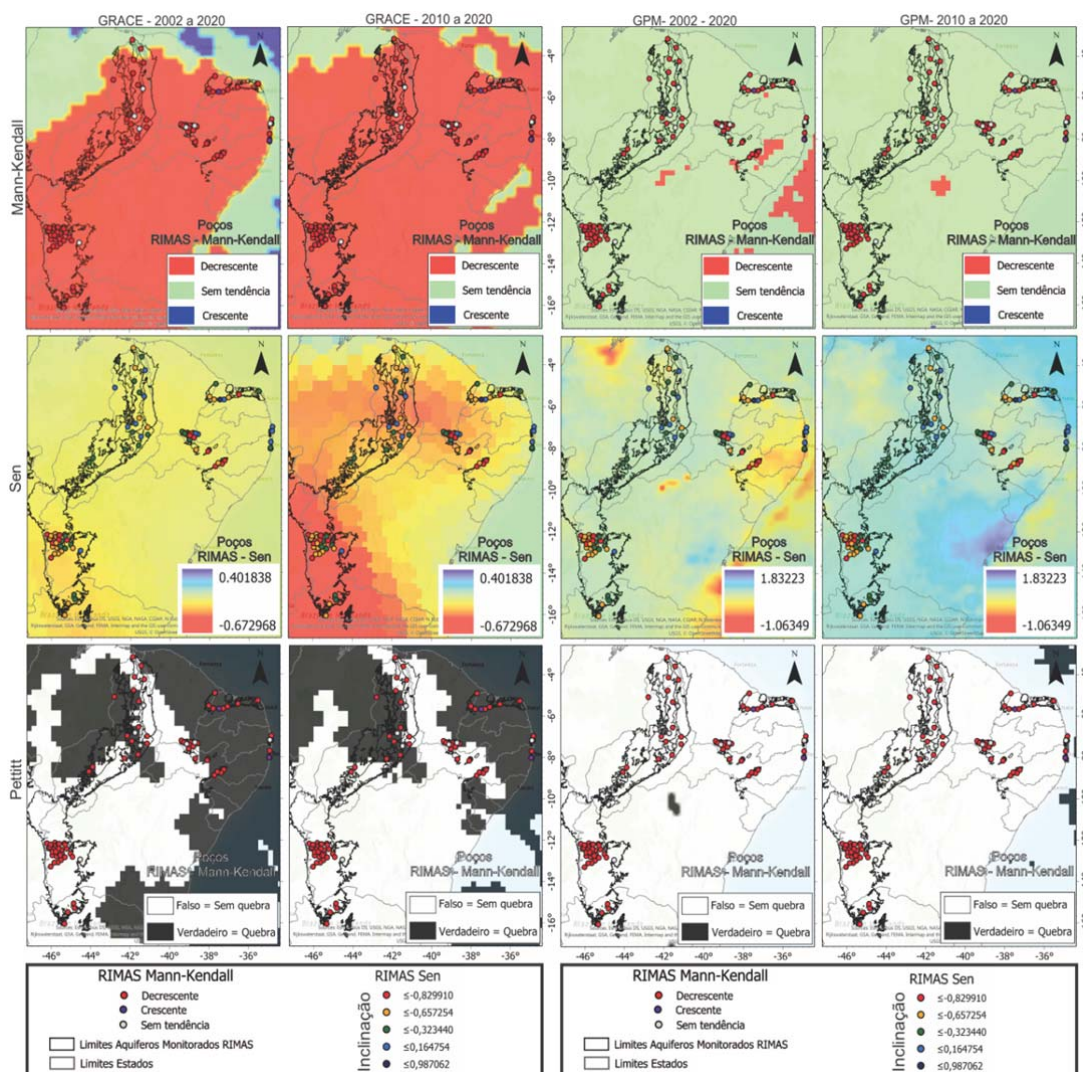


Figura 2.2 – Mapas com resultados dos testes estatísticos aplicados sobre os dados GRACE e RIMAS.

Fonte: Camacho, 2021.

A inclinação das respostas Sen nos conjuntos de dados GRACE e RIMAS apontam para uma redução no armazenamento de água, em especial para toda a área de ocorrência dos aquíferos Urucuia. O teste de Pettitt, mostra que não existiram grandes mudanças na precipitação da área do aquífero Urucuia, o que chama a atenção para os resultados GRACE e RIMAS dos testes de Mann-Kendall e Sen. Assim surge a questão, qual seria o motivo das respostas decrescentes nos armazenamentos do TWS e dos níveis das águas subterrâneas medidos pela RIMAS. O teste de Sen pode indicar que, mesmo sem grandes variações nas tendências de precipitação, houve uma diminuição da precipitação para o período de 2002 a 2020 a leste do aquífero Urucuia, como apontados pela leve inclinação negativa do teste, contudo, apenas essa variável não seria suficiente para uma redução tão grande e contínua no TWS/GRACE e nível de poços RIMAS

É importante ressaltar que a maior parte do TWS/GRACE é representada pela água presente no solo e nos aquíferos (Sun *et al.*, 2021), os resultados aqui apresentados devem ser foco de futuros estudos.

Em face das essas análises, recomenda-se que a metodologia proposta neste trabalho seja conjugada com o estudo de outros fatores também importantes para a redução no armazenamento de água subterrânea e rebaixamento dos níveis de água, sobretudo procedimentos que envolvam os processos de exploração por poços tubulares e a captação de águas superficiais.

2.3. PERFURAÇÃO DE POÇOS ESTRATIGRÁFICOS

No âmbito do projeto da Bacia-Escola do Urucuia do SGB-CPRM, foram perfurados três poços estratigráficos, localizados nos municípios de Correntina – BA (Povoado Treviso), Formosa do Rio Preto – BA (Vila Coaceral) e Mambaí – GO (Assentamento Paraná), cujas principais características são mostradas na Tabela 2.1.

Nas descrições litológicas, os geólogos responsáveis citam que, no poço de Correntina, entre 484 e 538 m ocorrem rochas do Grupo Areado; entre 458 e 504 m fósseis devonianos são descritos no poço de Formosa do Rio Preto e em Mambaí, o Grupo Urucuia ocorre apenas até os 370 m, abaixo do qual ocorre o Grupo Bambuí. Ao lado de cada um desses poços foi implantado um piezômetro para os testes de bombeamento e também para compor a rede RIMAS.

Tabela 2.1 – Características dos poços estratigráficos perfurados pelo SGB-CPRM no Urucuia

| UF | MUNICÍPIO | LOCALIDADE | P (m) | NE (m) | ND (m) | Q (m ³ /h) | EMBASAMENTO |
|----|--------------|---------------------|-------|--------|--------|-----------------------|--------------------------------|
| BA | Correntina | Povoado Treviso | 548 | 56,5 | 65,6 | 56,50 | Gnaiss Suíte Correntina (538m) |
| BA | F. Rio Preto | Vila Coaceral | 636 | 128,7 | 135,0 | 47,50 | Bacia do Parnaíba (458m) |
| GO | Mambai | Assentamento Paraná | 410,8 | 139,8 | 147,7 | 47,86 | Grupo Bambuí (370m) |

Obs.: P é a profundidade; NE é o nível estático, ND é o nível dinâmico, Q é vazão do poço.

A Figura 4 mostra os resultados das perfilagens geofísicas desses poços, bem como a perfilagem do poço da ANP, de acordo com a interpretação proposta por Silva e Chang (2018).

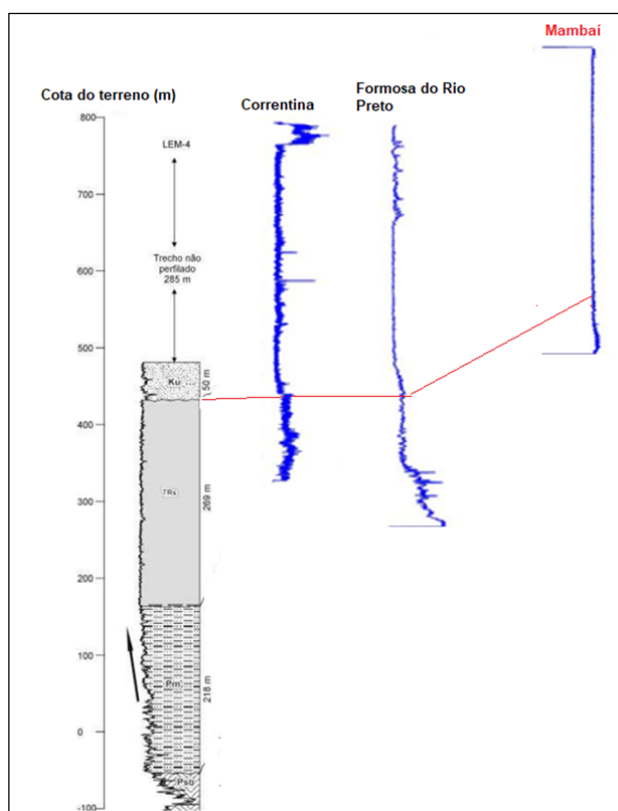


Figura 4 Perfis geofísicos (raios gama) dos poços estratigráficos do SGB-CPRM e do poço da ANP

Fonte: (Silva e Chang, 2018).

De acordo com Silva e Chang (2018), o poço estratigráfico LEM-4 (ANP), atravessou sucessão sedimentar com 822 m de espessura, assentada sobre rochas do Grupo Bambuí (Proterozóico Superior). Este poço foi perfilado apenas entre 285 e 911 m de profundidade, ou seja, não registrou dados da maior parte da seção superior, atribuída ao Grupo Urucuia, situada no intervalo entre a superfície do terreno e a profundidade de 335 m. A sucessão deposicional revelada pelo perfil geofísico do poço LEM-4 mostra um padrão em *coarsening upward* serrilhado no intervalo entre o topo do Grupo Bambuí e a profundidade de 602 m, com espessura de 218 m. Depois, o perfil mostra uma sucessão homogênea, com 269 m, em padrão cilíndrico, até a profundidade de 335 m, e intercalações pelíticas mais importantes no trecho inferior do pacote, características de sedimentação em ambiente flúvio-eólico, correspondente ao Grupo Urucuia, caracterizada por pacote arenoso com presença de delgadas intercalações de material pelítico, como mostrado no perfil de raios gama.

Os perfis dos poços de Correntina, Formosa de Rio Preto e Mambai mostram o mesmo padrão em *coarsening upward* serrilhado na porção basal da seção Fanerozóica, logo acima do embasamento. Nos três perfis, esta sucessão é truncada abruptamente no topo (desconformidade) por sucessão com padrão predominante cilíndrico, correspondente à sedimentação flúvio-eólica do Grupo Urucuia.

Na Figura 42.3 os poços foram colocados na mesma escala vertical aproximada, sendo possível notar a ocorrência horizontal desta unidade. Apenas no caso do poço de Mambai, situado em alta cota topográfica (943 m), esta situação não ocorre. As espessuras atribuídas ao Grupo Urucuia são de 480 m, 460 m e 350 m para os poços de Correntina, Formosa do Rio Preto e Mambai e de 335 m para o poço da ANP (Silva & Chang, op cit).

Nos poços da ANP são descritas unidades paleozóicas e no de Correntina se descreve o Grupo Areado abaixo do Urucuia. No caso de Mambai, a seção basal é atribuída ao Grupo Bambuí.

Como principal conclusão se pode admitir como provável à suposição levantada por Bomfim & Gomes (op cit) que, trabalhando com dados de gravimetria, admitem a existência, no interior da bacia Sanfranciscana, de áreas onde a espessura de sedimentos poderia alcançar números superiores a 1.000 m. No terreno hipotético, esses autores admitem que “os sedimentos contidos

na base destas estruturas rifteadas poderiam perfeitamente pertencer a unidades litologicamente similares, porém com idade inferior ao do Grupo Urucuia, considerado como Cretáceo”. Podem-se relacionar estas entidades mais antigas, a unidades paleozóicas da Bacia do Parnaíba. Essas unidades, de acordo com Silva e Chang (op cit), seriam as formações Sambaíba – Cretácica e Motuca, do Permiano.

Assim, é possível se supor, ainda que a nível preliminar, um modelo hidrogeológico conceitual conforme mostrado na Figura 52.4.

No APÊNDICE B, estão disponibilizados os relatórios técnicos de construção e as perfilagens óticas dos três poços estratigráficos perfurados pelo SGB-CPRM.

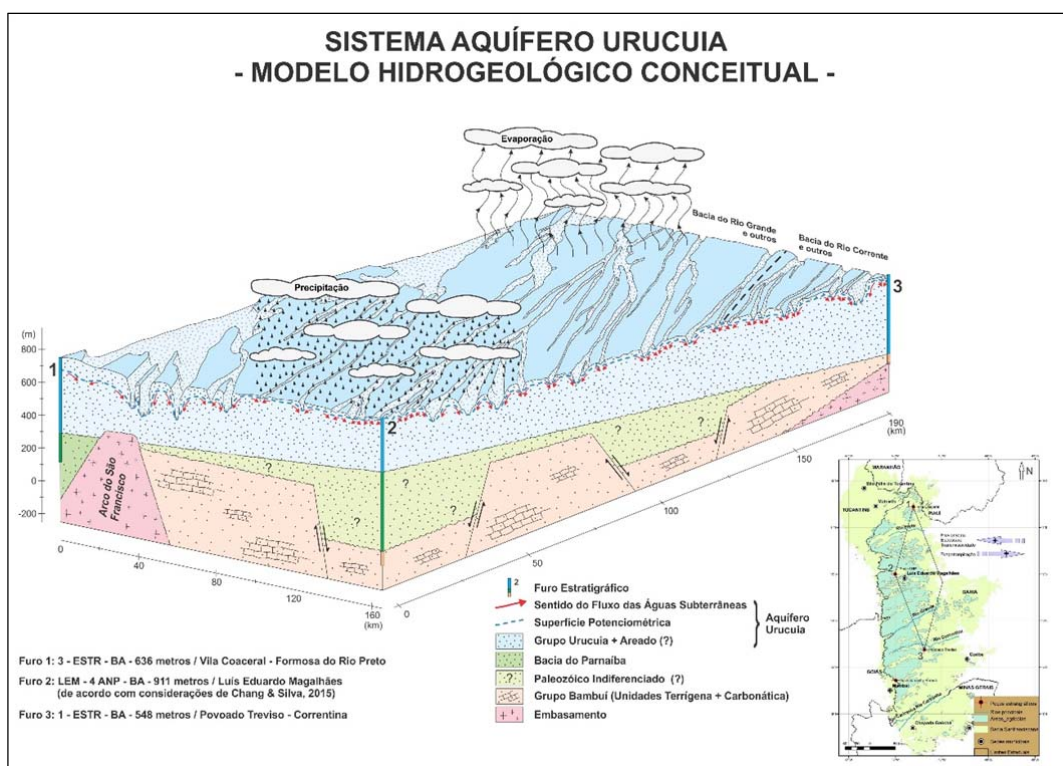


Figura 5.4 – Modelo hidrogeológico Conceitual do Aquífero Urucuia

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

2.4. CONCLUSÕES

A continuidade e expansão do monitoramento das águas subterrâneas se faz essencial para a ampliação do conhecimento a respeito dos aquíferos e avaliação da influência exercida por fatores diversos tais como o crescimento demográfico, a exploração intensiva e as alterações climáticas. Essas informações fornecem subsídios fundamentais para o planejamento, implantação e avaliação da eficácia dos procedimentos de gestão, pelos motivos elencados abaixo:

- Promover uma avaliação quantitativa dos níveis de água subterrânea, incluindo a avaliação de sua disponibilidade;
- Estabelecer avaliações de tendências de longo termo, tanto como resultado de mudanças nas condições naturais quanto derivadas de atividades antropogênicas;
- Efetuar um acompanhamento qualitativo dessas águas subterrâneas;
- Identificar tendências significativas de crescimento na concentração de poluentes e variações expressivas nos níveis de água;
- Avaliar a reversão das tendências nas condições qualitativas e/ou quantitativas após a implantação de medidas mitigadoras; e
- Estabelecer o grau de interação entre água subterrânea e águas superficiais.

CAPÍTULO 3. CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA

**Autores: Myrla de Souza Batista Vieira,
Camila Dalla Porta Mattiuzi, Alice Silva de Castilho
e Daniel Medeiros Moreira**

O Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, tem como missão "Gerar e difundir o conhecimento geológico e hidrológico básico necessário para o desenvolvimento sustentável do Brasil".

Para cumprir a sua missão institucional, na avaliação da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea, o SGB-CPRM promove o monitoramento de variáveis do ciclo hidrológico, como: precipitação, vazão, variação do nível do lençol freático, parâmetros climáticos que permitem o cálculo de algumas variáveis do ciclo; bem como o monitoramento da qualidade das águas.

Grande parte desse monitoramento é realizada pelo SGB-CPRM, desde a data da sua fundação, através da rede hidrometeorológica nacional – RHN, cujo gerenciamento atualmente é de responsabilidade da ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

Em destaque ao monitoramento hidrológico, nos últimos anos a investigação da interação de águas subterrâneas e de superfície tem se mostrado uma preocupação significativa. E, apesar dos grandes esforços empreendidos no monitoramento hidrológico e hidrogeológico nacional, por suas dimensões continentais o Brasil ainda possui regiões onde esse monitoramento necessita de um adensamento mais adequado para realizações de importantes estudos, entre essas regiões pode-se destacar a Bacia Sedimentar do Urucuia, a qual o crescente uso e utilização dos recursos hídricos subterrâneos podem trazer consequências imediatas e de alto impacto, não apenas para as águas subterrâneas, mas também para os fluxos de base das bacias hidrográficas dos rios São Francisco e Tocantins.

Considerando as características do Aquífero Sedimentar do Urucuia, onde há uma forte interação entre águas superficiais e subterrâneas, bem como a grande utilização dos recursos hídricos na região e a importante contribuição dos rios desta região para a manutenção das vazões do rio São Francisco; tornou-se necessário o adensamento do monitoramento hidrológico na região,

com a implantação de uma rede complementar tanto em pontos de monitoramento, frequência de obtenção de dados, quanto em variáveis a serem monitoradas.

Neste sentido, o SGB-CPRM implantou a rede hidrometeorológica do aquífero Urucuia - RHUrucuia, visando à obtenção de dados que permitam calibrar o estudo integrado dos recursos hídricos e à complementaridade das informações das redes já existentes na região.

Portanto, este estudo tem o objetivo de aprofundar o conhecimento acerca do comportamento das interações entre as águas superficiais e subterrâneas, através da análise dos dados hidrometeorológicos de estações situadas na região do Sistema Aquífero Urucuia, com vistas ao fomento da implementação da gestão integrada das águas subterrâneas e águas superficiais. Para tanto, em 2020, adotaram-se os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar os dados obtidos pelo monitoramento da rede hidrometeorológica do aquífero Urucuia;
- Dar continuidade, agora a partir dos dados consistidos da RHUrucuia, juntamente com os dados da RHN a Caracterização Hidrológica com base em dados primários (RHUrucuia) e secundários (RHN) que consiste em:
 - checar a regionalização hidrológica proposta em “Aquífero Urucuia - Caracterização Hidrológica com base em dados secundários” (CPRM, 2019a), baseada em curvas de permanência adimensionalizadas com o uso das estações da RHUrucuia;
 - checar razões encontradas em CPRM, 2019a (razões entre: vazões com permanência de 90 e 50% - Q90/Q50; deflúvio e precipitação - D/P; escoamento de base e precipitação - B/P; escoamento de base e deflúvio - B/D) com o uso das estações da RHUrucuia
- Realizar um balanço hídrico simplificado.

3.1. AQUÍFERO URUCUIA

O Sistema Aquífero Urucuia (SAU) é um aquífero sedimentar de grande potencial e contribui significativamente para a manutenção das vazões do rio

São Francisco, especialmente entre a divisa do estado de Minas Gerais e a montante de Sobradinho.

Devido às condições climáticas, abundância de recursos hídricos superficiais e subterrâneos e do relevo da área, nesta região tem havido um grande desenvolvimento da agricultura especialmente irrigada. Esta grande utilização dos recursos hídricos pode vir a comprometer a manutenção das vazões dos cursos d'água da região, como também as vazões do rio São Francisco e seus usos como navegação e geração de energia elétrica.

O uso da água, tanto superficial quanto subterrâneo, para irrigação vem aumentando de forma significativa, assim tornou-se importante desenvolver estudos de disponibilidade hídrica superficial e subterrânea como o objetivo, dentre outros, de permitir a simulação de cenários de exploração de recursos hídricos.

Do ponto de vista geomorfológico, Campos (1996) afirmou que o desnível na região alcança até 200 metros na Serra Geral de Goiás, com escarpas abruptas e com presença de colúvios, compondo solos constituídos essencialmente de areias (Figura 3.1).



Figura 3.1 – Vista da Serra Geral de Goiás, na região de São Domingos, GO.
Fonte: (Vieira, 2021).

Nesta região, o clima é classificado como um clima tropical, com inverno seco - do tipo Aw, segundo Köppen, com as temperaturas médias variando

anualmente entre 26° e 20°C. A umidade relativa do ar varia em torno de 80%, a máxima, no mês de dezembro, e a mínima de 50%, em agosto (Gaspar, 2006).

Segundo CPRM, 2019a, analisando os totais médios mensais das estações pluviométricas, consideradas representativas das principais sub-bacias da região do Aquífero Urucuia, verifica-se que:

- Existem 7 meses mais chuvosos no ano: de outubro a abril, quando são registrados de 95 a 98% do total da precipitação anual. Destes 7 meses, em 5 meses: de novembro a março são registrados de 78 a 86% da precipitação anual. Já o trimestre mais seco vai de junho a agosto e é registrado menos de 1% da precipitação anual.

Uma análise da variabilidade da evaporação potencial para os períodos 1961-1990 e 1981-2010 e da evapotranspiração potencial (EVTpot) para o período 1981-2010 (Figura 3.2), realizada por Vieira (2021).

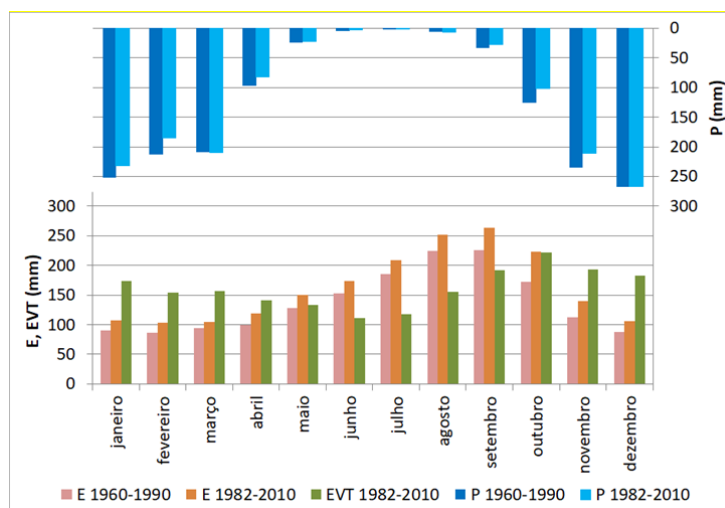


Figura 3.2 – Valores médios de evaporação (E) e evapotranspiração (EVT) potencial mensal do SAU comparados aos valores precipitados (P) nos períodos 1961-1990 e 1981-2010.

Essa análise da variabilidade mostrou que a evaporação potencial na região aumentou no período mais recente, ou seja, nos valores mensais houve um acréscimo entre 10% a 30% da evaporação e aumento de 18% nos valores anuais. E que o comportamento da evapotranspiração potencial ao longo do ano é diferente do comportamento da evaporação e da precipitação, ou seja,

ela é maior no início do período chuvoso na região, atingindo seu valor máximo no mês de outubro, e tem seu declínio no final do período chuvoso, alcançando seu valor mínimo em junho.

E, analisando os dados de precipitação do projeto CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station*), com resolução de 5 km (Funk *et al.*, 2015), e os dados de evapotranspiração real do modelo SSEBop (*Operational Simplified Surface Energy Balance*), com resolução de 1 km (Savoca *et al.*, 2013), para o período de 2003 a 2020, observa-se que o período chuvoso ocorre no verão, entre outubro a abril, quando o volume da precipitação é maior que o da evapotranspiração potencial (Figura 3.3). E o período seco ocorre entre maio a setembro, inverno no hemisfério sul, e a evapotranspiração é maior que a precipitação, ocasionando déficit hídrico. Os dados médios mensais e anuais utilizados estão disponíveis nos anexos I (Precipitação) e II (Evapotranspiração).

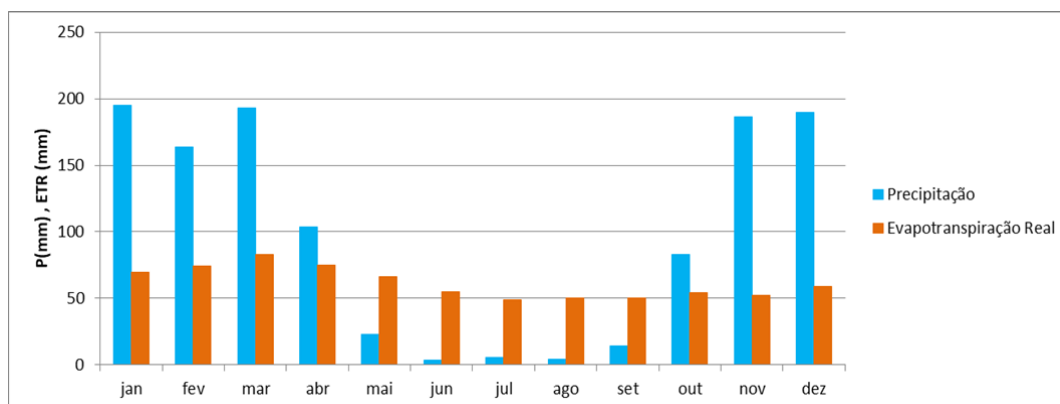


Figura 3.3 – Valores médios mensais de precipitação do CHIRPS (resolução de 5 km) e evapotranspiração real do SSEBop (resolução de 1 km), para o período de 2003 a 2020.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Portanto, no período entre maio a setembro, os rios da região são mantidos pelo escoamento ou vazão de base, que segundo (Gaspar, 2006) analisando o período 1982 a 2002, corresponde a 20% da precipitação e a 91% do escoamento total. Resultados comparados com os valores obtidos a partir das séries históricas das estações fluviométricas da RHUrucuia.

CPRM, 2019a, com um conjunto maior de dados de monitoramento, fez uma análise dos dados das estações da região do Aquífero Urucuia das relações

Deflúvio e Precipitação; Escoamento de base e Precipitação; Escoamento de base e Deflúvio, chegando-se aos seguintes resultados:

• A relação entre o Deflúvio-D e a Precipitação-P, que corresponde ao coeficiente de escoamento-C é da ordem de:

- 37 a 52% nas bacias afluentes do rio Tocantins;
 - 8% na bacia do rio Contrato, que pertence à bacia do rio Parnaíba;
 - 27 a 33% na bacia do rio Carinhanha;
 - 22 a 26% na bacia do rio Corrente;
 - 12 a 22% na bacia do rio Grande.
- A relação entre Escoamento de Base-B e a Precipitação-P:
- 24 a 41% nas bacias afluentes do rio Tocantins, exceto no rio São Vicente, que é de 55%;
 - 3% na bacia do rio Contrato, que pertence à bacia do rio Parnaíba;
 - 21 a 27% na bacia do rio Carinhanha, exceto no rio Coxá, que é de 13%;
 - 18 a 29% na bacia do rio Corrente, exceto no rio do Meio, que é de 13%;
 - 10 a 29% na bacia do rio Grande, exceto no rio São Desidério, que é de 3%.
- A relação entre o Escoamento de Base-B e o Deflúvio-D:
- 64 a 79% nas bacias afluentes do rio Tocantins;
 - 34% na bacia do rio Contrato, que pertence à bacia do rio Parnaíba;
 - 76 a 83% na bacia do rio Carinhanha;
 - 82 a 90% na bacia do rio Corrente;
 - 78 a 90% na bacia do rio Grande, exceto no rio São Desidério, que é de 70%.

3.2. REDE HIDROMETEOROLÓGICA DO AQUÍFERO URUCUIA

A RHUrucua foi concebida para complementação as redes de monitoramento existentes na região do Sistema Aquífero Urucua. Ela foi, inicialmente, projetada a instalação de uma rede totalmente automática

composta por 12 estações climatológicas, 62 estações pluviométricas e 25 estações fluviométricas. Entretanto, após análise de viabilidade e observada a existência de outras redes de monitoramento como a Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN, rede do Instituto do meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA, rede do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET e de outras instituições, bem como o projeto de ampliação e perfuração de novos poços da Rede de Monitoramento Integrado de Águas Subterrâneas – RIMAS, optou-se pela instalação de 12 estações climatológicas, 17 estações pluviométricas, e 16 estações fluviométricas, as quais serão detalhadas a seguir.

Nas estações climatológicas automáticas são monitorados e disponibilizados os dados de pressão atmosférica (hPA), temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), radiação solar global (W/m²), direção e velocidade do vento (m/s) e precipitação (mm). As 12 estações climatológicas estão listadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Estações climatológicas em operação na RHUrucuia.

| CÓDIGO | NOME | TIPO | MUNICÍPIO | ESTADO | SB |
|----------|-----------------------|------|-------------------------|--------|----|
| 01146020 | Fazenda Piquezeiro | PC | Ponte Alta do Bom Jesus | TO | 21 |
| 01046006 | Entrada das Dunas | PC | Mateiros | TO | 22 |
| 01046007 | Povoado Prata | PC | São Félix do Tocantins | TO | 22 |
| 01146021 | Fazenda Látex | PC | Rio da Conceição | TO | 22 |
| 01345012 | Fazenda Rio do Meio | PC | Correntina | BA | 45 |
| 01445007 | Fazenda Prata | PC | Jaborandi | BA | 45 |
| 01445008 | Fazenda Santa Colomba | PC | Cocos | BA | 45 |
| 01445009 | Fazenda Trijunção | PC | Cocos | BA | 45 |
| 01045012 | Fazenda Gaio | PC | Formosa do Rio Preto | BA | 46 |
| 01145031 | Fazenda Paineira | PC | Riachão das Neves | BA | 46 |
| 01145032 | Fazenda Santana | PC | Formosa do Rio Preto | BA | 46 |
| 01245035 | Fazenda Dom Perignon | PC | São Desidério | BA | 46 |

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Na RHUrucuia estão em operação 17 estações pluviométricas automáticas, listadas na Tabela 3.2, nas quais são monitorados precipitação (mm), temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), além das informações sobre o equipamento, como tensão da bateria – V e temperatura interna – °C. Além do pluviômetro automático, as estações também contam com pluviômetro convencional e observador hidrológico. As estações automáticas realizam medidas de acumulado de precipitação a cada 15min, já na estação

convencional o observador hidrológico realiza a leitura do acumulado de 24h de chuva todos os dias, as 7h da manhã.

Tabela 3.2 – Estações pluviométricas em operação na RHUrucuia.

| CÓDIGO | NOME | TIPO | MUNICÍPIO | ESTADO | SB |
|----------|-----------------------|------|-------------------------|--------|----|
| 01146018 | Fazenda Chapadão | P | Barreiras | BA | 21 |
| 01046004 | Fazenda São Sebastião | P | Mateiros | TO | 22 |
| 01046005 | Camping Rio Novo | P | Ponte Alta do Tocantins | TO | 22 |
| 01146019 | Fazenda São Lucas | P | Almas | TO | 22 |
| 00945018 | Sítio Poço Novo | P | Barreiras do Piauí | PI | 34 |
| 01045010 | Fazenda do Bené | P | São Gonçalo Gurguéia | PI | 34 |
| 01045011 | Sítio Barra Brejo | P | São Gonçalo Gurguéia | PI | 34 |
| 01344030 | Povoado Pedra | P | Santa Maria da Vitória | BA | 45 |
| 01345009 | Fazenda Buriti | P | Correntina | BA | 45 |
| 01345010 | Fazenda Mombim | P | Jaborandi | BA | 45 |
| 01345011 | Chapadão Alegre | P | Correntina | BA | 45 |
| 01444022 | Fazenda Sussuarana | P | Montalvânia | MG | 45 |
| 01444023 | Barra da Ema | P | Bonito de Minas | MG | 45 |
| 01145030 | Fazenda Aleixo | P | Riachão das Neves | BA | 46 |
| 01244024 | Fazenda Campo Grande | P | Baianópolis | BA | 46 |
| 01245034 | Fazenda Pioneira | P | São Desidério | BA | 46 |
| 01246015 | Fazenda Sertaneja | P | Luís Eduardo Magalhães | BA | 46 |

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

As 17 estações fluviométricas convencionais da RHUrucuia foram instaladas entre 2013 e 2015. Entretanto, em dezembro/2017, a estação Fazenda Bananeira (34224000) foi extinta, por dificuldade de contratação de observador, realização de leituras e de medições. Nesta estação foi realizada apenas uma medição de descarga líquida no dia 20/03/17, na cota 111 cm e cuja vazão foi de 0,927m³/s. Portanto, atualmente estão em operação 16 estações fluviométricas convencionais na RHUrucuia, listadas na Tabela 3.3.

Na Figura 3.4, pode-se observar a localização das estações da Rede Hidrometeorológica do Aquífero Urucuia – RHUrucuia, cujas análises dos dados são objetivo deste estudo.

Tabela 3.3 – Estações fluviométricas em operação na RHUrucuia.

| CÓDIGO | NOME | RIO | TIPO | MUNICÍPIO | ESTADO | SB |
|----------|--------------------|-----------------|------|------------------------|--------|----|
| 22560000 | Chácara Alecrim | Soninho | FD | São Félix do Tocantins | TO | 22 |
| 22662000 | Barra do Caracol | Novo | FD | São Félix do Tocantins | TO | 22 |
| 22665000 | Chácara Rio Preto | Preto | FD | Mateiros | TO | 22 |
| 34001000 | Porto Alegre | Paraibinha | FD | Alto Parnaíba | MA | 34 |
| 34228000 | Barrocão | Gurgueia | FD | Gilbues | PI | 34 |
| 45120000 | Sumidor das Gaitas | Carinhanha | FD | Cocos | BA | 45 |
| 45125000 | Vereda Grande | Carinhanha | FD | Bonito de Minas | MG | 45 |
| 45155500 | Santa Luzia | Itaquari | FD | Cocos | BA | 45 |
| 45765000 | Fazenda Mombim | Arrojado | FD | Correntina | BA | 45 |
| 46410000 | Batalha | Grande | FD | São Desidério | BA | 46 |
| 46438000 | Retiro | Rio das Fêmeas | FD | São Desidério | BA | 46 |
| 46439000 | Ribeirão dos Bois | Riacho dos Bois | FD | São Desidério | BA | 46 |
| 46470000 | Canabravão | Do Nado | FD | São Desidério | BA | 46 |
| 46555800 | Nova Vista | Bom Jesus | FD | Riachão das Neves | BA | 46 |
| 46572000 | Faz. Santa Maria | Ponta d'água | FD | Barreiras | BA | 46 |
| 46780800 | Ponte Riachão | Riachão | FD | Formosa do Rio Preto | BA | 46 |

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

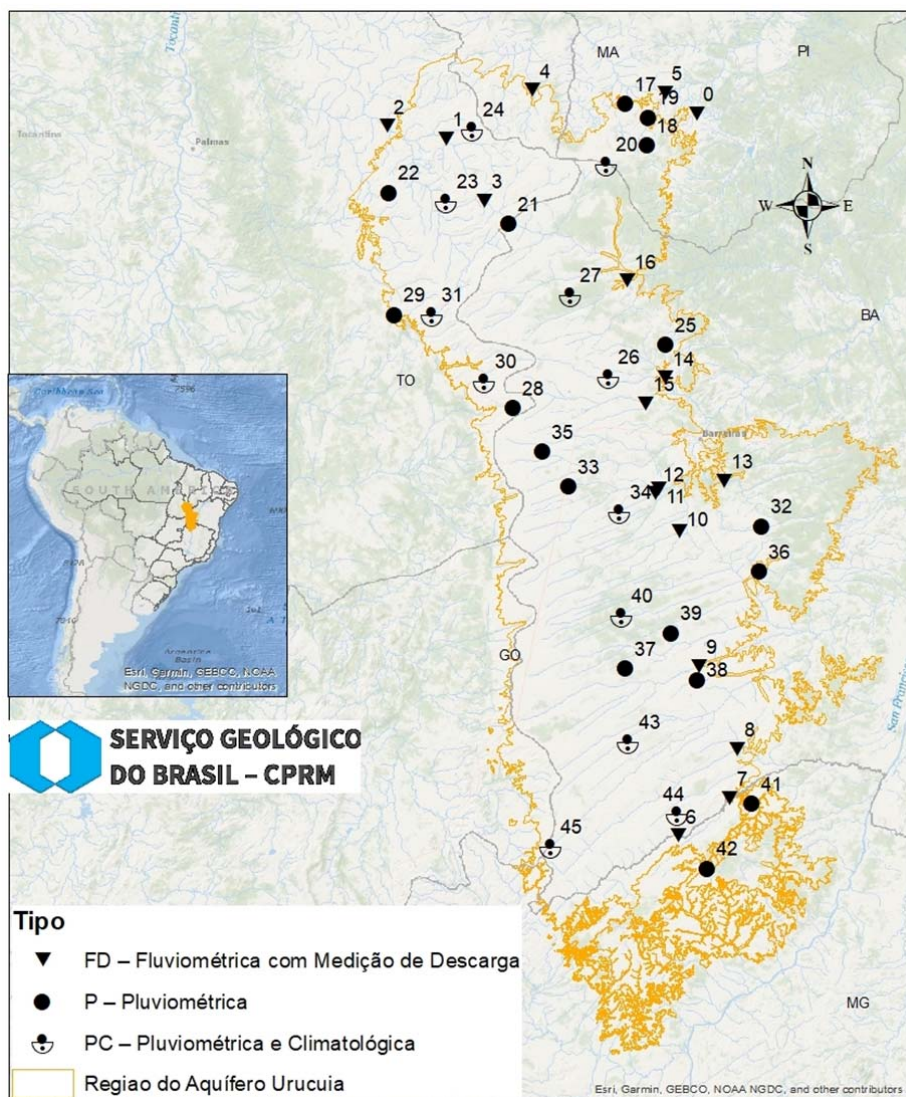
Como a RHUrucuia se trata de uma rede de estudo, inicialmente foi previsto que a operação da rede fluviométrica fosse feita com frequência mensal ao longo de 3 anos, de modo que ao final deste período, haveria pelo menos 30 medições de descarga para o traçado da curva chave, cobrindo uma grande amplitude de cotas. Entretanto, por questões operacionais, as estações fluviométricas foram operadas, até 2018, com uma frequência de 2 a 3 vezes por ano, ou seja, ao final de 5 anos de operação, cada estação tem em torno de 12 medições.

Em 2020 a RHUrucuia se tornou parte da operação integrada de rede de monitoramento hidrológico implementada na região do Sistema Aquífero Urucuia pela Superintendência Regional da Salvador, através da Gerencia de Hidrologia e Gestão Territorial, conforme descrito a seguir:

- RHN – Rede Hidrometeorológica Nacional (parceria com ANA): a RHN possui 83 estações, sendo 38 pluviométricas e 45 fluviométricas. As estações hidrológicas estão agrupadas em roteiros de operação nos quais as pluviométricas são visitadas para manutenção 2 vezes por ano, e as estações

fluviométricas 4 vezes por ano, sendo que todas as estações possuem observador hidrológico;

- RHNR – Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência (parceria com ANA): a RHNR possui 10 estações com monitoramento pluviométrico e fluviométrico, as quais estão dispostas no rio São Francisco e nos seus principais afluentes. As estações de referência estão agrupadas em 2 roteiros de operação, os quais são visitados para manutenção a cada 2 meses. Esta rede possui equipamentos automáticos telemétricos e em caso de problemas com equipamentos, foi acordado entre os parceiros que a transmissão de dados deve estar reestabelecida num prazo máximo de 5 dias. Além disso, todas as estações também possuem observador hidrológico;
- RIMAS – Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (institucional): a RIMAS possui 66 poços de monitoramento dos níveis piezométricos, divididos em 3 roteiros de operação, os quais são visitados 4 vezes por ano. Uma vez por ano são coletadas amostras para análise de alguns parâmetros de qualidade das águas no LAMIN da CPRM. Quando os poços são instalados e, novamente a cada 5 anos, são realizadas amostragens para análises completas de qualidade da água. Todas as estações possuem equipamentos automáticos de registro e transmissão de nível dos poços e 8 delas possuem PCDs com registro automático de chuva, temperatura e umidade do ar. Estas estações não possuem observadores hidrológicos;
- RHUrucuia – Rede Hidrometeorológica do Aquífero Urucuia (institucional): a RHUrucuia possui 45 estações, agrupadas em 2 roteiros de operação, sendo as pluviométricas e climatológicas operadas 2 vezes por ano e as fluviométricas idealmente 4 vezes por ano. Todas as estações pluviométricas e climatológicas são automáticas, já as fluviométricas são convencionais. Todas as estações possuem observador hidrológico.



| | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------------------|
| 1 - 22662000 | 13 - 46780800 | 25 - 01344030 | 37 - 01345012 |
| 2 - 22665000 | 14 - 00945018 | 26 - 01345009 | 38 - 01445007 |
| 3 - 34001000 | 15 - 01045010 | 27 - 01345010 | 39 - 01445009 |
| 4 - 34224000 | 16 - 01045011 | 28 - 01345011 | 40 - 45120000 |
| 5 - 34228000 | 17 - 01046004 | 29 - 01045012 | 41 - 45125000 |
| 6 - 45765000 | 18 - 01046005 | 30 - 01046006 | 42 - 45155500 |
| 7 - 46410000 | 19 - 01145030 | 31 - 01046007 | 43 - 01444022 |
| 8 - 46438000 | 20 - 01146018 | 32 - 01145031 | 44 - 01444023 |
| 9 - 46439000 | 21 - 01146019 | 33 - 01145032 | 45 - 01445008 |
| 10 - 46470000 | 22 - 01244024 | 34 - 01146020 | |
| 11 - 46555800 | 23 - 01245034 | 35 - 01146021 | 0 – 22560000 (Bananeiras) |
| 12 - 46572000 | 24 - 01246015 | 36 - 01245035 | |

Figura 3.4 – Localização das estações da Rede Hidrometeorológica do Aquífero Uruçuia – RHUruçuia.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

3.3. METODOLOGIA DA ANÁLISE DOS DADOS

Neste estudo, foram analisados os dados fluviométricos, climatológicos e pluviométricos convencionais, conforme descrito a seguir. Antes da realização das análises em si, foi feita a consistência de dados.

As séries de dados foram consistidas foram disponibilizadas na página da RHUrucuia no site do SGB-CPRM:

<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Pesquisa-e-Inovacao/Estudos-Hidrologicos-e-Hidrogeologicos-Integrados-na-Regiao-do-Aquifero-Uruçuia---SAU-5208.html>.

3.3.1. Dados Climatológicos

A análise da consistência dos dados automáticos foi feita por meio da plotagem dos gráficos dos parâmetros ao longo do tempo por estação. Importante ressaltar que os equipamentos automáticos instalados nestas estações são as PCDs do tipo Vaisala com 7 sensores, a saber: Precipitação, Umidade Relativa, Temperatura do Ar, Pressão Atmosférica, Direção e Velocidade do Vento e Radiação Solar. Para os dados pluviométricos a metodologia está apresentada a seguir.

A análise dos dados climatológicos foi realizada para um curto período de dados, portanto não foi possível fazer uma análise estatística. Mas as séries foram avaliadas através da plotagem gráfica dos parâmetros ao longo do tempo, por estação. Além disso, determinou-se também os valores característicos dos parâmetros climatológicos registrados nas estações no período monitorado.

3.3.2. Dados Pluviométricos

Os dados das 17 estações pluviométricas automáticas são monitorados pelo equipamento PCD OTT, com 3 sensores: precipitação, temperatura do ar e umidade relativa. Estes dados foram analisados por meio da plotagem dos gráficos dos parâmetros ao longo do tempo por estação.

Para análise dos dados pluviométricos convencionais foram traçadas curvas de dupla massa da série de dados anuais da estação em análise com as estações das vizinhanças, chamadas estações de apoio.

Na seleção das estações de apoio foram selecionadas, no mínimo 4, diametralmente opostas em relação à estação em análise, e com distância inferior a 50 km.

Para análise dos dados mensais foi utilizado o software Hidroplu que também faz a comparação do dado da estação em análise com os dados das estações de apoio, e define faixas de aceitação do dado, levando em conta: estatísticas das séries de dados, mês em análise, distância da estação ao apoio. E, para os dados diários, foi feita a análise da consistência dos dados pluviométricos, por meio da comparação entre os dados do observador e da estação automática.

As séries de dados pluviométricos compreenderam o período de 2014 a 2020, das 29 estações convencionais, conforme apresentado na Tabela 3.4. Os dados consistidos foram utilizados para o cálculo da precipitação média, mensal e anual de cada estação.

Tabela 3.4 – Disponibilidade de dados pluviométricos da RHUrucuia.

| CÓDIGO | NOME | QUANTIDADE DE MESES COM DADOS COMPLETOS POR ANO | | | | | | |
|----------|-----------------------|---|------|------|------|------|------|------|
| | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| 00945018 | SÍTIO POÇO NOVO | 2 | 12 | 12 | 12 | 11 | 10 | 11 |
| 01045010 | FAZENDA DO BENÉ | 2 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 |
| 01045011 | SÍTIO BARRA DO BREJO | 1 | 9 | 12 | 11 | 12 | 7 | 8 |
| 01045012 | FAZENDA GAIO | 3 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 |
| 01046004 | FAZENDA SÃO SEBASTIÃO | 2 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 8 |
| 01046005 | CAMPING DO RIO NOVO | 2 | 12 | 11 | 9 | 7 | 6 | 8 |
| 01046006 | ENTRADA DAS DUNAS | 3 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 |
| 01046007 | POVOADO PRATA | 3 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 |
| 01145030 | FAZENDA ALEIXO | 0 | 8 | 12 | 12 | 11 | 8 | 1 |
| 01145031 | FAZENDA PAINEIRA | 3 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 11 |
| 01145032 | FAZENDA SANTANA | 3 | 12 | 12 | 12 | 10 | 5 | |
| 01146018 | FAZENDA CHAPADÃO | 1 | 9 | 8 | 8 | 8 | 7 | 8 |
| 01146019 | FAZENDA SÃO LUCAS | 1 | 12 | 12 | 11 | 8 | 9 | 5 |
| 01146020 | FAZENDA PEQUIZEIRO | 3 | 9 | 12 | 12 | 12 | 9 | |
| 01146021 | FAZENDA LATEX | 3 | 12 | 11 | 11 | 11 | 12 | 9 |
| 01244024 | FAZENDA CAMPO GRANDE | 0 | 11 | 12 | 12 | 12 | 11 | 11 |
| 01245034 | FAZENDA PIONEIRA | 1 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 |

| CÓDIGO | NOME | QUANTIDADE DE MESES COM DADOS COMPLETOS POR ANO | | | | | | |
|----------|-----------------------|---|------|------|------|------|------|------|
| | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| 01245035 | FAZENDA DOM PERIGNON | 3 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 9 |
| 01246015 | FAZENDA SERTANEJA | 1 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 9 |
| 01344030 | POVOADO PEDRA | 0 | 7 | 9 | 11 | 12 | 11 | 12 |
| 01345009 | FAZENDA BURITI | 2 | 12 | 11 | 12 | 12 | 9 | 3 |
| 01345010 | FAZENDA MOMBIM | 2 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 |
| 01345011 | CHAPADÃO ALEGRE | 0 | 9 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 01345012 | FAZENDA RIO DO MEIO | 3 | 11 | 11 | 12 | 11 | 9 | 10 |
| 01444022 | FAZENDA SUSSUARANA | | 6 | 12 | 12 | 12 | 11 | |
| 01444023 | BARRA DA EMA | | 8 | 9 | 7 | 11 | 10 | |
| 01445007 | FAZENDA PRATA | 2 | 12 | 12 | 9 | 10 | 9 | 10 |
| 01445008 | FAZENDA SANTA COLOMBA | 1 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | |
| 01445009 | FAZENDA TRIJUNÇÃO | 2 | 12 | 11 | 12 | 8 | 9 | 12 |

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Devido ao tamanho das séries não foi possível fazer uma análise estatística; porém os resultados foram comparados com dados de precipitação das estações pluviométricas e climatológicas automáticas.

Os resultados foram utilizados para avaliar, de forma preliminar, a variabilidade temporal da precipitação sobre o SAU, através da espacialização pela interpolação, visando criar uma superfície estatística ou raster, no qual as estimativas de chuva mensal são elaboradas para todas as células para gerar um mapa contínuo. Há diversos métodos de interpolação, mas, neste trabalho, optou-se por usar o método do Kriging (ou Krigagem), que, segundo Murara (2019), é o mais utilizado para a espacialização de dados climáticos, uma vez que cria variações mais uniformes, não apresentando grandes variações e suavizando sua representação, já que homogeneiza as informações apresentadas.

Importante ressaltar que esta avaliação para ser conclusiva deve levar em conta os dados não só das 29 estações da RHUrucuia, mas também das 48 estações pluviométricas da RHN e RHNR. Entretanto, isto não foi possível em função da dificuldade de obtenção dos dados de todas as estações durante a pandemia, restringindo-se apenas as 29.

Para auxiliar esta avaliação espacial e se obter a precipitação e evapotranspiração média nas bacias monitoradas, de forma expedita, foram utilizados produtos de estimativa destas variáveis obtidos por satélite, que

estão disponíveis para os usuários na internet, por exemplo projeto CHIRPS e Seebop.

Para avaliar, também de forma expedita, a veracidade destas estimativas de precipitação por satélite, foi feita uma comparação dos dados obtidos por satélite com os dados de monitoramento de precipitação, limitada as 29 estações da RHUrucuia.

Já no caso da evapotranspiração real, ainda será calculada a evapotranspiração real com os dados das 12 estações climatológicas instaladas e dados de outras instituições na região para comparação com a estimativa de evapotranspiração obtida por satélite.

A comparação foi realizada através de um gráfico de dispersão, no qual a relação entre as duas variáveis foi analisada pela reta de tendência e pelo coeficiente de determinação (r^2), que define o percentual da variância de uma das variáveis que pode ser explicado a partir do valor da outra. Lembrando que r^2 varia entre 0 e 1, sendo que o 0 indica que uma variável não explica nada da variabilidade da outra, e 1 indica que uma variável pode explicar toda a variabilidade da segunda variável.

3.3.3. Dados Fluviométricos

Para a análise dos dados fluviométricos as séries foram consistidos através da análise de cotogramas, atualização das curvas chaves das estações fluviométricas, geração das vazões a partir da série de dados de cotas consistidos e as curvas chaves atualizadas, e por fim comparação dos hidrogramas das vazões geradas.

Ressalta-se que tanto na análise de cotogramas quanto de hidrogramas as estações são comparadas com estações de apoio. Neste caso as estações de apoios estão localizadas no mesmo curso d'água, em afluentes e/ou em bacias vizinhas.

As séries de dados fluviométricos convencionais compreenderam o período de 2014 a 2020, conforme disponibilidade de dados apresentados na Tabela 3.5.

Nesta análise foram utilizadas as séries de dados consistidas, e foi definido o ano hidrológico inicia em outubro e termina em setembro, a partir do

qual foram determinados os valores de vazão média longo termo, mínima e máxima para o período.

Tabela 3.5 – Disponibilidade de dados fluviométricos da RHUrucuia.

| CÓDIGO | NOME | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|----------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 22560000 | CHÁCARA ALECRIM | 1 | 12 | 12 | 12 | 9 | 11 | 8 |
| 22662000 | BARRA DO CARACOL | 1 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 22665000 | CHÁCARA RIO PRETO | 1 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 6 |
| 34001000 | PORTO ALEGRE | 2 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 34228000 | BARROÇÃO | 7 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 45120000 | SUMIDOR DAS GAITAS | 1 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | |
| 45125000 | VEREDA GRANDE | 1 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | |
| 45155500 | SANTA LUZIA | 1 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 8 |
| 45765000 | FAZENDA MOMBIM | 1 | 12 | 10 | 11 | 9 | 8 | 1 |
| 46410000 | BATALHA | | 6 | 12 | 7 | 12 | 12 | 10 |
| 46438000 | RETIRO | 5 | 12 | 12 | 8 | 8 | 12 | 2 |
| 46439000 | RIBEIRÃO DOS BOIS | 5 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 9 |
| 46470000 | CANABRAVÃO | 5 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 46555800 | NOVA VISTA | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 6 |
| 46572000 | FAZENDA SANTA MARIA | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 6 |
| 46780800 | PONTE RIACHÃO | 2 | 12 | 12 | 12 | 8 | 9 | 3 |

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Definição da Curva de Permanência e checagem de Regiões Hidrologicamente Homogêneas

A curva de permanência é uma função que caracteriza a frequência da oferta das vazões, o que permite avaliar a disponibilidade hídrica que depende da variabilidade temporal expressa por várias funções hidrológicas. Essa disponibilidade correlacionada com as demandas dos diversos usos torna-se uma análise fundamental para o gerenciamento sustentável dos recursos hídricos pressupõe a regulação do uso das águas mediante o conhecimento da oferta hídrica da bacia hidrográfica (Cruz e Tucci, 2008).

As curvas de permanência indicam as vazões para diferentes magnitudes, o que proporciona a caracterização da variabilidade histórica das vazões e do regime fluvial, indicando um comportamento de cada bacia hidrográfica. E para isso cada valor de vazão Q é correlacionada com uma probabilidade de excedência P ; a representação gráfica desses pares de informações define a curva de permanência.

A curva de permanência de vazões adimensionalizada pela vazão média de longo termo (QMLT) é uma ferramenta utilizada para a identificação de regiões hidrológicas homogêneas.

Para utilização desta técnica as séries diárias de vazões devem ter o mesmo período de dados, e devem ser classificadas em ordem decrescente. Cada valor de vazão ordenado será associado a um número de ordem variando de 1 a n que corresponde ao tamanho da série. Dividindo este número de ordem pelo tamanho da série tem-se a posição de plotagem expressa em termos percentuais.

A série de vazões será adimensionalizada pela QMLT, ou seja cada valor de vazão da série foi dividido pela QMLT. Em seguida são plotados os gráficos de posição de plotagem x vazão adimensionalizada para todas as séries das estações estudadas identificando aquelas com comportamento similar. As curvas estabelecidas foram comparadas com regiões hidrologicamente homogêneas definidas no estudo de Caracterização Hidrológica do Aquífero Urucuia com Base em Dados Secundários, que compreendeu a análise da série histórica das estações da Rede Hidrometeorológica Nacional (CPRM, 2019a).

Separação do Escoamento Superficial e Subterrâneo

Para a compreensão do comportamento da relação água superficial-subterrânea na região do Sistema Aquífero Urucuia foi realizada a separação do escoamento de base das séries fluviométricas consistidas anteriormente.

Métodos de separação de escoamento de base através da análise de hidrogramas são utilizados para entender o comportamento difuso das contribuições às vazões dos rios através de descargas de águas subterrâneas em uma determinada bacia, a qual é delimitada pela área de drenagem das estações fluviométricas (Healy, 2010).

O método utilizado para fazer a separação de escoamento de base a partir das séries fluviométricas foi o Filtro Digital Recursivo de Eckhardt (2005), o qual consiste em é um algoritmo recursivo que faz a separação das vazões dos rios em duas componentes: escoamento superficial (direto) e escoamento de base (indireto), conforme a Equação 1:

$$y_i = f_i + b_i$$

Equação 1

Onde y_i corresponde à vazão do rio, f_i ao escoamento superficial, e b_i ao escoamento de base, todos calculados no intervalo de tempo i .

Eckhardt (2005) generalizou o equacionamento do filtro de separação de escoamento de base conforme Equação 2, sujeito a restrição de que a vazão de base em qualquer tempo deve ser menor ou igual à vazão total do rio no mesmo tempo, isto é, $b_i \leq y_i$.

$$b_i = A \times b_{i-1} + B \times y_i$$

Equação 2

Os parâmetros A e B da Equação 2 podem ser expressos em função da constante de recessão e do parâmetro BFI_{max} (Base Flow Index maximum – Índice máximo de Escoamento de Base).

A constante de recessão (“a”) está relacionada com a descarga de água subterrânea em um intervalo de tempo no qual não há entrada de água no sistema através de precipitação, de forma que o escoamento superficial (direto) é nulo, sendo a vazão do rio composta exclusivamente pela vazão de base. Neste estudo, após análise das recessões e consulta a bibliografia (CPRM, 2019a), foi adotado o parâmetro “a” como sendo igual a 0,999.

O parâmetro BFI (Baseflow Index – Índice de Escoamento de Base) é razão, a longo prazo, entre o fluxo de base e a vazão total; já o parâmetro BFI_{max} é um fator que restringe o BFI. Conforme Eckhardt (2005) o BFI_{max} pode ser definido pela natureza do curso d’água (perene ou efêmero) e das características do aquífero (poroso ou confinado), conforme valores sugeridos na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Valores de BFI_{max} sugeridos por Eckhardt (2005)

| CARACTERÍSTICA RIO E AQUÍFERO | BFI _{max} |
|--------------------------------------|--------------------|
| Rios perenes em aquíferos porosos | 0,80 |
| Rio efêmeros em aquíferos porosos | 0,50 |
| Rios perenes em aquíferos fraturados | 0,25 |

Elaborado pelo Autor (2021)

Outra forma de estimar o parâmetro BFI_{max} foi proposta por Collischonn & Fan (2012), a qual relaciona as vazões Q_{90} e Q_{50} , conforme Equação 3; este ajuste foi realizado a partir de estações fluviométricas nas regiões sul e central do Brasil, incluindo locais com clima e ano hidrológico semelhantes aos existentes na região do SAU e, portanto, foi escolhido para o cálculo do parâmetro BFI_{max} neste estudo.

$$BFI_{max} = 0.8344 \frac{Q_{90}}{Q_{50}} + 0.2146 \quad \text{Equação 3}$$

Os parâmetros A e B relacionados na Equação 2 estão apresentados nas Equações 4 e 5; a Equação 6 apresenta o filtro digital recursivo de Eckhardt, sujeito a $b_i \leq y_i$.

$$B = \frac{(1-a) \times BFI_{max}}{1-a \times BFI_{max}} \quad \text{Equação 4}$$

$$A = \left(\frac{1-BFI_{max}}{1-a \times BFI_{max}} \right) \times a \quad \text{Equação 5}$$

$$b_i = \frac{(1-BFI_{max}) \times a \times b_{i-1} + (1-a) \times BFI_{max} \times y_i}{1-a \times BFI_{max}} \quad \text{Equação 6}$$

3.4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.4.1. Análise dos Dados Climatológicos

A consistência dos dados automáticos das estações climatológicas e pluviométricas, realizada por meio da plotagem dos gráficos dos parâmetros ao longo do tempo por estação, tem os resultados e as inconsistências encontradas apresentadas no Anexo III. Essa consistência dos dados automáticos foi imprescindível para subsidiar a consistência e análise dos dados pluviômetros

convencionais, para análise e definição dos valores característicos dos parâmetros climatológicos registrados nas estações no período monitorado.

No Anexo VIII estão apresentados os valores característicos dos parâmetros climatológicos, monitoradas nas estações climatológicas e pluviométricas automáticas da RHUrucuia, entre 2014 e 2019.

Em todas as estações automáticas foram monitorados os parâmetros: Precipitação (mm), Temperatura (C) e Umidade Relativa (%). Entretanto, os dados de precipitação serão analisados conjuntamente com os dados das estações pluviométricas no item a seguir.

A partir das séries de dados automáticos de temperatura e umidade relativa do ar, foram gerados os gráficos apresentados na Figura 3.5.

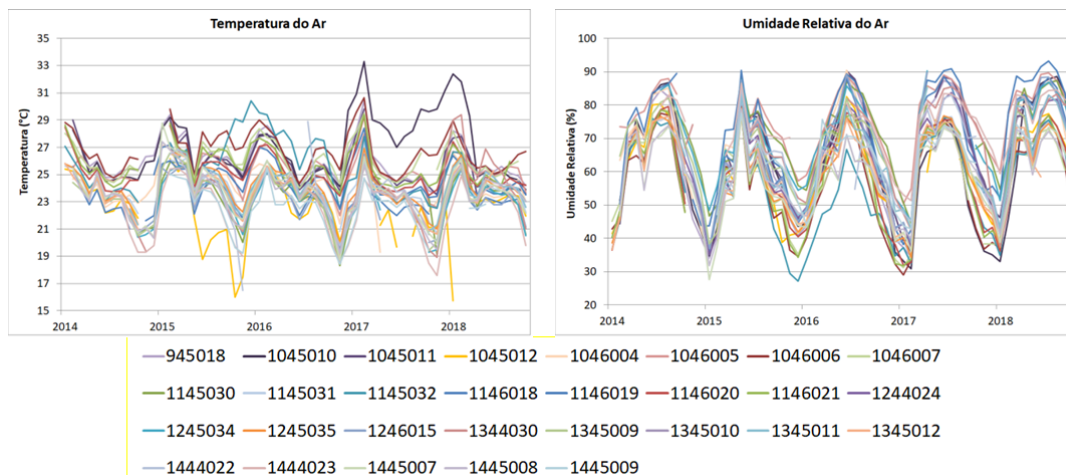


Figura 3.5 – Gráficos da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%), ao longo do tempo monitorados nas estações climatológicas e pluviométricas da RHUrucuia, entre 2014 e 2019.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Nas estações climatológicas, também foram monitorados os parâmetros: Pressão Atmosférica (hPA), Radiação Solar (W/m²), Velocidade (m/s) e Direção do Vento, cujos valores característicos foram definidos a partir das séries de dados automáticos registrados nas estações climatológicas e utilizados para gerar os gráficos das Figuras 3.6 e 3.7.

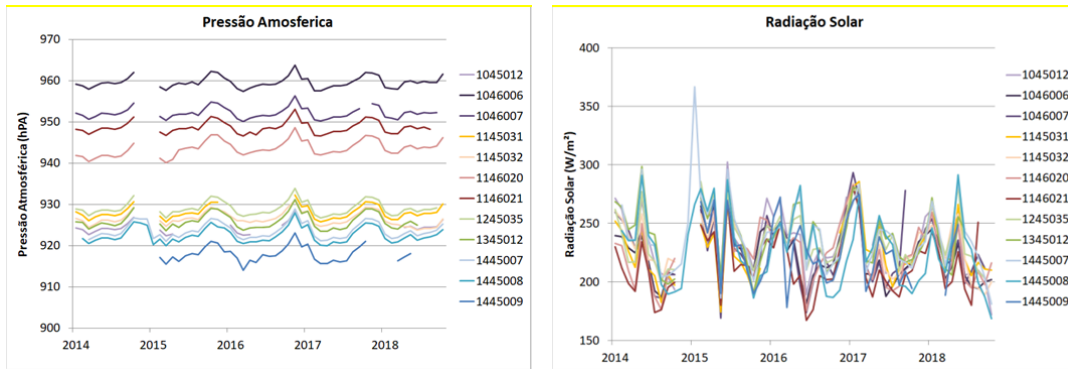


Figura 3.6 – Gráficos da pressão atmosférica (hPa) e radiação solar (W/m^2), ao longo do tempo, monitoradas nas estações climatológicas da RHUrucuia, entre 2014 e 2019.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

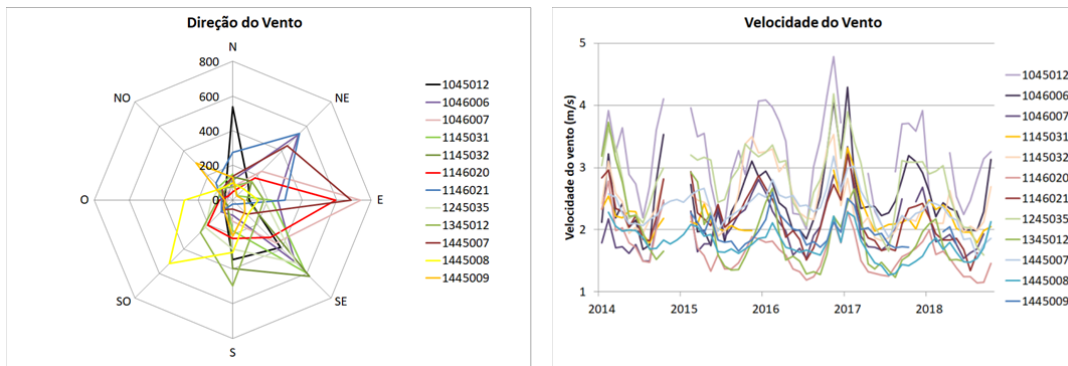


Figura 3.7 – Gráficos da velocidade (m/s) e da direção do vento, ao longo do tempo, monitorados nas estações climatológicas da RHUrucuia, entre 2014 e 2019.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Analisando os dados da Tabela xx, verificou que:

- As estações com maiores precipitações são aquelas de maior longitude (46°) próximas ao divisor de águas das bacias dos rios São Francisco e Tocantins.
- As estações de maior pressão atmosférica > 940 hPA são as de menor altitude < 640 m. E as de menor pressão atmosférica < 930 hPA são as de maior altitude > 747 m.
- As estações de maior radiação solar estão localizadas na parte central da área monitorada (latitude entre 12° e 14° e longitude em torno de 45°)
- As estações com maior temperatura são as de menor altitude < 550 m e latitude de 10° , ou seja, as maiores temperaturas foram registradas nas estações com latitudes mais baixas na bacia rio do Gurguéia;

- maiores umidades relativas foram registradas nas estações 01046005 e 01444023, sendo esta em Minas Gerais na bacia do Carinhanha e aquela no estado do Tocantins.
- As estações de maior velocidade do vento são: 01045012 – Fazenda Gaió em Luiz Eduardo Magalhães e 01245035 – Fazenda Dom Perignon em São Desidério.

E, no período monitorado (2014 a 2019), as faixas de valores médios mensais encontradas nas estações climatológicas foram:

- Pressão atmosférica – entre 910 a 970 hPa;
- Temperatura – entre 15 a 34 °C;
- Umidade relativa – entre 28 a 82 %;
- Radiação Solar – entre 150 a 310 W/m²;
- Velocidade do vento – entre 0,5 a 4,5 m/s.

3.4.2. Análise dos Dados Pluviométricos

A consistência dos dados pluviômetros convencionais diários foi realizada a partir dos dados automáticos, utilizando a comparação entre os dados dos observadores e automáticos. As inconsistências encontradas estão apresentadas no Anexo IV.

De modo geral a alteração de dados diários em análise de consistência de dados pluviométricos não é recomendada. Neste caso esta alteração foi feita utilizando os dados da estação automática localizada ao lado do pluviômetro. Assim, a grande maioria dos dados alterados é compatível com erro de posicionamento de vírgula, ausência de leitura e leitura acumulada.

As séries de dados de pluviômetros, com menor número de dados alterado e conseqüentemente de melhor qualidade foram: 01045011 - Sítio Barra Brejo; 01046005 - Camping Rio Novo; 01046007 - Povoado Prata; 01145031 - Fazenda Paineira; 01145032 - Fazenda Santana; 01146020 - Fazenda Piquezeiro; 01244024 - Fazenda Campo Grande; 01245034 - Fazenda Pioneira; 01245035 - Fazenda Dom Perignon; 01246015 - Fazenda Sertaneja; 01344030 - Povoado Pedra; 01345009 - Fazenda Buriti; 01345010 - Fazenda Mombim;

01345012 - Fazenda Rio do Meio; 01444022 - Fazenda Sussuarana; e 01445009 - Fazenda Trijunção.

Já as séries que tiveram o maior número de dados alterados foram: 00945018 - Sítio Poço Novo; 01045010 - Fazenda do Bené; 01045012 - Fazenda Gaio; 01046004 - Fazenda São Sebastião; 01046006 - Entrada das Dunas; 01145030 - Fazenda Aleixo; 01146021 - Fazenda Látex; 01345011 - Chapadão Alegre; 01444023 - Barra da Ema; 01445007 - Fazenda Prata; e 01445008 - Fazenda Santa Colomba.

O Anexo V apresenta a precipitação diária medida nos equipamentos automáticos versus a monitorada nos pluviômetros convencionais nas estações climatológicas e pluviométricas.

A análise dos dados de precipitação foi feita com a totalização diária, mensal e anual, diferentemente dos dados dos outros parâmetros monitorados, nos quais se analisa a média. Dessa forma, quando há falhas nos dados a totalização fica comprometida. Além disso, a precipitação apresenta muita variação espacial, de forma que as estações pluviométricas e climatológicas foram agrupadas segundo a proximidade e analisadas conjuntamente.

A Figura 3.8 apresenta os totais anuais nas estações monitoradas agrupadas; destaca-se que os anos 2014 e 2019 estão incompletos.

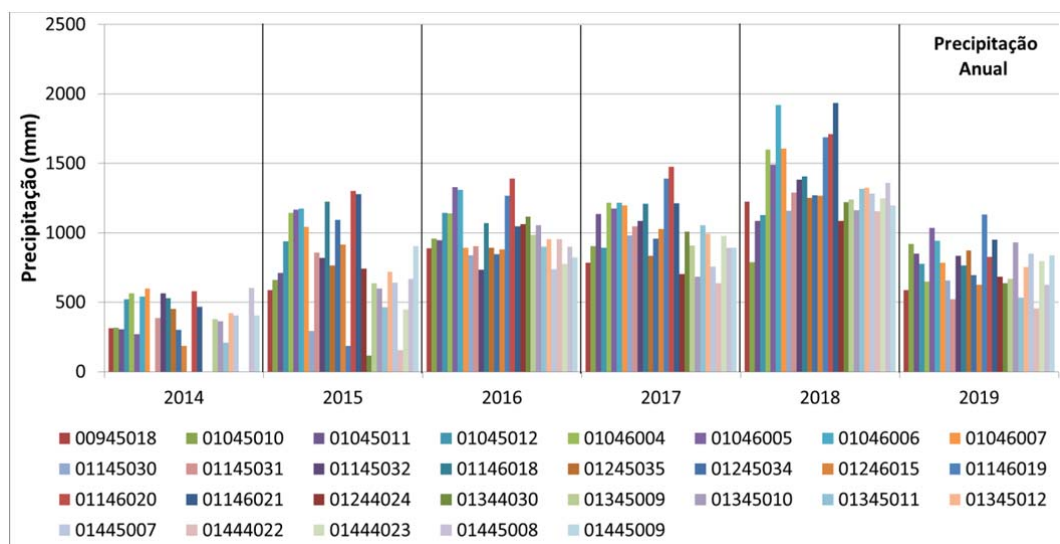


Figura 3.8 – Precipitação anual nas estações da RHUrucuia

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Segundo o agrupamento das estações acima, verificou-se que:

- Estações nas proximidades do estado do Piauí: precipitações anuais não ultrapassaram 1.200 mm no período monitorado.
- Estações na bacia do rio Tocantins na região do Jalapão: precipitações anuais ultrapassaram 1.500 mm em 2018.
- Estações nas bacias dos rios Preto e Branco afluentes do rio Grande: precipitações anuais ultrapassaram 1.100 mm em 2018.
- Estações nas proximidades das divisas dos estados de Tocantins e Bahia: precipitações anuais ultrapassaram 1.700 mm em 2018; esta é a região de precipitações mais elevadas, chegando próximo a 2.000 mm no período monitorado.
- Estações nas bacias dos rios Ondas, Fêmeas e Grande: precipitações anuais ultrapassaram 1.200 mm em 2018.
- Estações na margem esquerda do rio Corrente: precipitações ultrapassam 1.000 mm nos anos de 2016 e 2018.
- Estações na margem direita do rio Corrente: precipitações próximas a 600 mm em 2015 e ultrapassaram 1.200 mm em 2018.
- Estações na bacia do rio Carinhanha: precipitações ultrapassaram 1.200 mm em 2018.

A partir da análise das séries históricas destaca-se a maior precipitação diária observada no período entre 2014 a 2020 foi de 166 mm, que corresponde a 24% do valor máximo valor mensal observado (682 mm). No Anexo IX estão apresentados os totais mensais e o média anual de precipitação de todas as 29 estações pluviométricas convencionais da RHUrucuia.

Na Figura 3.9 observa-se o hietograma das precipitações médias mensais sobre o SAU, obtidas pela espacialização dos dados de precipitação de satélite do projeto CHIRPS, comparadas com dados das estações pelo método do Kriging (ou Krigagem) para o período de séries históricas (2014 a 2020). Os resultados da análise da linha de tendência e do coeficiente de determinação mostram que os dados do projeto CHIRPS, em uma análise espacial, podem eventualmente ser utilizados para representar a precipitação na região do SAU (Figura 3.10), uma vez que a precipitação média anual, das estações convencionais da RHUrucuia espacializadas, é de 989 mm, para o período de 2014 a 2020, que é

um valor muito próximo ao encontrado com dados do projeto CHIRPS (1.059 mm). A diferença é de 7%, sendo que os dados do CHIRPS são maiores. Esta análise será complementada futuramente com as 48 estações pluviométricas da RHN e RHNR, quando se poderá analisar de forma mais adequada a diferença entre os dados obtidos pelo monitoramento e as estimativas feitas por produtos baseados em sensoriamento remoto para esta região.

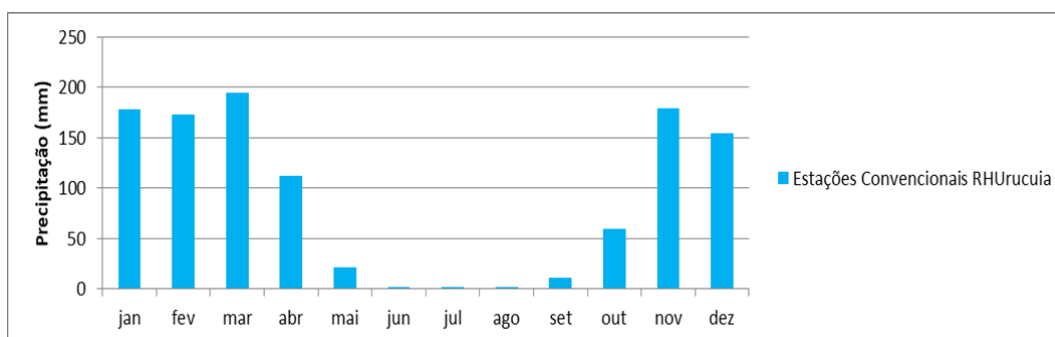


Figura 3.9 – Hietograma da precipitação das estações convencionais das RHUrucua, espacializadas pelo método do Kriging, para área do SAU.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

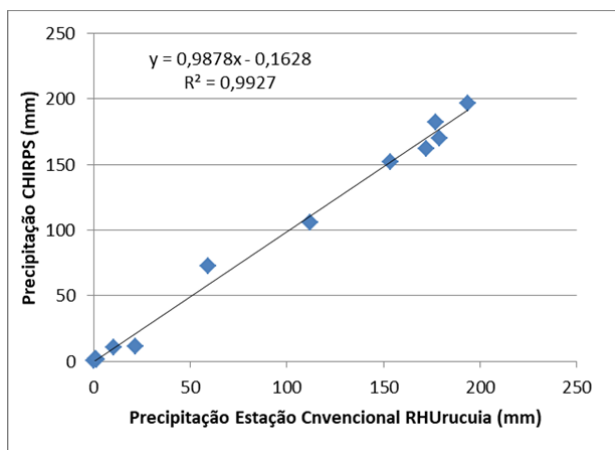


Figura 3.10 – Gráfico da correlação entre as precipitações das estações convencionais das RHUrucua, espacializadas pelo método do Kriging, e dados obtidos no projeto CHIRPS.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

3.4.3. Análise dos Dados Fluviométricos

Para as 16 estações fluviométricas foram realizadas análises de séries e as inconsistências verificadas se encontram apresentadas no Anexo VI; as curvas-chave definidas, de forma preliminar, do tipo: $Q = a \cdot (h - h_0)^n$, se encontram na Tabela 3.7.

Tabela 3.7– Curvas-chave definidas para as 16 estações fluviométricas.

| CÓDIGO | INÍCIO | FIM | COTA MÍNIMA | COTA MÁXIMA | a | h0 | n |
|----------|----------|----------|----------------|----------------|--------|-------|-------|
| 22560000 | 01/11/14 | 31/12/21 | 80 | 420 | 5,855 | -0,36 | 2,095 |
| 22662000 | 01/11/14 | 31/12/21 | 100 | 590 | 25,168 | 0,07 | 2,158 |
| 22665000 | 01/11/14 | 31/12/21 | 100 | 420 | 5,048 | -0,40 | 2,044 |
| 34001000 | 01/10/14 | 31/12/21 | 200 | 510 | 0,561 | 0,1 | 3,060 |
| 34228000 | 01/06/14 | 31/10/17 | 110 | 370 | 9,272 | 0,93 | 2,263 |
| | 01/11/17 | 31/12/21 | 120 | 380 | 9,272 | 1,03 | 2,263 |
| 45120000 | 01/11/14 | 31/12/21 | 300 | 510 | 31,934 | 2,35 | 2,201 |
| 45125000 | 01/11/14 | 31/12/21 | 300 | 495 | 13,072 | 1,83 | 2,021 |
| 45155500 | 01/11/14 | 31/12/21 | 100 | 310 | 45,876 | 0,70 | 1,189 |
| 45765000 | 01/11/14 | 31/12/21 | 300 | 460 | 2,169 | 0,57 | 2,670 |
| 46439000 | 01/07/14 | 31/12/21 | 112 | 230 | 3,843 | 1,12 | 2,919 |
| 46410000 | 01/06/15 | 24/04/19 | 180 | 400 | 2,482 | -0,13 | 1,796 |
| | 25/04/19 | 31/12/21 | 200 | 420 | 2,482 | 0,09 | 1,796 |
| 46438000 | 01/07/14 | 31/12/21 | 100 | 220 | 12,853 | -0,09 | 1,653 |
| 46470000 | 01/07/14 | 31/01/16 | 130 | 230 | 9,899 | 1,08 | 2,756 |
| | 01/02/16 | 09/09/18 | 130 | 190 | 12,539 | 1,13 | 2,973 |
| | 10/09/18 | 31/12/21 | 134 | 210 | 12,539 | 1,34 | 2,973 |
| 46555800 | 01/10/13 | 31/12/21 | 150 | 370 | 4,137 | 0,75 | 2,107 |
| 46572000 | 01/10/13 | 31/12/21 | 120 | 250 | 12,317 | 0,94 | 2,153 |
| 46780800 | 01/10/14 | 31/12/21 | 140 | 370 | 5,347 | -0,24 | 1,450 |

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

As medições de descarga líquida e as curvas-chave definidas e o perfil transversal do período monitorado para cada estação fluviométrica da RHUrucua estão apresentadas no Anexo VII.

Os resultados da análise de consistência de dados apontam que houve mudança na relação cota x vazão das seguintes estações:

- 34228000 – Barroão no rio Gurguéia: construção de uma ponte a montante da estação;
- 46410000 – Batalha no rio Grande: estação foi mudada para cerca de 600m a jusante;
- 46470000 – Canabravão no rio do Nado: foi criado um barramento a jusante para fins de recreação.

As variações entre as maiores e menores vazões médias mensais nas estações fluviométricas permitem identificar a regularização natural que ocorre por meio das descargas do Aquífero Urucua. Nas estações monitoradas a razão encontrada entre estas vazões foi de 1,28 a 2,36, exceto nas estações do rio

Gurguéia (34228000) e da bacia do rio São Desidério (46470000) onde esta razão foi da ordem de 4,1; sendo que esta bacia está localizada já numa região onde predomina o carste; já na bacia do Gurguéia, o pacote do aquífero já se encontra bastante intemperizado. A Tabela 3.8 apresenta as vazões mínimas e máxima do período monitorado e no Anexo X estão os dados de vazão média mensal e anual.

Tabela 3.8 – Vazões mínima e máxima das estações fluviométricas

| CÓDIGO | NOME | PERÍODO DE DADOS | Y | X | Vazão (m ³ /s) | |
|----------|---------------------|------------------|----------|----------|---------------------------|--------|
| | | | | | Mínima | Máxima |
| 22560000 | Chácara Alecrim | 2014/2020 | -101.819 | -466.675 | 10,5 | 127,4 |
| 22662000 | Barra do Caracol | 2014/2020 | -100.994 | -470.519 | 70,3 | 783,6 |
| 22665000 | Chácara Rio Preto | 2014/2020 | -105.878 | -464.136 | 12,5 | 108,2 |
| 34001000 | Porto Alegre | 2014/2020 | -98.644 | -461.006 | 5,4 | 76,8 |
| 34228000 | Barroão | 2014/2020 | -98.819 | -452.328 | 0,5 | 82,7 |
| 45120000 | Sumidor das Gaitas | 2014/2019 | -147.433 | -451.425 | 18,0 | 123,7 |
| 45125000 | Vereda Grande | 2014/2019 | -144.956 | -448.058 | 21,9 | 126,1 |
| 45155500 | Santa Luzia | 2014/2020 | -141.761 | -447.561 | 22,5 | 852,7 |
| 45765000 | Fazenda Mombim | 2014/2020 | -136.328 | -450.064 | 25,6 | 87,3 |
| 46410000 | Batalha | 2015/2020 | -127.486 | -451.353 | 9,2 | 27,8 |
| 46438000 | Retiro | 2014/2020 | -124.692 | -452.706 | 15,0 | 52,8 |
| 46439000 | Ribeirão dos Bois | 2014/2020 | -125.011 | -452.956 | 0,0 | 4,6 |
| 46470000 | Canabravão | 2014/2020 | -124.208 | -448.453 | 0,2 | 3,6 |
| 46555800 | Nova Vista | 2013/2020 | -117.478 | -452.300 | 4,1 | 38,1 |
| 46572000 | Fazenda Santa Maria | 2013/2020 | -119.131 | -453.572 | 0,7 | 32,1 |
| 46780800 | Ponte Riachão | 2014/2020 | -111.133 | -454.825 | 11,1 | 25,5 |

Obs.: Y = Latitude (°); X = Longitude (°). Elaborado pelo Autor (2021).

Observa-se que as menores vazões são registradas nos meses de julho a setembro e as maiores de dezembro a março. Abaixo estão apresentadas as variações nas vazões específicas nas Bacias Hidrográficas no período monitorado:

- Bacia do rio Tocantins: entre 9,1 a 11,8 L/s km²;
- Bacia do Parnaíba:
 - Paraibinha: 14,7 L/s km²;
 - Gurguéia: 2,1 L/s km²;
- Bacias do Carinhanha e Corrente: 6 a 9,8 L/s km²;
- Bacia do Grande:
 - do Nado (afluente do São Desidério): 0,2 L/s km²;

- Ribeirão dos Bois (afluente do rio das Fêmeas): 0,5 L/s km²;
- Branco: 2,5 a 3,4 L/s km²;
- Grande, Fêmeas e Preto: 6,7 a 7,0 L/s km².

3.4.4. Análise da Curva de Permanência

A partir das séries de vazões foram determinadas as curvas de permanência de vazões médias diárias das estações, apresentadas na Tabela 3.9; é possível verificar a capacidade de regularização natural do aquífero indicando uma pequena variação entre as vazões máximas e as vazões mínimas registradas.

Tabela 3.9 – Vazões características das estações fluviométricas

| CÓDIGO | PERÍODO | AD (km ²) | QMLT (m ³ /s) | Q50% | Q90% | Q95% | Qesp (L/skm ²) |
|----------|-----------|-----------------------|--------------------------|-------|-------|-------|----------------------------|
| 22560000 | 2014/2020 | 2.085 | 19,9 | 17,4 | 12,6 | 12 | 7,01 |
| 22662000 | 2014/2020 | 10.579 | 129 | 111 | 84,6 | 80,1 | 12,19 |
| 22665000 | 2014/2020 | 1.931 | 18,6 | 15,8 | 13,9 | 13,4 | 9,63 |
| 34001000 | 2014/2020 | 825 | 11,3 | 9,96 | 8,6 | 8,38 | 13,7 |
| 34228000 | 2014/2020 | 1.004 | 2,03 | 1,2 | 0,807 | 0,704 | 2,02 |
| 45120000 | 2014/2019 | 4.207 | 30,7 | 26,9 | 21,2 | 20,1 | 7,3 |
| 45125000 | 2014/2019 | 5.375 | 32,7 | 28,5 | 24,3 | 23,6 | 6,08 |
| 45155500 | 2014/2020 | 3.306 | 32,2 | 30,5 | 26,5 | 25,5 | 9,74 |
| 45765000 | 2014/2020 | 4.366 | 33,8 | 30,2 | 27,5 | 27 | 7,74 |
| 46410000 | 2015/2020 | 2.486 | 14,7 | 12,4 | 10,1 | 9,69 | 5,91 |
| 46438000 | 2014/2020 | 3.149 | 22,1 | 20,6 | 17,5 | 17,1 | 7,02 |
| 46439000 | 2014/2020 | 545 | 0,172 | 0 | 0 | 0 | 0,316 |
| 46470000 | 2014/2020 | 2.629 | 0,49 | 0,316 | 0,077 | 0,036 | 0,186 |
| 46555800 | 2013/2020 | 1.768 | 5,86 | 5,35 | 4,58 | 4,4 | 3,31 |
| 46572000 | 2013/2020 | 514 | 1,24 | 1,1 | 0,922 | 0,889 | 2,41 |
| 46780800 | 2014/2020 | 2.089 | 13,3 | 12,9 | 11,6 | 11,5 | 6,37 |

Obs.: AD = Área de Drenagem (km²); QMLT = Vazão de Média Longo termo.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

A partir dos dados apresentados na Tabela 10 e das curvas de permanência, disponíveis no Anexo XI, também é possível verificar a grande capacidade de regularização natural do aquífero através da pequena variação entre as vazões máximas e as vazões mínimas registradas:

- Nas estações localizadas na sub-bacia 22, que drenam para o rio Tocantins, a razão entre a Q10% e a Q50% variou entre 1,60 a 1,89, já a razão entre Q50% e Q95% entre 1,18 a 1,45, o que comprova a capacidade de regularização;
- Nas estações localizadas na sub-bacia 34, que drena para o rio Parnaíba, a razão entre a Q10% e a Q50% variou entre 1,45 a 2,62 e a razão entre a Q50% e Q95% variou entre 1,19 a 1,70, o que mostra que esta bacia tem a capacidade de regularização em alguns pontos;
- Nas estações localizadas na sub-bacia 45, que drena para o rio São Francisco, a razão entre Q10% e Q50% é da ordem de 1,28 a 1,68, já a razão entre Q50% e Q95% entre 1,12 e 1,34, comprovando a capacidade de regularização do aquífero.
- Nas estações localizadas na sub-bacia 46, que drena para o rio São Francisco, a razão entre Q10% e Q50% é da ordem de 1,26 a 1,88, já a razão entre Q50% e Q95% entre 1,12 e 1,28, comprovando a capacidade de regularização do aquífero. Mas nesta sub-bacia ocorreram exceções:
 - 46439000 – Ribeirão dos Bois: Não foi possível calcular onde as vazões Q50% e Q95% são iguais à zero (0) e que está localizada na sub-bacia do rio das Fêmeas, afluente do rio Grande, com presença de agricultura irrigada a montante.
 - 46470000 – Canabravão: localizada no rio São Desidério e apresentou valores mais elevados, pois a razão entre a Q10% e a Q50% é da ordem de 3,22 e a razão entre a Q50% e Q95% é da ordem de 8,8, o que é um indicativo da baixa capacidade de regularização natural neste ponto.

3.4.5. Identificação de Regiões Homogêneas pela Curva de Permanência Adimensionalizada

As curvas de permanência das vazões diárias adimensionalizadas pela vazão média de longo termo foram traçadas e, considerando as formas definidas, foram comparadas com os agrupamentos definidos no estudo de Caracterização Hidrológica do Aquífero Urucuia com Base em Dados Secundários, que compreendeu a análise da série histórica das estações da Rede Hidrometeorológica Nacional (CPRM, 2019a), no qual foram identificadas 22 regiões homogêneas.

Para comparação entre as regiões homogêneas identificadas em CPRM (2019a), as séries das estações fluviométricas da RHUrucuia foram utilizadas independentemente do tamanho, sendo todas adimensionalizadas pela respectiva vazão média de longo termo.

Os resultados mostraram que as estações de RHUrucuia, localizadas na Região Hidrográfica do rio Tocantins-Araguaia, que são 22560000 - Chácara Alecrim, 22662000 - Barra do Caracol e 22665000 - Chácara Rio Preto, apresentam formas semelhantes às estações da Região 20 (Figura 3.11). Logo, a curva de permanência adimensionalizada média pode ser utilizada para definir as vazões nas áreas de drenagem dessas estações.

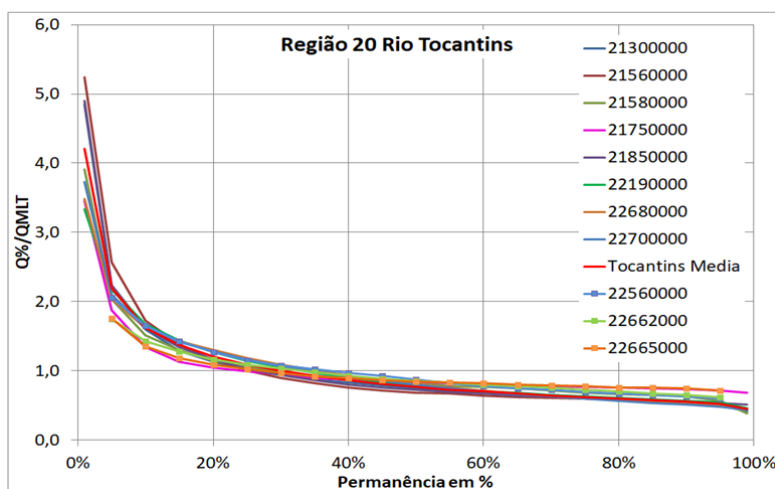


Figura 3.11 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 20 com inserção das curvas das estações da RHUrucuia na bacia do rio Tocantins
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Com relação às estações da RHUrucuia localizadas na bacia do rio Parnaíba, 34001000 – Porto Alegre e 34228000 - Barroço, as curvas de permanência apresentaram uma forma totalmente diferente das formas das regiões 21 e 22 (CPRM, 2019a), como pode ser observado na Figura 3.12. Isto ocorreu devido à área de drenagem, dessas estações, estarem inseridas quase que totalmente sobre o platô do aquífero Urucuia (94% da área de Porto Alegre e 75% de Barroço), diferente das estações 34020000 – Alto Parnaíba, onde apenas 33% da área de drenagem estão sobre o platô, e 34230000 – Contrato, situada totalmente fora do platô, ambas utilizadas para definir as regiões 21 e

22 (CPRM, 2019a). Ou seja, todas estas estações têm características geológicas diferentes, como mostra a Figura 3.13.

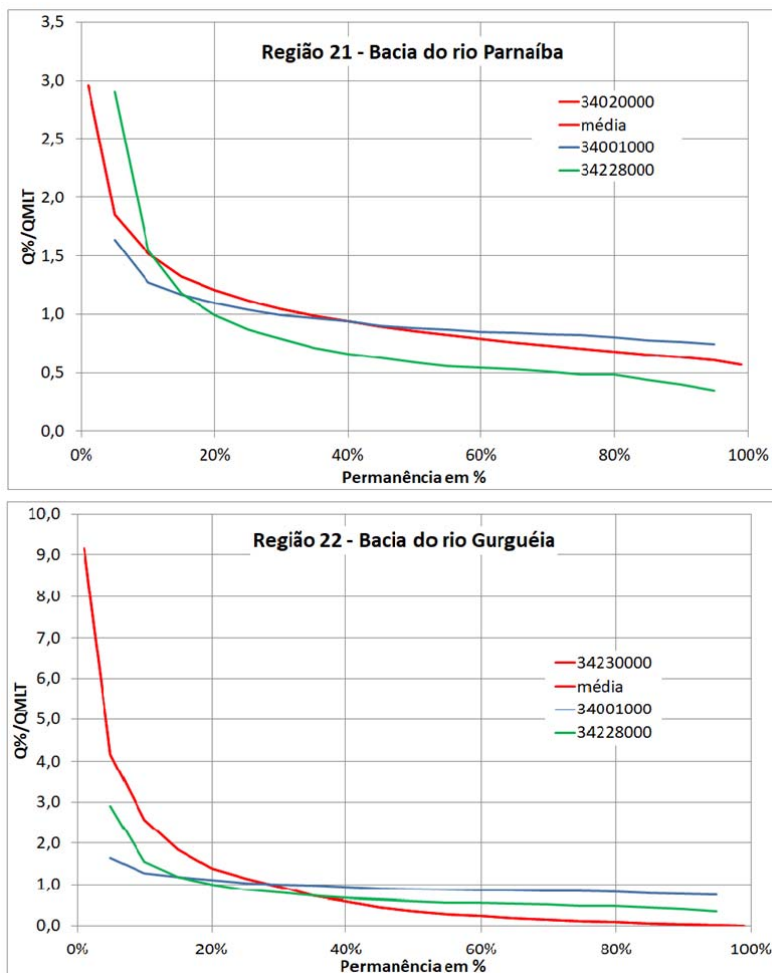


Figura 3.12 – Curvas de Permanência adimensionalizadas das Regiões 21 e 22 com inserção das curvas das estações da RHUruçuia na bacia do rio Parnaíba
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

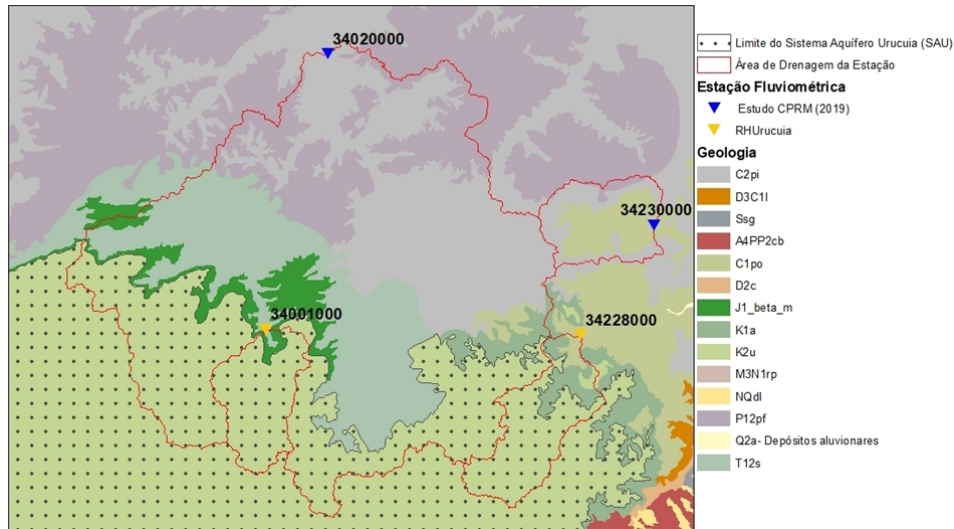


Figura 3.13 – Geologia das estações na bacia do rio Parnaíba
Fonte: Adaptado de CRPM (2004).

Para a estação 45120000 - Sumidor das Gaitas, a forma curva de permanência adimensionalizada se ajustou melhor a Região 1 da bacia do rio Carinhanha, como se pode observar na Figura 3.14. Entretanto, a estação 45125000 - Vereda Grande que fica a jusante e também no rio Carinhanha se não se ajustou a mesma Região (Figura 3.14), talvez pela localização da estação que está no início da descida do platô do Urucuia ou pode ser devido ao tamanho da série. E, por isso, a vazão neste local pode deve ser monitorada por mais tempo, para caracterizar melhor comportamento hidrológico nesta bacia.

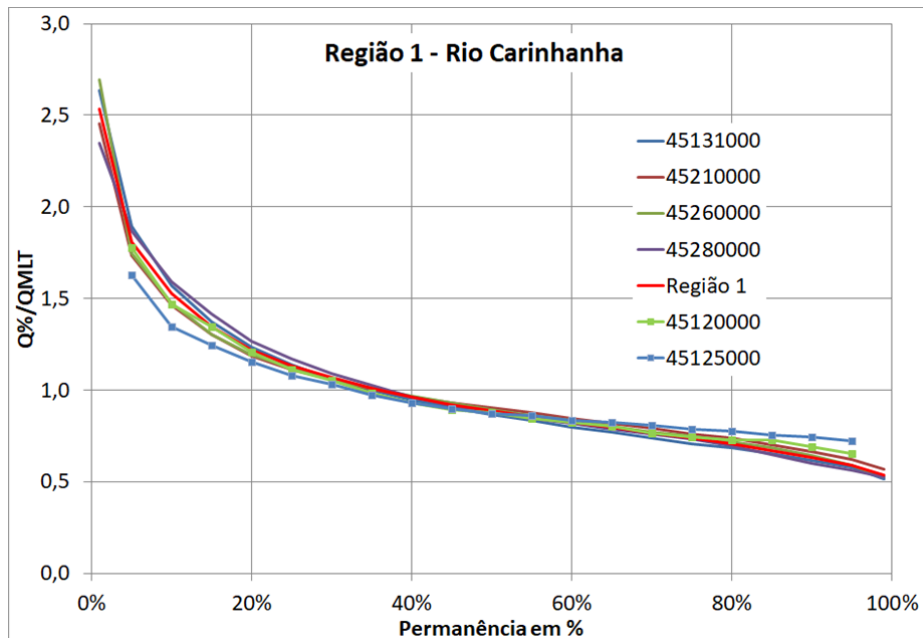


Figura 3.14 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 1 com inserção das curvas das estações 45120000 - Sumidor das Gaitas e 45125000 - Vereda Grande da RHUruçuia na bacia do rio São Francisco

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Outra estação que a curva de permanência adimensionalizada apresentou forma diferente das observadas nas estações de montante e de jusante foi à estação 45155500 - Santa Luzia, pois as estações a montante (45155000 – Fazenda Velha) e a jusante (45170000 – Fazenda Porto Alegre) estão agrupadas na Região 2. Ou seja, como pode ser observado na Figura 3.15, à parte baixa de 60 a 100% de permanência da curva de Santa Luzia apresentou um comportamento diferente. Entretanto, no inventário de dados da ANEEL, consta a Pequena Central Hidrelétrica – PCH Vereda (PCHPHBA048730-9-01), sem operação, a montante da estação de Santa Luzia e sua curva se ajustou melhor a Região 8 da Bacia do rio Pratudão, afluente do rio Formoso (sub-bacia do rio Corrente), e onde está instalada a estação 45850000 – Fazenda Nova Esperança, que fica a jusante da Central Geradora Hidrelétrica – CGH Girassol (CGHPHBA030426-3), como pode ser observado na Figura 3.16. Portanto, é preciso analisar melhor a série de dados para melhorar a caracterização do comportamento das vazões dessa estação.

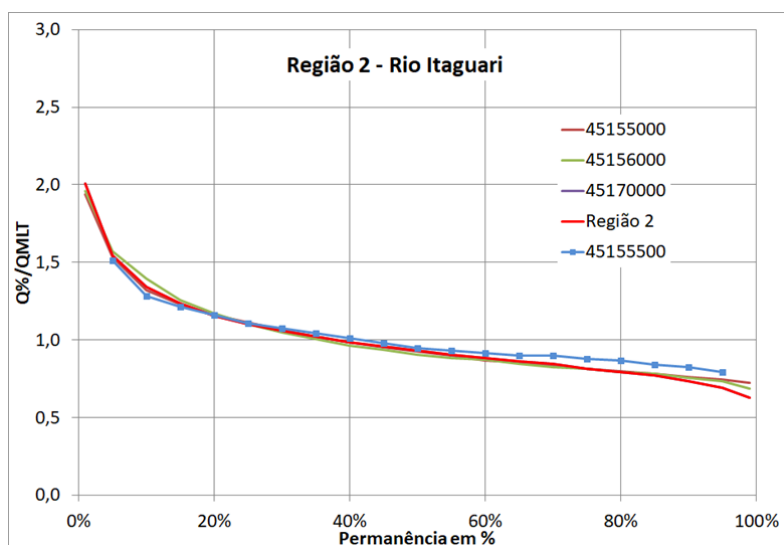


Figura 3.15 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 2 com inserção da curva da estação 45155500 - Santa Luzia da RHUruçuia na bacia do rio São Francisco

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

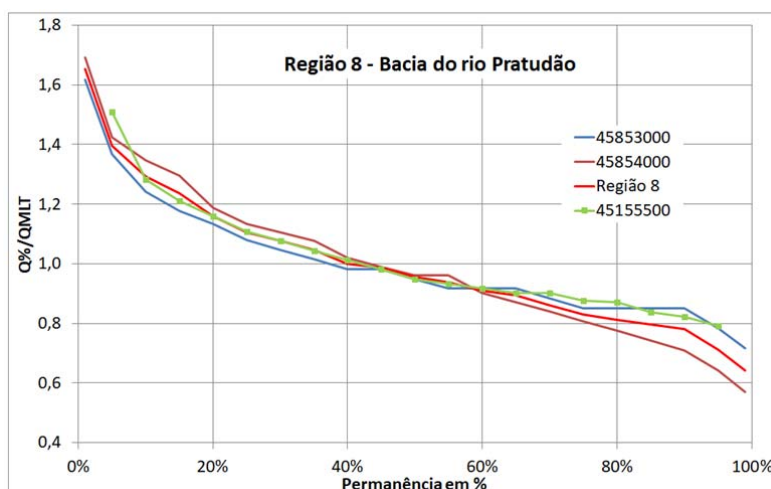


Figura 3.16 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 8 com inserção da curva da estação 45155500 - Santa Luzia da RHUrucua na bacia do rio São Francisco
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

A forma da curva de permanência adimensionalizada da estação 45765000 - Fazenda Mombim não se ajustou a nenhuma das regiões definidas no estudo de CPRM (2019). As estações de montante e de jusante, também instaladas no rio Arrojado, foram agrupadas na Região 6, mas ela não apresentou a mesma forma como é possível observar na Figura 3.17. A área tem muita influência da agricultura anual e perene, mas também é onde está localizada a maior área com floresta plantada (Figura 3.18) no platô do aquífero Urucua, de acordo as informações do projeto MapBiomias (MapBiomias, 2019).

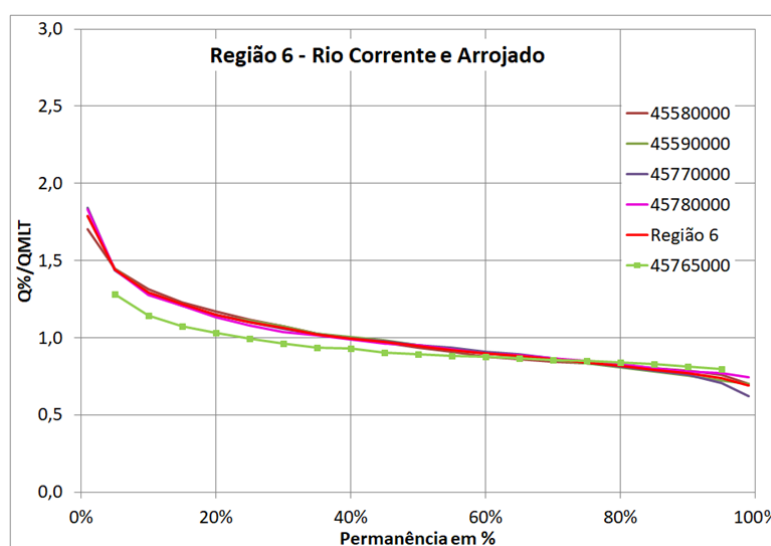


Figura 3.17 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 6 com inclusão da curva da estação 45765000 - Fazenda Mombim da RHUrucua na bacia do rio São Francisco
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

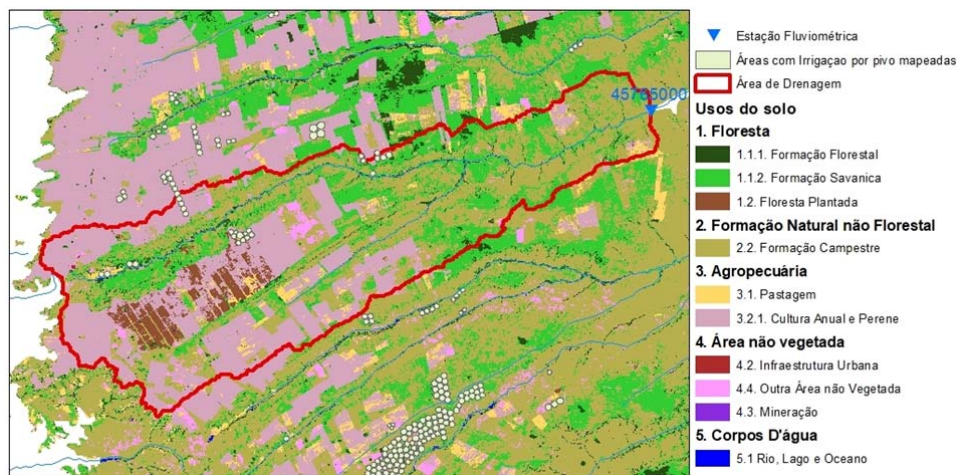


Figura 3.18 – Mapa de uso do solo na área de drenagem da estação 45765000 - Fazenda Mombim, montando a partir da informação do Projeto MapBiomias.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Para a estação 46410000 – Batalha ocorreu à mesma situação, pois a forma da curva de permanência adimensionalizada não se ajustou a nenhuma regiões definidas no estudo citado anteriormente. Ou seja, as estações instaladas na calha do rio Grande, que ficam a montante e a jusante da estação de Batalha, foram agrupadas na Região 12, mas ela não apresentou a mesma forma (figura 3.19). A área de drenagem também tem grande influência da agricultura anual e perene (MapBiomias, 2019), com uso do pivô central para a irrigação em grandes áreas bem a montante da estação (Figura 3.20), de acordo as informações do mapeamento de áreas irrigadas (ANA e EMBRAPA, 2019).

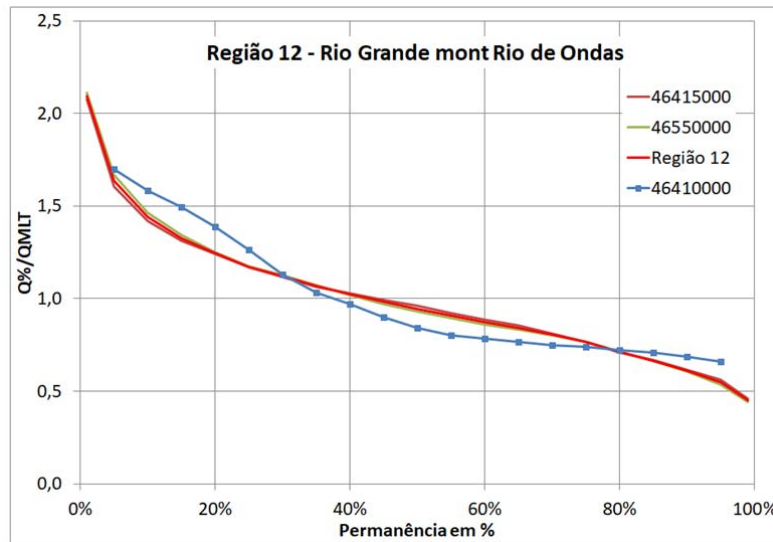


Figura 3.19 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 12 com inclusão da curva da estação 46410000 – Batalha da RHUrucuia na bacia do rio São Francisco
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

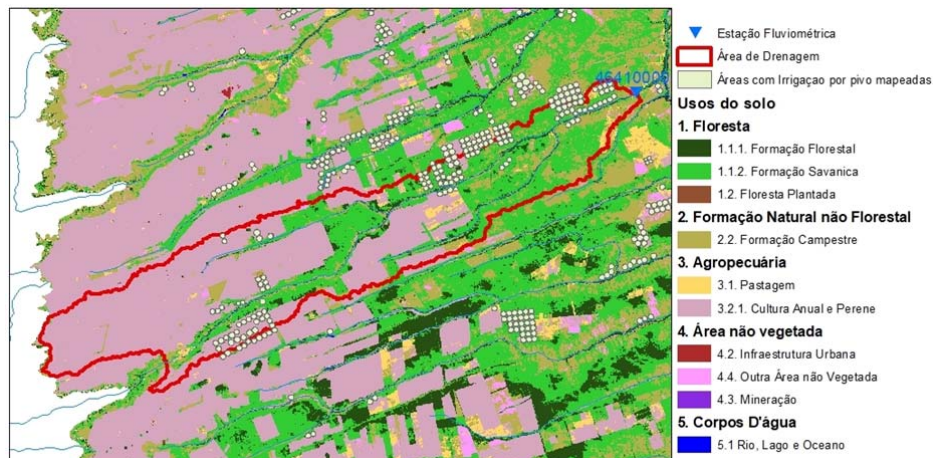


Figura 3.20 – Mapa de uso do solo na área de drenagem da estação 46410000 – Batalha.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

A forma da curva de permanência adimensionalizada da estação 46438000 - Retiro apresentou forma igual às demais curvas da Região 9, onde estão as demais estações da bacia do rio das Fêmeas, como pode ser observado na Figura 3.21.

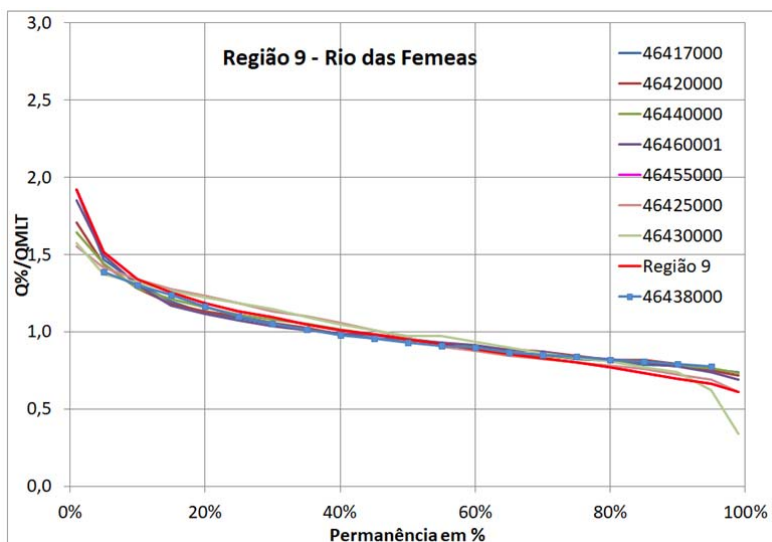


Figura 3.21 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 9 com inclusão da curva da estação 46438000 - Retiro da RHUrucuia na bacia do rio São Francisco
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Entretanto, a estação 46439000 - Ribeirão dos Bois, também instalada no afluente do rio das Fêmeas, apresentou ao longo do período monitorado vários meses com vazão igual à zero, comportamento muito diferente dos demais pontos monitorados do aquífero. Fato que gerou uma curva de permanência adimensionalizada muito diferente das demais curvas definidas (Figura 3.22).

Na área de drenagem da estação 46439000 - Ribeirão dos Bois existem dois pontos de monitoramento da rede RIMAS (CPRM, 2019b), cujos níveis freáticos são inferiores a 15 m (Figura 3.22). Vieira (2021) analisou os dados diários dos poços da RIMAS locados no aquífero Urucuia e não observou correlação da precipitação com os níveis mais rasos (inferiores a 15 m), sugerindo que esses poços indicavam uma condição de artesianismo do aquífero semiconfinado, no qual a presença de níveis silicificados em profundidade causaria atraso na infiltração e limitando a correlação entre chuva e recarga, o que poderia explicar os comportamentos hidrológicos distintos observados nas estações fluviométricas. Destaca-se ainda a existência de 12 áreas mapeadas, com uso de irrigação por pivô central, próximas a calha do rio (Figura 3.23), as quais podem também estar interferindo nas vazões.

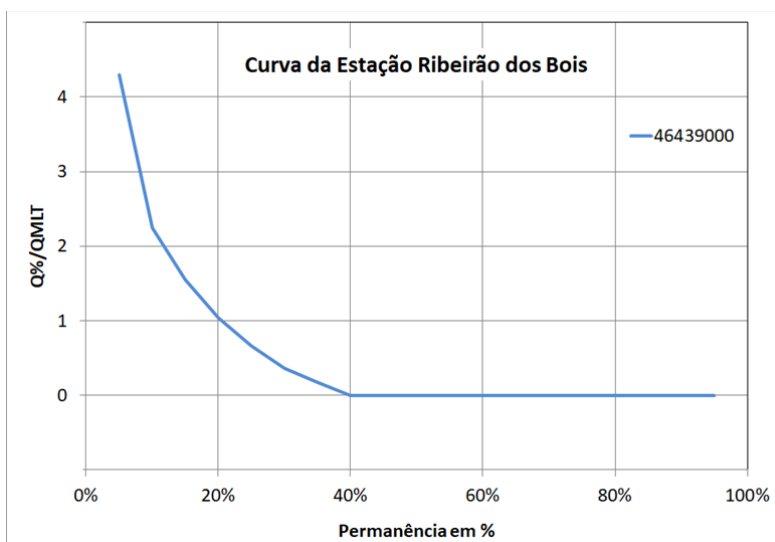


Figura 3.22 – Curvas de Permanência adimensionalizadas da curva da estação 46439000 - Ribeirão dos Bois da RHUrucuia na bacia do rio São Francisco
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

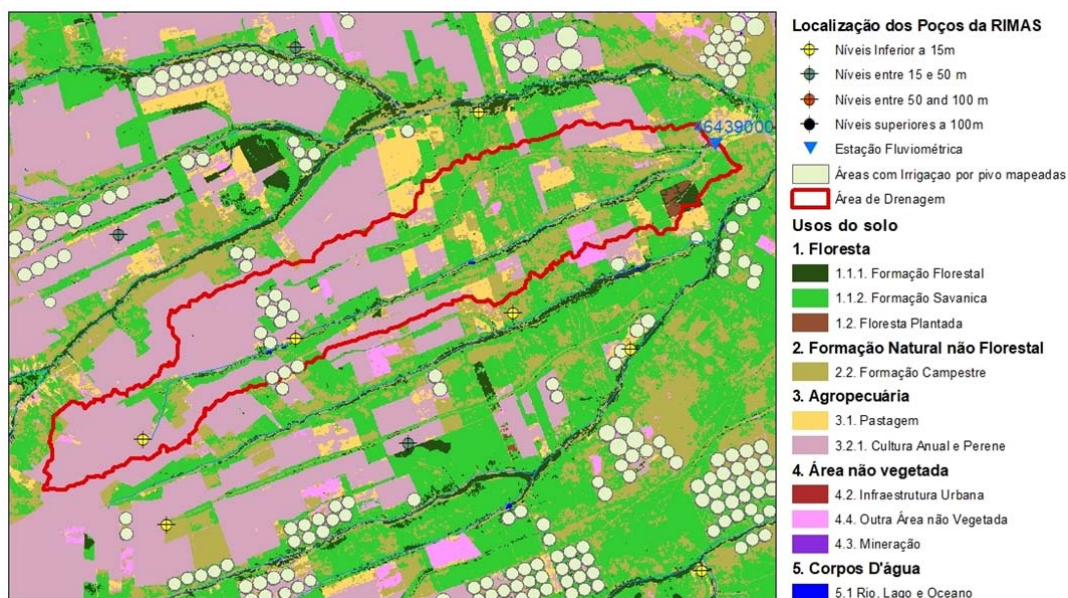


Figura 3.23 – Mapa de uso do solo na área de drenagem da 46439000 - Ribeirão dos Bois, montando com informações de vários projetos (ANA e EMBRAPA, 2019; CPRM, 2019b; MapBiomas, 2019).
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

A estação 46470000 – Canabravão está localizada a montante da estação 46490000 - Fazenda Coqueiro, que já apresentou um comportamento diferente e uma curva de permanência adimensionalizada distinta, que sozinha definiu a Região 13 - Bacia do rio São Desidério. Entretanto a curva de permanência

adimensionalizada da estação Canabravão também não apresentou forma semelhante à da Fazenda Coqueiro (Figura 3.24). Isto pode estar ocorrendo devido à localização desta sub-bacia em uma área do aquífero que é considerada um local onde não há ou é muito restrito o armazenamento de água, pois não se observa desempenho da função reguladora das vazões das drenagens superficiais (Gaspar e Campos, 2007).

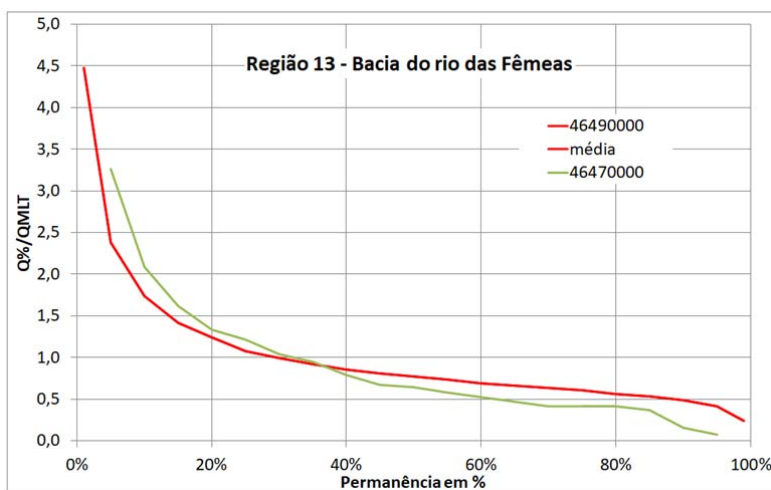


Figura 3.24 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 13 com inserção da curva da estação 46470000 – Canabravão da RHUrucuia na bacia do rio São Francisco

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Para a estação 46555800 - Nova Vista, a forma curva de permanência adimensionalizada se ajustou melhor a Região 17 da bacia do rio Branco, em consonância com a estação 46560000 que fica mais a jusante, como se pode observar na Figura 3.25.

A curva de permanência adimensionalizada da estação 46572000 - Fazenda Santa Maria também se ajustou melhor a Região 17 da bacia do rio Branco (Figura 3.25), mostrando que apesar do Rio Ponta-d'água ser um afluente do rio de Janeiro, o comportamento das vazões nesta área de drenagem é semelhante ao comportamento das vazões do Branco, antes e após a confluência com rio de Janeiro.

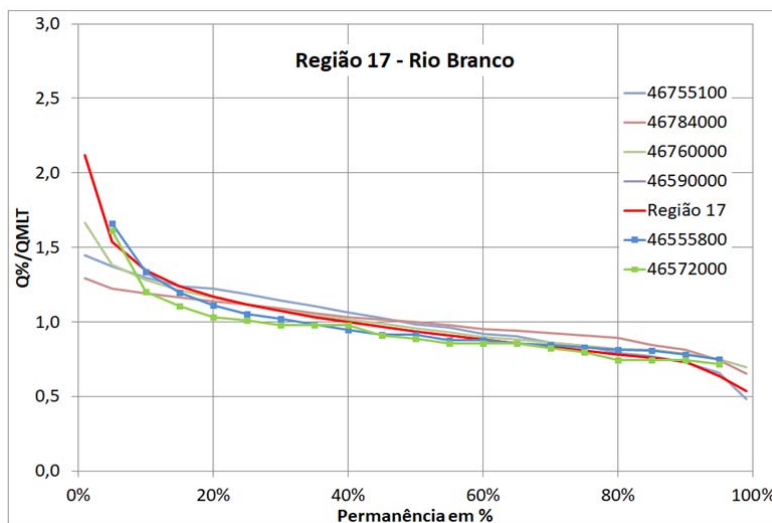


Figura 3.25 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 17 com inserção das curvas das estações 46555800 - Nova Vista e 46572000 - Fazenda Santa Maria, ambas da RHUrucuia na bacia do rio São Francisco.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Por último, analisando a estação 46780800 - Ponte Riachão, apresentou uma forma da curva de permanência adimensionalizada compatível com a Região 19, que corresponde às vazões das estações que estão na calha do rio Riacho, onde a mesma está instalada (Figura 3.26).

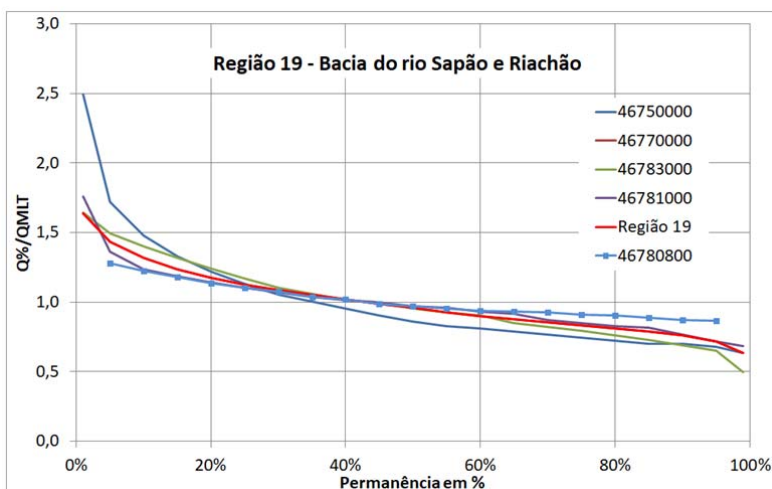


Figura 3.26 – Curvas de Permanência adimensionalizadas agrupadas na Região 19 com inserção da curva da estação 46780800 - Ponte Riachão da RHUrucuia na bacia do rio São Francisco

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

3.4.6. Separação do Escoamento Superficial do Subterrâneo

As estações fluviométricas utilizadas para o cálculo da separação do escoamento de base estão listadas na Tabela 3.10. O período de dados analisados iniciou em 2013/2014 até 2019/2020, totalizando entre 6 e 7 anos de dados de vazões para cada estação fluviométrica. As áreas de drenagem das bacias hidrográficas delimitadas a partir das estações fluviométricas variaram de 514 km² (46572000 – Fazenda Santa Maria) a 10.578 km² (22662000 – Barra do Caracol).

Tabela 3.10 – Estações fluviométricas utilizadas no cálculo do escoamento de base.

| Código | Nome | Latitude | Longitude | Área de Drenagem (km ²) | Período de Dados Fluviométricos |
|----------|---------------------|----------|-----------|-------------------------------------|---------------------------------|
| 22560000 | Chácara Alecrim | -10,1819 | -46,6675 | 2.085 | 2014/2020 |
| 22662000 | Barra do Caracol | -10,0994 | -47,0519 | 10.579 | 2014/2020 |
| 22665000 | Chácara Rio Preto | -10,5878 | -46,4136 | 1.931 | 2014/2020 |
| 34001000 | Porto Alegre | -9,8644 | -46,1006 | 825 | 2014/2020 |
| 34228000 | Barrocoão | -9,8819 | -45,2328 | 1.004 | 2014/2020 |
| 45120000 | Sumidor das Gaitas | -14,7433 | -45,1425 | 4.207 | 2014/2019 |
| 45125000 | Vereda Grande | -14,4956 | -44,8058 | 5.375 | 2014/2019 |
| 45155500 | Santa Luzia | -14,1761 | -44,7561 | 3.306 | 2014/2020 |
| 45765000 | Fazenda Mombim | -13,6328 | -45,0064 | 4.366 | 2014/2020 |
| 46410000 | Batalha | -12,7486 | -45,1353 | 2.486 | 2015/2020 |
| 46438000 | Retiro | -12,4692 | -45,2706 | 3.149 | 2014/2020 |
| 46439000 | Ribeirão dos Bois | -12,5011 | -45,2956 | 545 | 2014/2020 |
| 46470000 | Canabravão | -12,4208 | -44,8453 | 2.629 | 2014/2020 |
| 46555800 | Nova Vista | -11,7478 | -45,2300 | 1.768 | 2013/2020 |
| 46572000 | Fazenda Santa Maria | -11,9131 | -45,3572 | 514 | 2013/2020 |
| 46780800 | Ponte Riachão | -11,1133 | -45,4825 | 2.089 | 2014/2020 |

Elaborado pelo Autor (2021)

Nas Figuras 3.27 e 3.28 estão apresentadas as localizações das 16 bacias hidrográficas utilizadas neste estudo com a altimetria (MIRANDA, 2021) e hidrogeologia elaborado pelo SGB/CPRM (DINIZ *et al.*, 2014). Para análise e comparação dos resultados foram utilizados os valores de precipitação média e evapotranspiração real média na área das bacias hidrográficas, obtidos a partir dos dados de satélite CHIRPS e SSEBop, respectivamente.

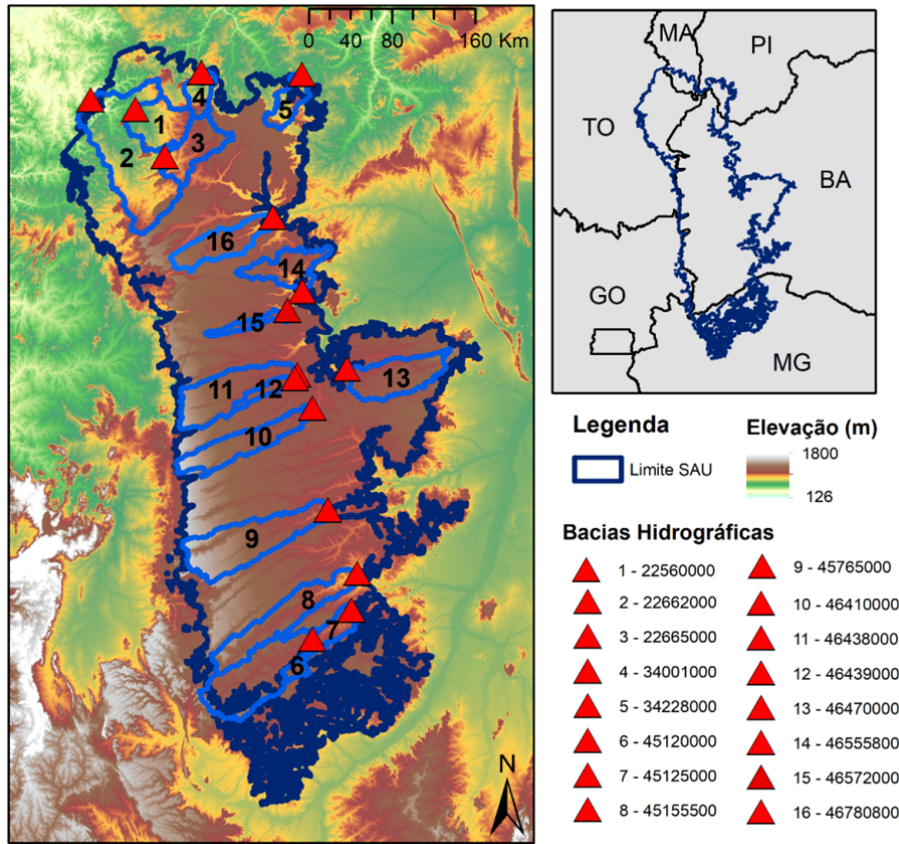


Figura 3.27 – Localização das áreas de drenagem das estações, sobre o Modelo Numérico de Elevação elaborado pela EMBRAPA (MIRANDA, 2021)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

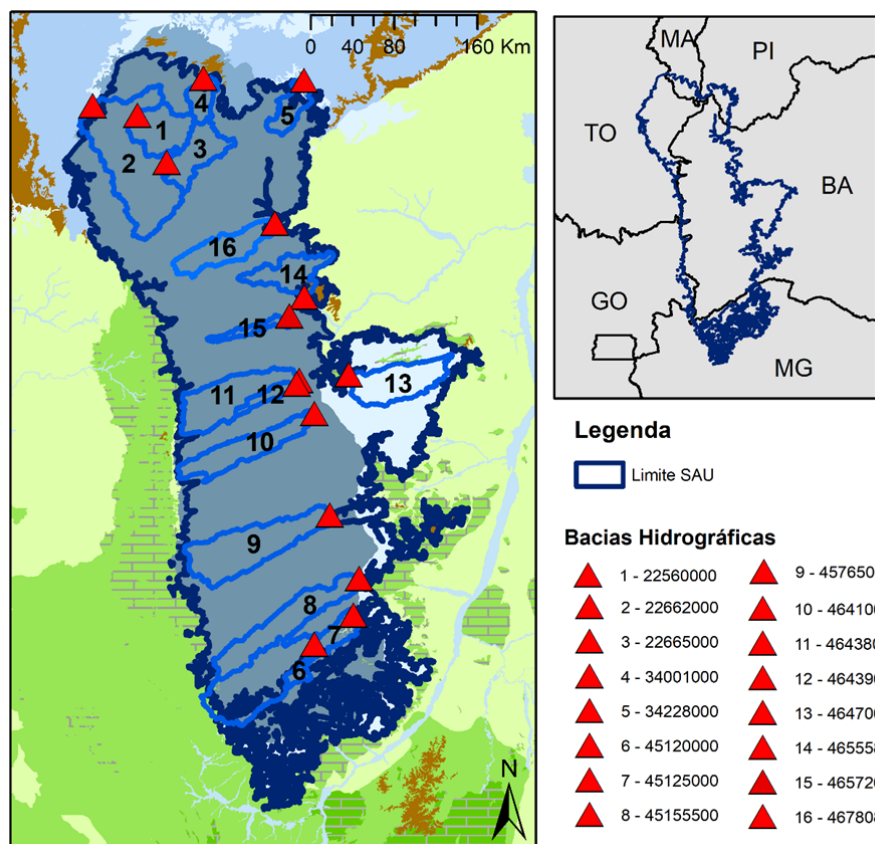


Figura 3.28 – Localização das áreas de drenagem, sobre o mapa hidrogeológico elaborado pelo SGB-CPRM (DINIZ *et al.*, 2014)
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Na Tabela 3.11 estão apresentados os parâmetros utilizados na separação de escoamento de base com filtro digital recursivo de Eckhardt.

Das 16 estações fluviométricas analisadas percebe-se que a relação das vazões Q_{90}/Q_{50} variou de 0,67 a 0,91 em 14 estações, o menor valor observado foi 0,24 na estação 46470000 – Canabravão; a estação 46439000 – Ribeirão dos Bois apresentou valores de Q_{90} e Q_{50} iguais à zero, o que não permitiu realizar a separação de escoamento.

Os valores do parâmetro BFI_{max} seguiram o mesmo comportamento das razões Q_{90}/Q_{50} , sendo observado uma variação entre 0,78 a 0,97 em 14 estações fluviométricas, e 0,42 na estação 46470000 – Canabravão; os valores observados nas 14 estações estão próximos ao valor sugerido por Eckhardt (2005), apresentados na Tabela 3.6, para condições de rios perenes em

aquíferos porosos (0,80), enquanto que o valor observado na estação 46470000 aproxima-se da condição sugerida para rios efêmeros em aquíferos porosos.

Na Figura 3.29 é apresentada a relação entre as vazões Q90/Q50 (adimensional) e a área de drenagem das bacias hidrográficas, com destaque para as estações 46470000 – Canabravão e 22662000 – Barra do Caracol, as quais apresentaram comportamentos distintos das demais.

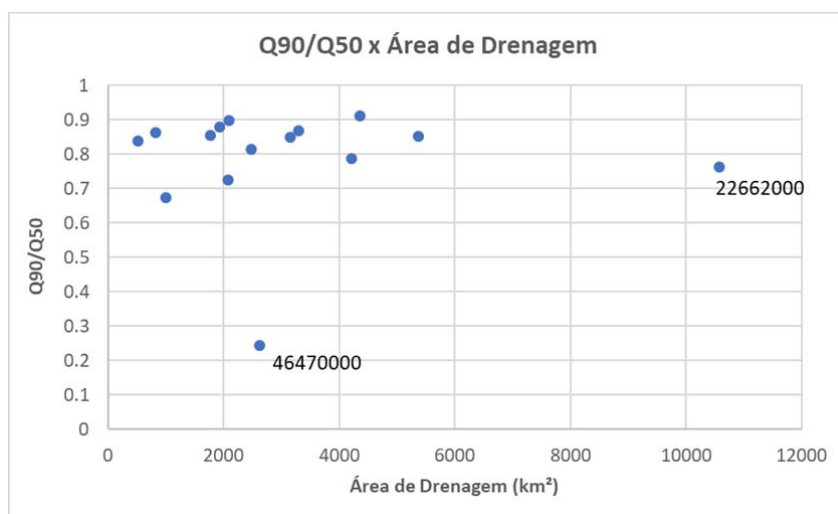


Figura 3.29 – Relação entre a razão das vazões Q90/Q50 e a área de drenagem das bacias hidrográficas

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

As relações entre a vazão de base e a vazão média de longo período (Qb/QMLT) estão apresentadas na Tabela 3.11; observa-se que as razões variaram entre 0,38 a 0,95 da vazão média de longo período, sendo os menores valores observados 0,38 (46470000 – Canabravão) e 0,48 (34228000 – Barroço), e os maiores valores observados 0,95 (46780800 – Ponte Riachão), 0,91 (45155500 – Santa Luzia) e 0,90 (45765000 – Fazenda Mombim).

Tabela 3.11 – Resultado aplicação do filtro de Eckhardt

| Código | Estação | Área de Drenagem (km ²) | Q90/Q50 | BFImax | Qb/QMLT |
|----------|---------------------|-------------------------------------|---------|--------|---------|
| 22560000 | Chácara Alecrim | 2.085 | 0,72 | 0,82 | 0,74 |
| 22662000 | Barra do Caracol | 10.579 | 0,76 | 0,85 | 0,76 |
| 22665000 | Chácara Rio Preto | 1.931 | 0,88 | 0,95 | 0,85 |
| 34001000 | Porto Alegre | 825 | 0,86 | 0,93 | 0,85 |
| 34228000 | Barrocoão | 1.004 | 0,67 | 0,78 | 0,48 |
| 45120000 | Sumidor das Gaitas | 4.207 | 0,79 | 0,87 | 0,80 |
| 45125000 | Vereda Grande | 5.375 | 0,85 | 0,93 | 0,85 |
| 45155500 | Santa Luzia | 3.306 | 0,870 | 0,94 | 0,91 |
| 45765000 | Fazenda Mombim | 4.366 | 0,91 | 0,97 | 0,90 |
| 46410000 | Batalha | 2.486 | 0,82 | 0,89 | 0,77 |
| 46438000 | Retiro | 3.149 | 0,85 | 0,92 | 0,88 |
| 46439000 | Ribeirão dos Bois | 545 | - | - | - |
| 46470000 | Canabravão | 2.629 | 0,24 | 0,42 | 0,38 |
| 46555800 | Nova Vista | 1.768 | 0,86 | 0,93 | 0,87 |
| 46572000 | Fazenda Santa Maria | 514 | 0,84 | 0,91 | 0,81 |
| 46780800 | Ponte Riachão | 2.089 | 0,90 | 0,96 | 0,95 |

Elaborado pelo Autor (2021)

Na Tabela 3.13 estão apresentados os resultados obtidos no estudo “Aquífero Urucuia: Caracterização hidrológica com base em dados secundários” (CPRM, 2019a), no qual foi realizada separação do escoamento de base utilizando séries fluviométricas e pluviométricas que compreendem o período de 1977 a 2006.

Tabela 3.13 – Resultado da Análise dos Dados Hidrológicos apresentada no estudo “Aquífero Urucuia: Caracterização hidrológica com base em dados secundários”.

| ID | CÓDIGO | NOME | Q90/Q50 | Qb/Q | Q/P | AD (km ²) |
|----|----------|----------------------|---------|------|------|-----------------------|
| 17 | 21300000 | Alvorada do Norte | 0,7 | 0,68 | 0,45 | 3.760 |
| 18 | 21560000 | Fazenda Veneza | 0,8 | 0,64 | 0,37 | 2.840 |
| 19 | 21580000 | São Vicente | 0,75 | 0,74 | 0,74 | 409 |
| 20 | 21750000 | Lavandeira | 0,88 | 0,79 | 0,52 | 1.040 |
| 21 | 22190000 | Porto Alegre | 0,73 | 0,71 | 0,49 | 1.780 |
| 22 | 22680000 | Jatobá | 0,64 | 0,7 | 0,37 | 16.900 |
| 23 | 22700000 | Novo Acordo | 0,64 | 0,69 | 0,37 | 18.000 |
| 24 | 34230000 | Contrato | 0,12 | 0,34 | 0,08 | 750 |
| 25 | 45131000 | São Gonçalo | 0,71 | 0,78 | 0,32 | 6.020 |
| 26 | 45170000 | Faz. Porto Alegre | 0,79 | 0,8 | 0,33 | 5.850 |
| 27 | 45210000 | Lagoa Das Pedras | 0,74 | 0,83 | 0,31 | 12.600 |
| 28 | 45220000 | Capitânia | 0,71 | 0,76 | 0,16 | 2.380 |
| 29 | 45260000 | Juvenília | 0,72 | 0,8 | 0,27 | 16.300 |
| 30 | 45590000 | Correntina | 0,79 | 0,89 | 0,26 | 3.900 |
| 31 | 45740000 | Mocambo | 0,69 | 0,82 | 0,16 | 8.920 |
| 32 | 45770000 | Arrojado | 0,8 | 0,89 | 0,32 | 5.540 |
| 33 | 45840000 | Gatos | 0,76 | 0,9 | 0,28 | 7.130 |
| 34 | 45910000 | Sta Maria da Vitória | 0,79 | 0,86 | 0,22 | 29.500 |

| ID | CÓDIGO | NOME | Q90/Q50 | Qb/Q | Q/P | AD (km ²) |
|----|----------|----------------------|---------|------|------|-----------------------|
| 35 | 45960001 | Porto Novo | 0,74 | 0,84 | 0,22 | 31.000 |
| 36 | 46415000 | Sítio Grande | 0,64 | 0,85 | 0,18 | 4.950 |
| 37 | 46455000 | Derocal | 0,73 | 0,87 | 0,2 | 6.350 |
| 38 | 46490000 | Fazenda Coqueiro | 0,63 | 0,7 | 0,05 | 4.470 |
| 39 | 46543000 | Faz. Redenção | 0,71 | 0,85 | 0,22 | 5.380 |
| 40 | 46550000 | Barreiras | 0,649 | 0,84 | 0,13 | 24.400 |
| 41 | 46570000 | Ponte Serafim - M | 0,54 | 0,78 | 0,13 | 2.710 |
| 42 | 46590000 | Nova Vida - M | 0,78 | 0,87 | 0,19 | 7.480 |
| 43 | 46610000 | São Sebastião | 0,71 | 0,85 | 0,16 | 33.100 |
| 44 | 46650000 | Taguã | 0,74 | 0,84 | 0,15 | 36.000 |
| 45 | 46675000 | Fazenda Macambira | 0,73 | 0,86 | 0,13 | 39.600 |
| 46 | 46770000 | Fazenda Bom Jardim | 0,79 | 0,9 | 0,17 | 6.930 |
| 47 | 46790000 | Formosa Do Rio Preto | 0,79 | 0,86 | 0,2 | 14.300 |
| 48 | 46830000 | Ibipetuba | 0,77 | 0,86 | 0,16 | 17.900 |
| 49 | 46870000 | Fazenda Porto Limpo | 0,79 | 0,83 | 0,15 | 22.000 |
| 50 | 46902000 | Boqueirão | 0,74 | 0,84 | 0,12 | 65.900 |

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021) com informações de CPRM (2019a).

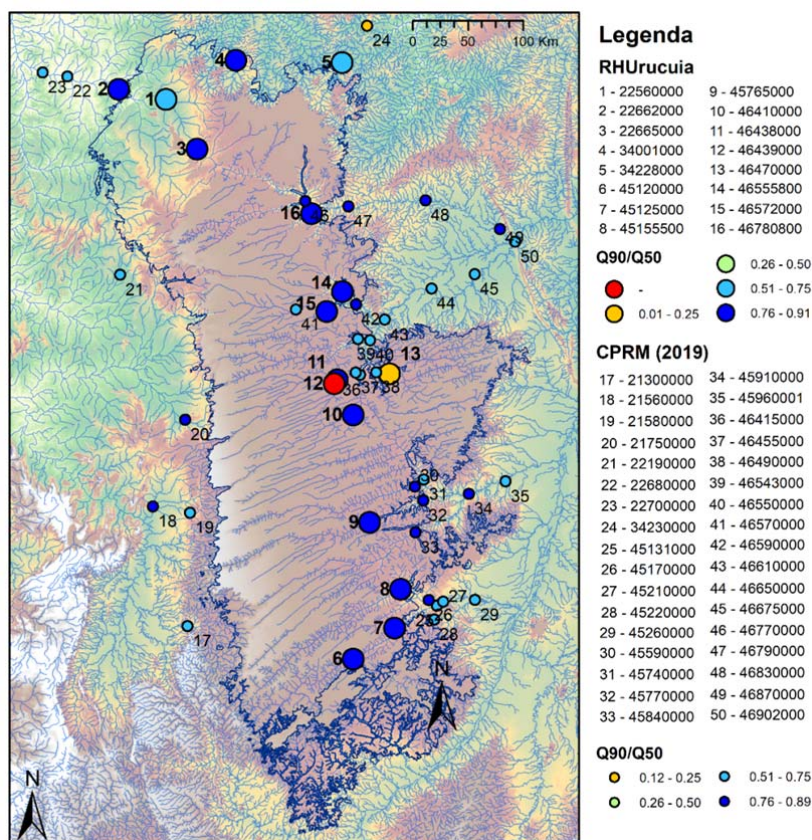


Figura 3.30 – Espacialização das razões entre Q90/Q50 para as estações da RHUruçuia e estações analisadas em CPRM (2019a).

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

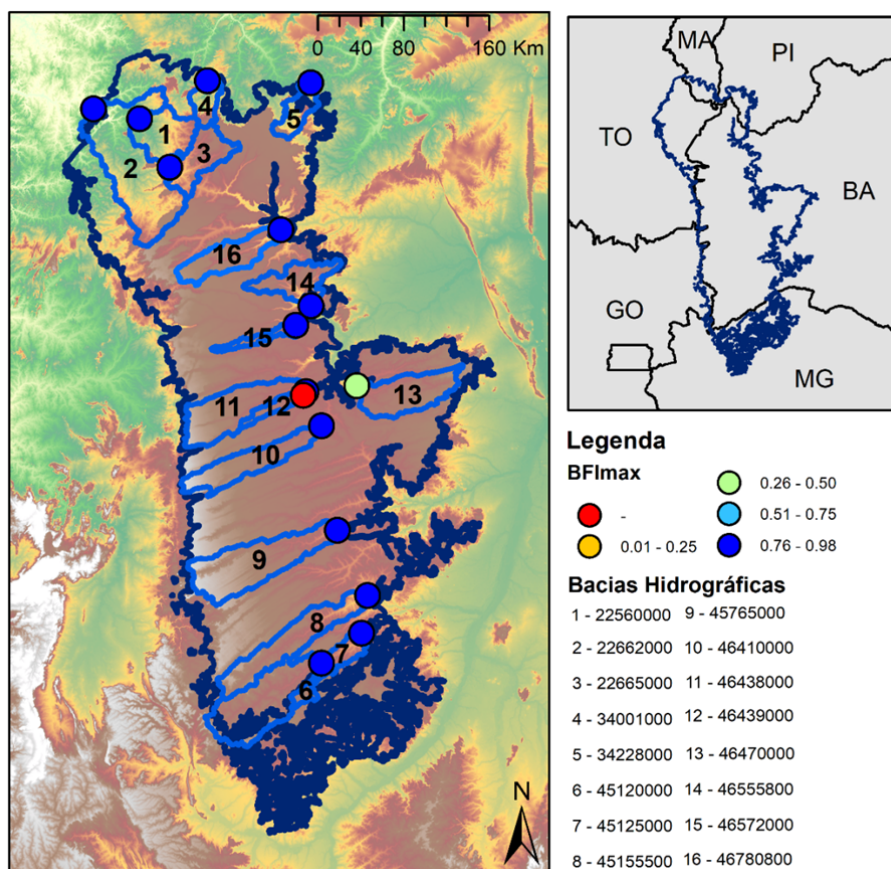


Figura 3.31 – Espacialização do parâmetro BFI_{max}.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Na tabela 3.12 e na Figura 3.32 são apresentados os resultados da análise dos dados hidrológicos vazão e vazão de base, precipitação e evapotranspiração para todas as estações fluviométricas analisadas.

Observa-se que as precipitações médias variaram de 892 mm/ano (46470000 – Canabravão) a 1.394 mm/ano (226620000 – Barra do Caracol), com valor médio das 16 bacias hidrográficas em 1.102 mm/ano.

A evapotranspiração média anual variou de 545 mm/ano (226620000 – Barra do Caracol) a 918 mm/ano (46470000 - Canabravão), com valor médio igual a 674 mm/ano. Observou-se que a relação ETR/P variou de 39% a 77%, com exceção da bacia de Canabravão, cujo valor de ETR/P foi 103%, indicando que a evapotranspiração é superior à precipitação nesta bacia.

Tabela 3.12 – Resultado da Análise dos Dados Hidrológicos (em mm/ano).

| CÓDIGO | Q | Qb | P | ETR | Qb/Q | Q/P | ETR/P |
|----------|-----|-----|-------|-----|------|-----|-------|
| 22560000 | 301 | 223 | 1.358 | 586 | 74% | 22% | 43% |
| 22662000 | 385 | 294 | 1.394 | 545 | 76% | 28% | 39% |
| 22665000 | 304 | 257 | 1.235 | 596 | 85% | 25% | 48% |
| 34001000 | 432 | 367 | 1.234 | 691 | 85% | 35% | 56% |
| 34228000 | 64 | 31 | 1.003 | 765 | 48% | 6% | 76% |
| 45120000 | 230 | 183 | 943 | 721 | 80% | 24% | 76% |
| 45125000 | 192 | 163 | 927 | 714 | 85% | 21% | 77% |
| 45155500 | 307 | 279 | 912 | 597 | 91% | 34% | 65% |
| 45765000 | 244 | 219 | 1.095 | 579 | 90% | 22% | 53% |
| 46410000 | 186 | 144 | 1.125 | 701 | 77% | 17% | 62% |
| 46438000 | 221 | 194 | 1.162 | 600 | 88% | 19% | 52% |
| 46439000 | 10 | - | 1.082 | 687 | - | 1% | 64% |
| 46470000 | 5,9 | 2,2 | 892 | 918 | 38% | 1% | 103% |
| 46555800 | 105 | 91 | 1.021 | 774 | 87% | 10% | 76% |
| 46572000 | 76 | 62 | 1.101 | 675 | 81% | 7% | 61% |
| 46780800 | 201 | 190 | 1.154 | 641 | 95% | 17% | 56% |

Elaborado pelo Autor (2021)

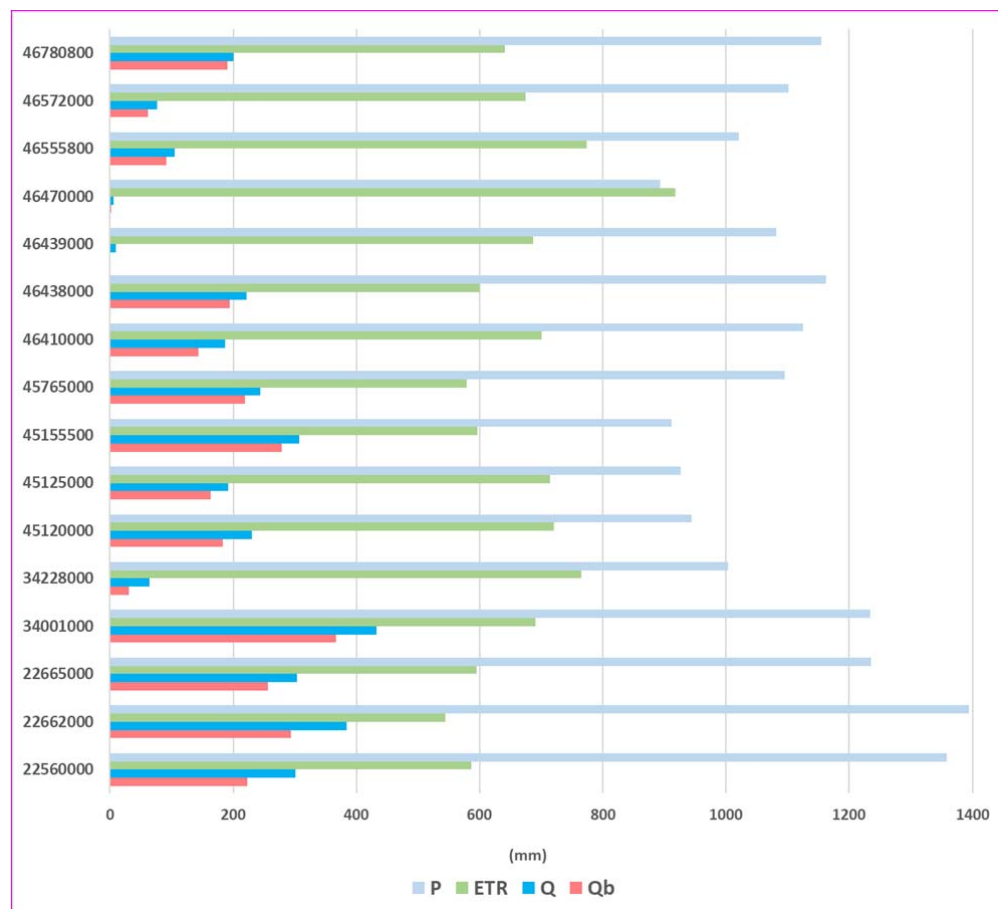


Figura 3.32 – Resultado da Análise dos Dados Hidrológicos.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

As Figuras 3.33 até 3.48 mostram graficamente os resultados da separação do escoamento, onde a vazão de base média foi definida pelo método de Eckhardt, nas estações da RHUruçuia.

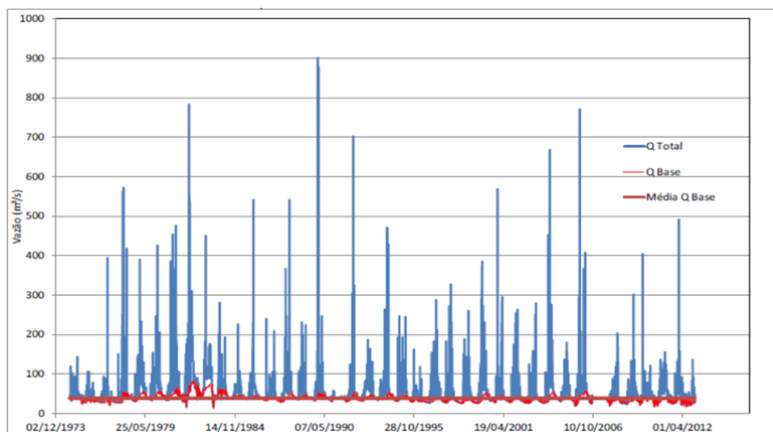


Figura 3.33 – Separação do escoamento do rio Soninho em Chácara Alecrim.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

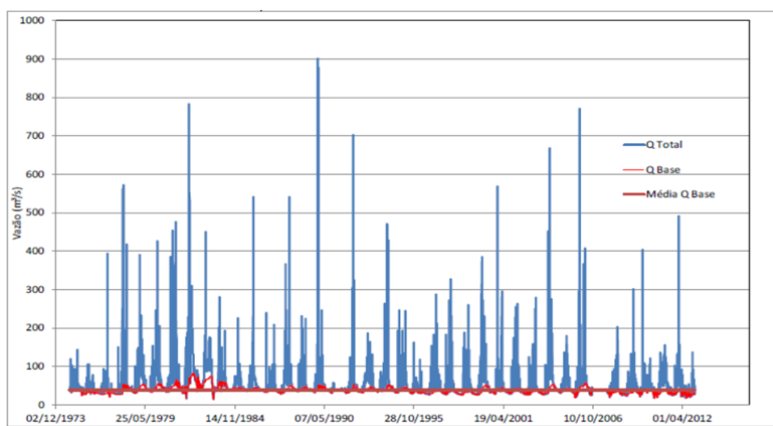


Figura 3.34 – Separação do escoamento do rio Novo em Barra do Caracol.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

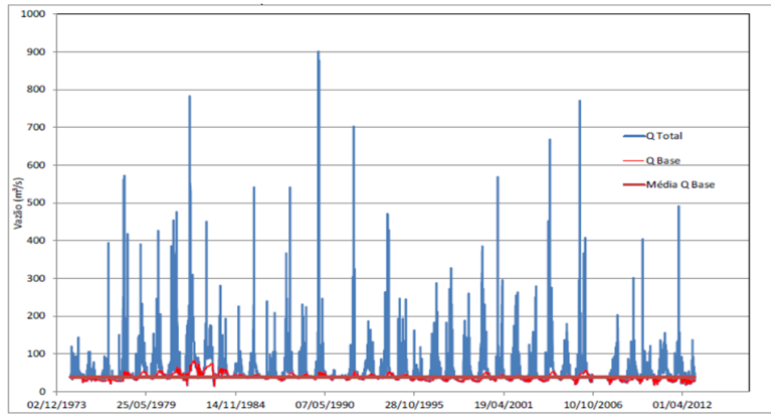


Figura 3.35 – Separação do escoamento do rio Preto em Chácara Rio Preto.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

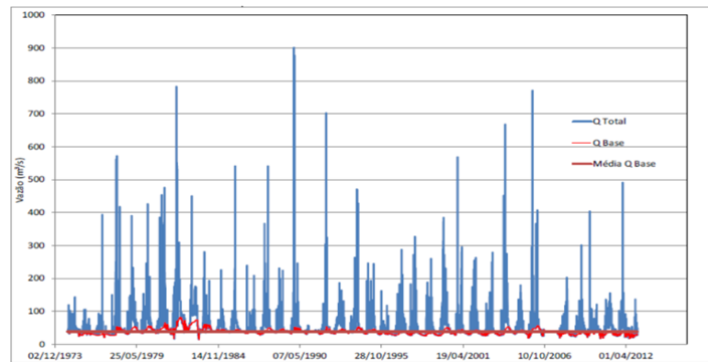


Figura 3.36 – Separação do escoamento do rio Paraibinha em Porto Alegre.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

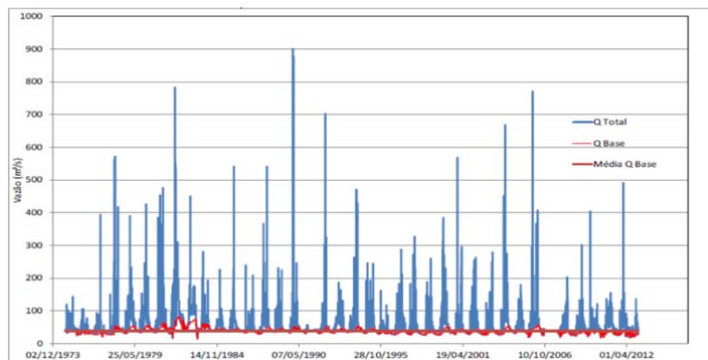


Figura 3.37 – Separação do escoamento do rio Gurgueia em Barroão.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

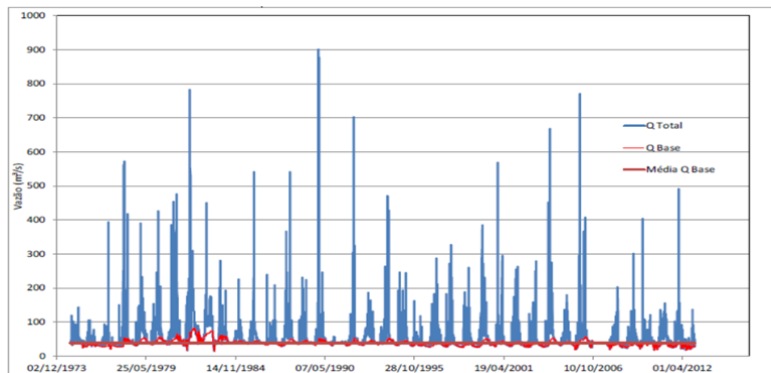


Figura 3.38 – Separação do escoamento do rio Carinhonha em Sumidor das Gaitas.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

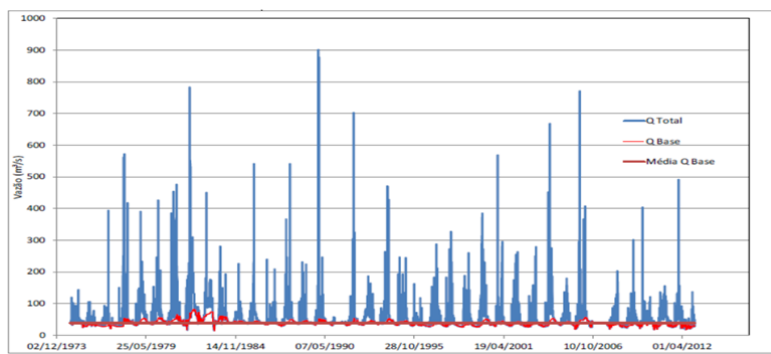


Figura 3.39 – Separação do escoamento do rio Carinhonha em Vereda Grande.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

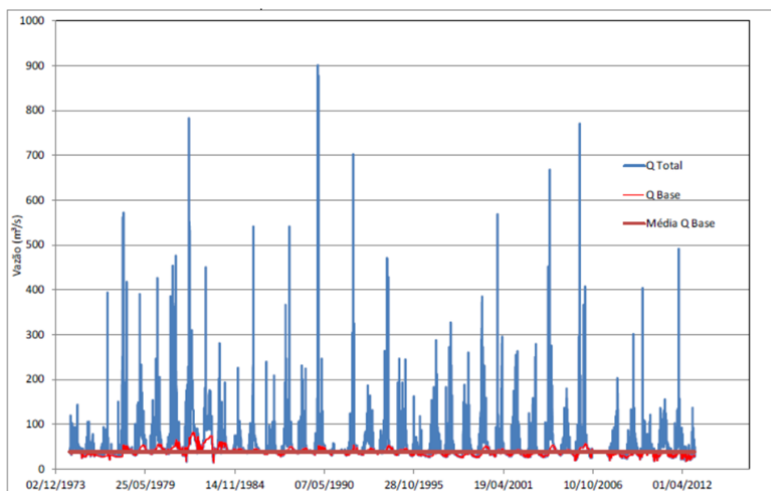


Figura 3.40 – Separação do escoamento do rio Itaquari em Santa Luzia.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

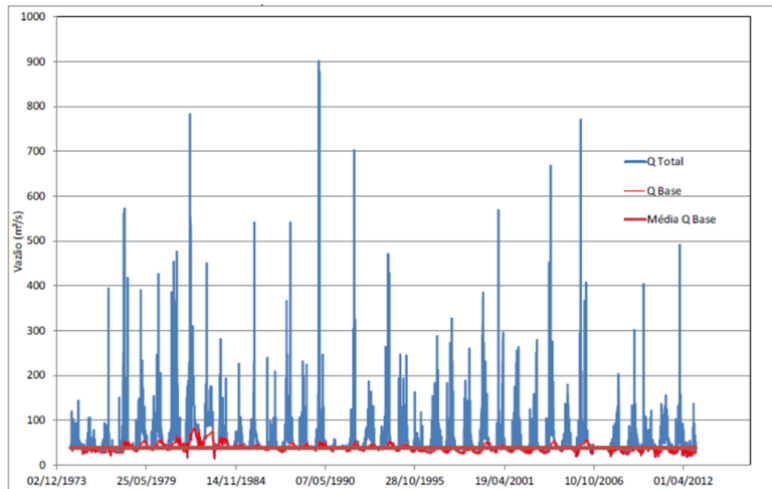


Figura 3.41 – Separação do escoamento do rio Arrojado em Fazenda Mombim.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

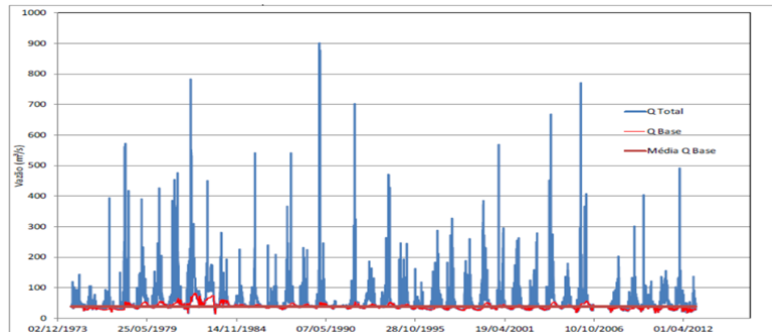


Figura 3.42 – Separação do escoamento do rio Grande em Batalha.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

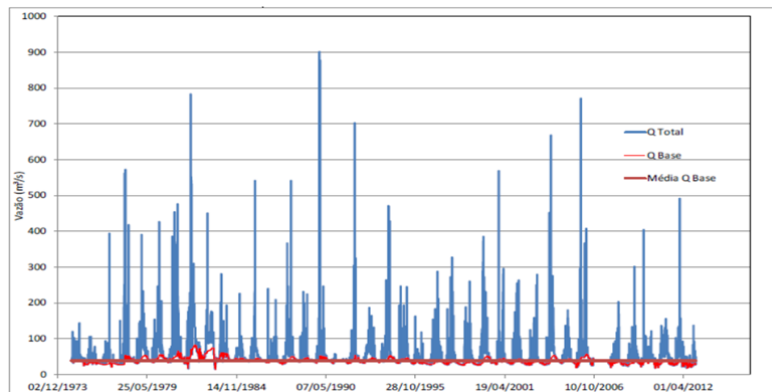


Figura 3.43 – Separação do escoamento do rio Rio das Fêmeas em Retiro.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

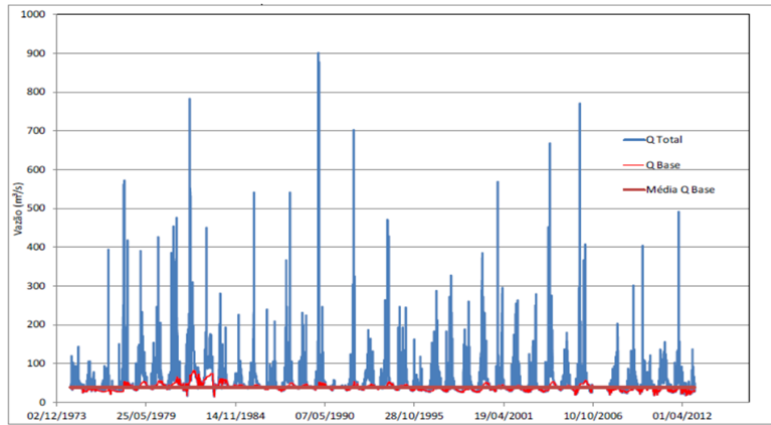


Figura 3.44 – Separação do escoamento do rio Riacho dos Bois em Ribeirão dos Bois.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

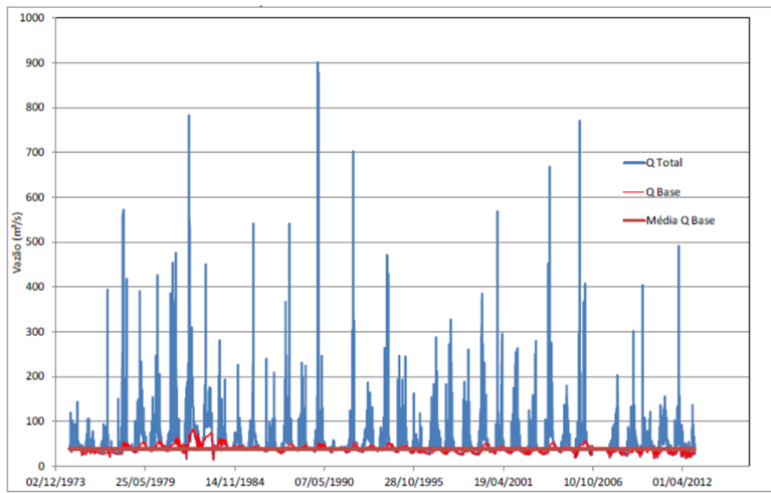


Figura 3.45 – Separação do escoamento do rio Do Nado em Canabravão.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

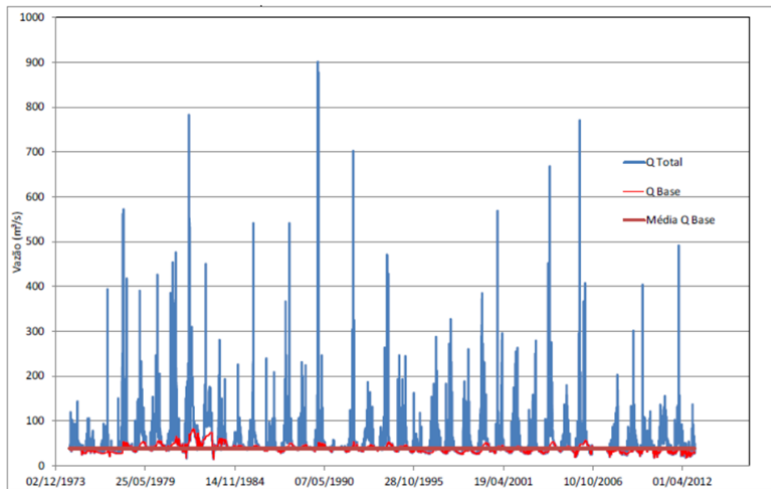


Figura 3.46 – Separação do escoamento do rio Bom Jesus em Nova Vista.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

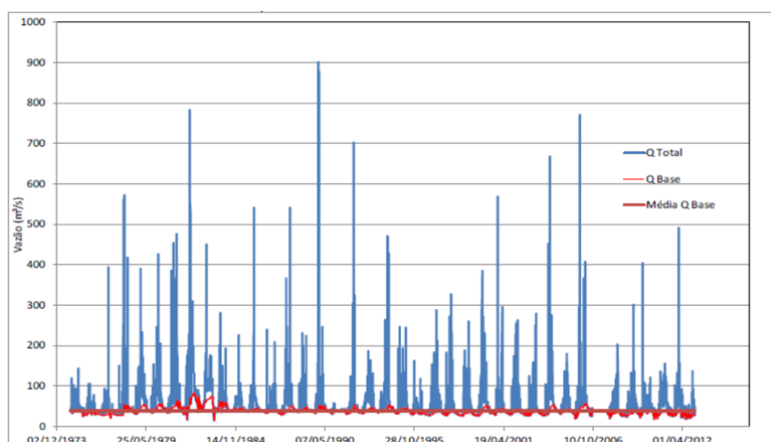


Figura 3.47 – Separação do escoamento do rio Ponta d'água em Faz. Santa Maria.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

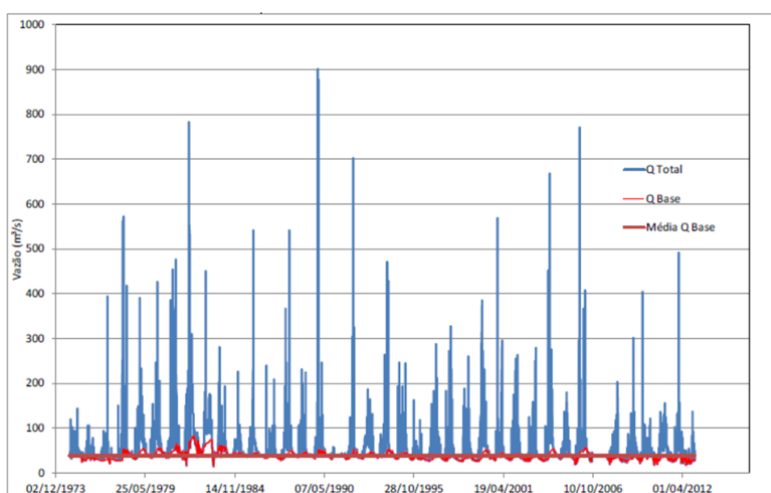


Figura 3.48 – Separação do escoamento do rio Riachão em Ponte Riachão.
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

No Anexo XII estão são apresentados os gráficos de precipitação, evapotranspiração real, vazão e vazão de base das 16 estações fluviométricas da rede Hidrometeorológica do Aquífero Urucuia – RHUrucuia, bem como a localização de suas respectivas áreas de contribuição.

Na Figura 3.49 é apresentada a relação entre as vazões médias de longo tempo (QMLT, em m^3/s) e as áreas de drenagem das bacias hidrográficas; destaca-se a estação 46470000 – Canabravão que possui uma área de drenagem de 2.629 km^2 e QMLT igual a 0,49 m^3/s , apresentando um comportamento diferente das bacias com área de drenagem na mesma ordem de grandeza, como a estação 46410000 – Batalha.

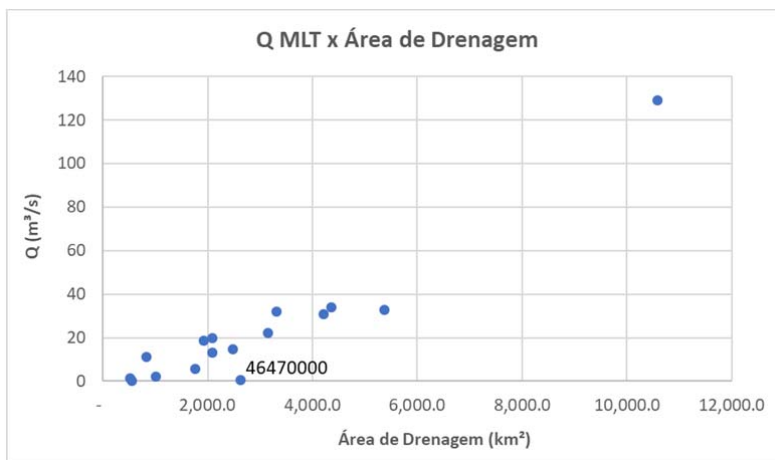


Figura 3.49 – Relação entre a vazão média de longo tempo (QMLT) e a área de drenagem das bacias hidrográficas

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Na Figura 3.50 está apresentada a espacialização das razões entre a vazão de base e a vazão média de longo tempo, para as estações da RHUrucua e estações analisadas em CPRM (2019a). A maior parte das estações apresentou razões superiores a 0,75. Valores da razão Q_b/Q na faixa de 0,26 a 0,50 foram observados nas estações 34228000 Barrocão e 34230000 Contrato, as quais drenam para o rio Parnaíba, e também na estação 46470000 – Canabravão, que pertence à bacia do Rio Grande, a qual drena para a região do médio rio São Francisco. Se consideramos apenas as estações da RHUrucua, a relação entre as vazões e vazões de base variou de 38% Q_b/Q a 95% Q_b/Q , com valor médio de 79% Q_b/Q ; destaca-se a bacia 46780800 – Chácara Alecrim com a maior razão entre vazão de base e vazão média, igual a 95%, e a estação 46470000 – Canabravão com a menor razão, igual a 38%.

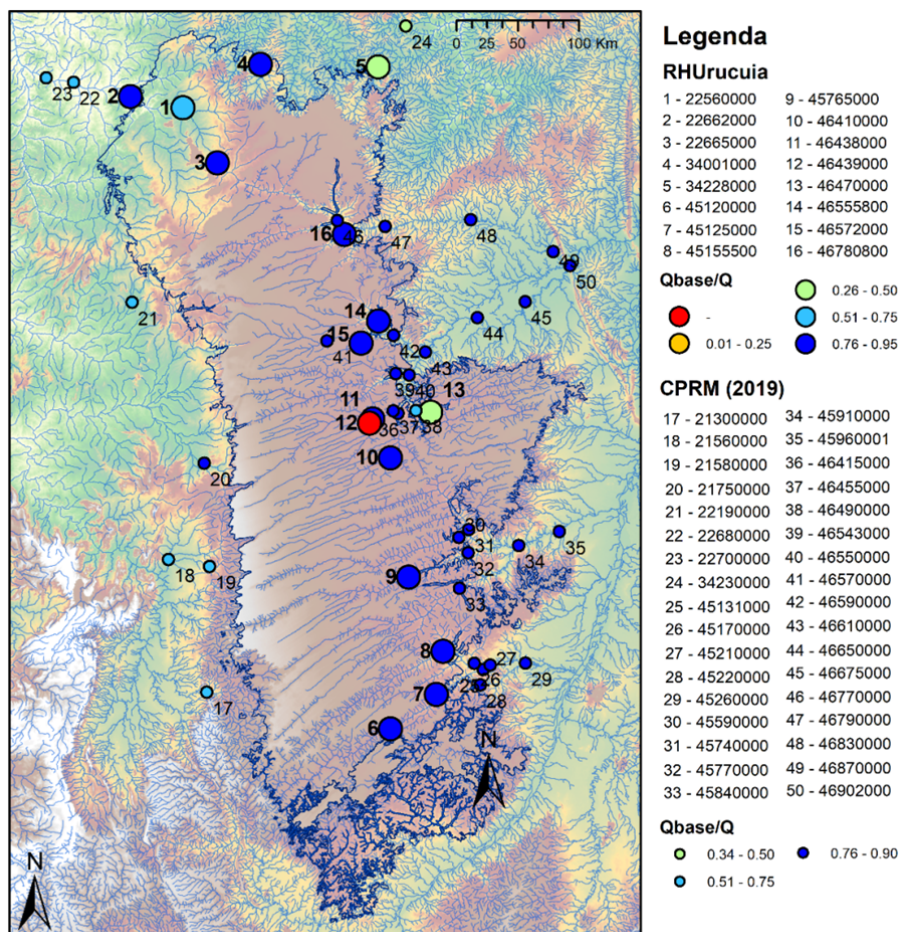


Figura 3.50 – Espacialização das razões entre vazão de base (Qb) e vazão de longo tempo (QMLT) para as estações da RHUrucuia e estações analisadas em CPRM (2019a).

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Na Figura 3.51 é apresentada a relação entre o coeficiente de escoamento, que é a razão entre vazão e precipitação, e as áreas de drenagem das bacias hidrográficas; novamente destacam-se as estações 46470000 – Canabravão e 22662000 – Barra do Caracol, as quais apresentaram comportamentos mais distintos das demais.

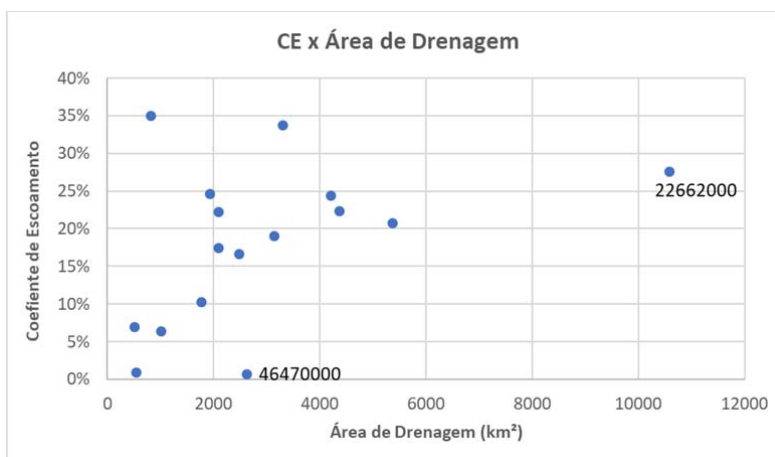


Figura 3.51 – Relação entre o coeficiente de escoamento Q/P e a área de drenagem das bacias hidrográficas
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

A espacialização dos coeficientes de escoamento (CE) está apresentada na Figura 3.52. Observa-se que as estações 21580000 São Vicente e 21750000 Lavandeira apresentaram CE superiores a 0,5, mais precisamente 0,74 e 0,52, respectivamente; estes resultados podem apontar a contribuição das descargas subterrâneas nas vazões medidas nestas estações, as quais drenam para o Rio Tocantins. Os menores valores de CE foram observados nas estações da bacia do rio Grande e da bacia do rio Parnaíba (34228000 – Barroirão e 34230000 – Contrato).

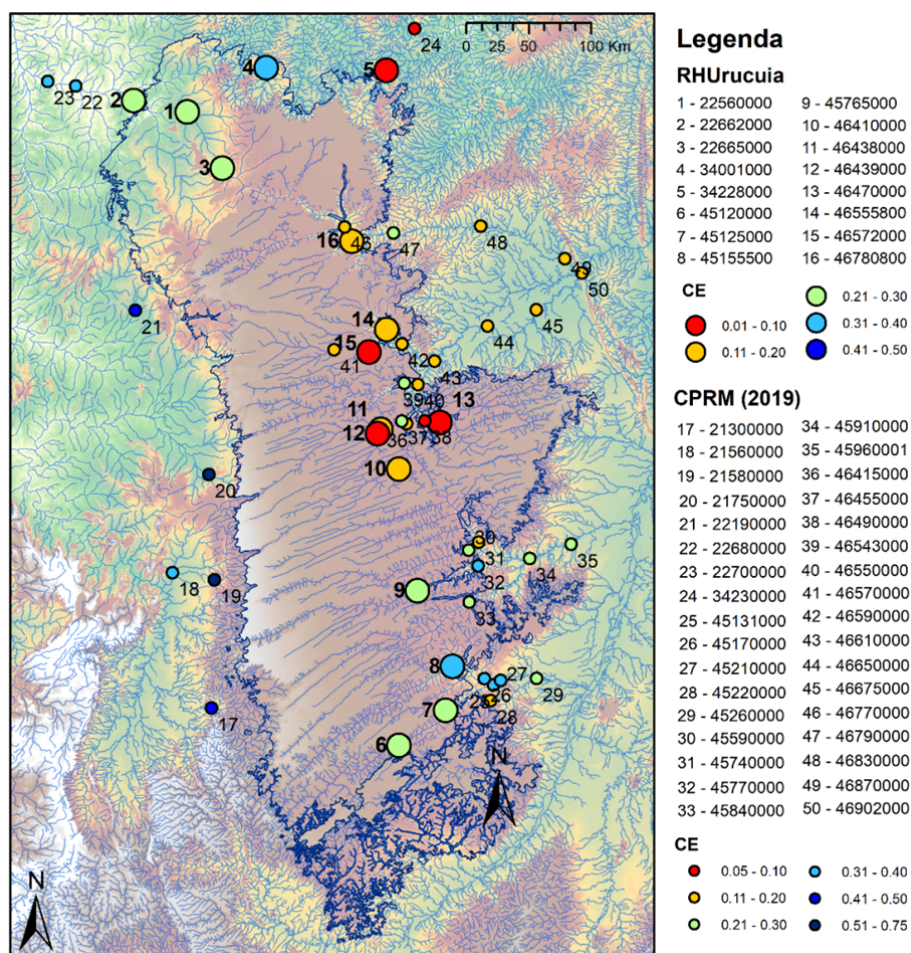


Figura 3.52 – Espacialização dos coeficientes de escoamento (CE) das estações da RHUrucua e estações analisadas em CPRM (2019a).

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Conforme foi observado na localização das bacias hidrográficas no mapa hidrogeológico (Figura 3.28), a estação 46470000 – Canabravão (nº 13 no mapa) está situada em uma porção de menor produtividade do sistema aquífero Urucua, o que pode explicar o comportamento distinto das variáveis hidrológicas nesta estação. Já na Figura 3.27, na qual foi apresentada a localização das bacias com a altimetria, percebe-se que a estação 22662000 – Barra do Caracol (nº 2 no mapa) está situada em uma seção de variação de altimetria, o que pode explicar o comportamento distinto nesta estação.

No total das 50 estações analisadas conjuntamente neste relatório, que compreende a RHUrucua e o estudo CPRM (2019a), 22 estações drenam para a bacia do Rio São Francisco a partir da sub-bacia do rio Grande. Estas estações

apresentaram razões Q_b/Q acima de 0,75, com exceção da estação 46470000 – Canabravão e 46490000 – Fazenda Coqueiro, cujas razões foram 0,37 e 0,70, respectivamente. As razões Q_{90}/Q_{50} observadas foram superiores a 0,5 em todas as estações, com exceção da estação 46470000 – Canabravão, cujo valor observado foi 0,25. Regionalmente, os Coeficientes de Escoamento observados nas estações da bacia do rio Grande foram, em geral, inferiores aos observados nas demais estações analisadas, variando de 0,01 a 0,2, com apenas 3 estações atingindo CEs até 0,3, são elas 46415000 – Sítio Grande, 46543000 – Fazenda Redenção e 46790000 – Formosa do Rio Preto.

O comportamento hidrológicamente distinto observado na estação 46470000 – Canabravão pode ser devido à produtividade do Aquífero Urucuia ser inferior nesta porção do que no restante do Sistema Aquífero, conforme apresentado anteriormente no mapa hidrogeológico; entretanto, destaca-se que a série histórica disponível nesta estação ainda é curta, de apenas 6 anos, e mais análises são necessárias para confirmar este comportamento.

Conforme observado anteriormente, não foi possível calcular a razão Q_{90}/Q_{50} e a vazão da base da estação 46439000 – Ribeirão dos Bois.

As estações que drenam para a bacia do Rio São Francisco a partir da sub-bacia do rio Corrente (45765000 – Fazenda Mombim, 45590000 – Correntina, 45740000 – Mocambo, 45770000 – Arrojado, 45840000 – Gatos, 45910000 – Santa Maria da Vitória, 45960001 – Porto Novo) apresentaram comportamento semelhante entre si. As razões entre vazão e vazão de base foram superiores a 0,75 em todas estações; as razões Q_{90}/Q_{50} foram superiores a 0,75 em todas estações com exceção de 45740000 – Mocambo e 45960001 – Porto Novo, nas quais observou-se a razão de 0,69 e 0,74 respectivamente. Os coeficientes de escoamento variaram entre 0,21 e 0,30 na maior parte das estações, com exceção de 45740000 – Mocambo, na qual o CE foi 0,16, e em 45770000 – Arrojado, cujo CE foi 0,32.

As estações que drenam para a bacia do Rio São Francisco a partir da sub-bacia do rio Carinhanha (45131000 – São Gonçalo, 45170000 – Fazenda Porto Alegre, 45210000 – Lagoa das Pedras, 45220000 – Capitânea, 45260000 – Juvenília, 45120000 – Sumidor das Gaitas, 45125000 – Vereda Grande, 45155500 – Santa Luzia) apresentaram comportamento semelhante com relação as razões Q_{90}/Q_{50} , as quais variaram de 0,71 a 0,87, e nas razões Q_b/Q ,

as quais foram entre 0,76 a 0,91. Os CE variaram entre 0,21 a 0,34, com exceção da estação Capitânea, no rio Coxá, na qual o CE observado foi de 0,16. Estes resultados estão em conformidade com os apontamentos de CPRM (2019). As estações Sumidor das Gaitas e Vereda Grande, pertencentes a RHUrucua e ambas no rio Carinhanha, apresentaram valores de CE ligeiramente inferiores às demais, 0,21 e 0,24 respectivamente.

As estações que drenam para a bacia do Rio Tocantins na sub-bacia do rio Paranã (21300000 – Alvorada do Norte, 21560000 – Fazenda Veneza, 21580000 São Vicente, 21750000 – Lavandeira) e no rio Manuel Alves (22190000 – Porto Alegre, 22680000 – Jatobá, 2270000 – Novo Acordo, e da RHUrucua: 22560000 – Chácara Alecrim, 22662000 – Barra do Caracol, e 22665000 – Chácara do Rio Preto) apresentaram comportamentos semelhantes entre si nas razões Q90/Q50, as quais variaram entre 0,64 e 0,88, e nas razões Qbase/Q entre 0,64 e 0,84. Entretanto, houve maior divergência nos coeficientes de escoamento, os quais foram acima de 0,50 nas estações São Vicente e Lavandeira, o que pode ocorrer devido às descargas do SAU profundo em direção à bacia do rio Tocantins, elevando as vazões observadas e, por consequência, elevando o CE. Por outro lado, nas estações Chácara Alecrim, Barra do Caracol, Chácara do Rio Preto, os CE foram inferiores a 0,30.

As estações 34228000 – Barroco (RHUrucua) e 34230000 – Contrato, as quais drenam para a bacia do Rio Parnaíba, apresentaram comportamento semelhante entre si quanto às variáveis analisadas, porém comportamento distinto em relação às demais estações. Ambas estações estão fora do limite do Sistema Aquífero Urucua, o que pode explicar o comportamento hidrológicamente distinto observado, conforme destacado no estudo anterior (CPRM, 2019a).

Em geral foram observadas conformidades entre os resultados do estudo de CPRM (2019a) e as análises das séries temporais da RHUrucua, principalmente com relação às relações entre vazão de base e vazão de longo termo, e das razões entre as vazões Q90 e Q50, com algumas exceções. As maiores diferenças foram observadas em termos do coeficiente de escoamento, que representa a razão entre vazão e precipitação; estas divergências podem ocorrer pelos seguintes fatores, os quais devem ser analisados em estudos futuros: diferenças entre os períodos analisados (a RHUrucua possui séries mais curtas e recentes em relação às que foram utilizadas em CPRM (2019a);

diferenças entre a fonte dos dados de precipitação; características particulares das estações, como usos e retiradas superficiais/subterrâneas, entre outros.

3.4.7. Análise do Balanço Hídrico Simplificado

Com base nos dados de precipitação do projeto CHIRPS (Funk et al., 2015), os dados de evapotranspiração real do modelo SSEBop (Savoca et al., 2013), para o período de 2014 a 2020, e dados fluviométricos consistidos das estações convencionais da RHUrucuia, foram calculados o deflúvio médio anual por estação fluviométrica, a precipitação média anual por área de drenagem e a evapotranspiração anual por área de drenagem.

A partir desses resultados foi calculada uma estimativa simplificada da variação de armazenamento do sistema hidroclimatológico para cada área de drenagem das estações fluviométricas através das respectivas áreas de drenagem; assume-se que o deflúvio compreende escoamento superficial e escoamento de base, e não estão sendo considerados volumes que estejam sendo recarregados e/ou extraídos dos rios e aquífero. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.14.

Tabela 3.14 – Deflúvio, precipitação, evapotranspiração e variação de armazenamento média anual por estação fluviométrica.

| Código | Período | Precipitação | Deflúvio Anual | ETR | Varição De Armazenamento |
|----------|-----------|--------------|----------------|-----|--------------------------|
| 22560000 | 2014/2020 | 1358 | 301 | 586 | 471 |
| 22662000 | 2014/2020 | 1394 | 385 | 545 | 465 |
| 22665000 | 2014/2020 | 1235 | 304 | 596 | 336 |
| 34001000 | 2014/2020 | 1234 | 432 | 691 | 112 |
| 34228000 | 2014/2020 | 1003 | 64 | 765 | 175 |
| 45120000 | 2014/2019 | 943 | 230 | 721 | -7 |
| 45125000 | 2014/2019 | 927 | 192 | 714 | 21 |
| 45155500 | 2014/2020 | 912 | 307 | 597 | 8 |
| 45765000 | 2014/2020 | 1095 | 244 | 579 | 272 |
| 46410000 | 2015/2020 | 1125 | 186 | 701 | 237 |
| 46438000 | 2014/2020 | 1162 | 221 | 600 | 340 |
| 46439000 | 2014/2020 | 1082 | 10 | 687 | 384 |
| 46470000 | 2014/2020 | 892 | 6 | 918 | -32 |
| 46555800 | 2013/2020 | 1021 | 105 | 774 | 142 |
| 46572000 | 2013/2020 | 1101 | 76 | 675 | 350 |
| 46780800 | 2014/2020 | 1154 | 201 | 641 | 313 |

A partir dos resultados foi possível definir áreas com indicação de variações baixas ou negativas no armazenamento subterrâneo, como as estações 45120000 – Sumidor das Gaitas, 45125000 – Vereda Grande, 45155500 – Santa Luzia, e 46470000 – Canabravão. Entretanto, destaca-se que é necessário um estudo mais aprofundado sobre a relação entre as variáveis hidrológicas e hidrogeológicas para o cálculo de um balanço hídrico integrado.

3.5. CONCLUSÕES

A análise de dados hidrológicos permite aprofundar o conhecimento acerca do comportamento das interações entre as águas superficiais e subterrâneas, que é essencial para o gerenciamento integrado dos recursos hídricos. Neste estudo foram analisados dados hidrometeorológicos de estações situadas na região do Sistema Aquífero Urucuia, o qual já tem reconhecida importância regional tanto para diversos usos, como irrigação, quanto para a manutenção de cursos d'água.

Os dados de vazão e precipitação foram obtidos através do monitoramento das estações da Rede de Hidrometeorológica do Aquífero Urucuia – RHUrucuia, a qual é mantida e operada pelo SGB-CPRM. A RHUrucuia começou a ser implementada em 2013, e consiste em 12 estações climatológicas, 17 pluviométricas e 16 fluviométricas, tendo as séries históricas em torno de 6 a 7 anos de dados.

Sobre os **dados climatológicos**, faz-se necessário aprofundar análise, a partir de uma série mais longa, para correlacionar com dados de outras entidades. Mas, de forma sucinta, foi possível observar que, no período monitorado (2014 a 2019), as faixas de valores médios mensais encontradas nas estações climatológicas foram:

- Pressão atmosférica – entre 910 a 970 hPa;
- Temperatura – entre 15 a 34 °C;
- Umidade relativa – entre 28 a 82 %;
- Radiação Solar – entre 150 a 310 W/m²;
- Velocidade do vento – entre 0,5 a 4,5 m/s.

Com os dados climatológicos será calculada a evapotranspiração real, principal objetivo de instalação desta rede climatológica, para que seja calculado o balanço hídrico na região e comparada com a estimativa feita por satélite desta variável, a fim de checar a confiabilidade desta estimativa para esta região.

Com relação aos **dados de precipitação**, observou-se que as máximas anuais nas estações convencionais variaram entre 1.100mm a 2.000mm e foram registradas no ano de 2018. A maior precipitação acumulada diária foi 166 mm, correspondendo a 24% do valor mensal observado, que foi de 682mm. A comparação realizada entre os dados anuais das estações convencionais e as precipitações por satélite do projeto CHIRPS apontou um coeficiente r^2 de 0,9927, indicando que os dados de satélite estavam em concordância com os das estações in situ.

Será feita a comparação dos dados das estações da RHUrucua com da RHN para uma avaliação da manutenção das estações da RHUrucua, bem como a comparação dos produtos de satélite de estimativa de precipitação considerando as 29 estações da RHUrucua e 48 da RHN e RHNR com base no mesmo período de monitoramento, a fim de checar a confiabilidade desta estimativa para esta região.

As análises das **séries fluviométricas** indicaram que houve mudança na relação cota x vazão em três estações, provavelmente devido às interferências humanas próximas ao local onde estavam instaladas as seções de régua, são elas 34228000 – Barroão, 46410000 – Batalha e 46470000 – Canabravão.

As vazões máximas diárias observadas variaram de 4 a 784 m³/s, e as mínimas entre 0 a 70 m³/s. Na maior parte das estações analisadas observaram-se pequenas variações entre as maiores e as menores vazões médias mensais; este comportamento pode ser explicado pela capacidade natural de regularização das vazões do Aquífero Urucua. Entretanto, houve duas exceções, são elas 46439000 – Ribeirão dos Bois, na qual existe agricultura irrigada a montante, e 46470000 – Canabravão, a qual está localizada fora da área de recarga efetiva do aquífero. De modo geral, as menores vazões ocorrem entre julho e setembro e as maiores entre dezembro e março.

A avaliação das **curvas de permanência** das vazões diárias adimensionalizadas pela vazão média de longo termo, com referência às regiões homogêneas descritas em CPRM (2019a) mostrou que:

- As estações 22560000 - Chácara Alecrim, 22662000 - Barra do Caracol e 22665000 - Chácara Rio Preto podem ser agrupadas na Região 20 – Bacia do rio Tocantins;
- A estação 45120000 - Sumidor das Gaitas apresentou uma curva semelhante às agrupadas na Região 1 – Bacia do Rio Carinhonha;
- A forma da curva da estação 46438000 - Retiro se assemelhou às demais curvas da Região 9, sendo todas localizadas na bacia do rio das Fêmeas;
- As curvas das estações 46555800 - Nova Vista e 46572000 - Fazenda Santa Maria, são semelhantes às da Região 17: Bacia do rio Branco; e
- A estação 46780800 - Ponte Riachão apresentou uma forma da curva compatível com a região 19: Bacia do rio Sapão e Riachão.

Não foi possível agrupar as curvas de permanência adimensionalizadas de oito estações: 34001000 - Porto Alegre, 34228000 – Barroco, 45125000 - Vereda Grande, 45155500 - Santa Luzia, 45765000 - Fazenda Mombim, 46410000 – Batalha, 46439000 - Ribeirão dos Bois e 46470000 – Canabravão. E, os motivos pelos quais não foi possível realizar o ajuste, podem variar desde curto período de monitoramento, baixas vazões, modificações no uso do solo, aumento das áreas irrigadas, áreas de baixa descarga e regularização. Neste sentido, indica-se a continuação do monitoramento das vazões nestas estações, para subsidiar um melhor detalhamento em estudos posteriores.

Após esta análise, é importante avaliar as estações fluviométricas individualmente e decidir quanto a manutenção daquelas em que se comprovou pertencer a uma região hidrologicamente homogênea, a princípio estas estações podem ser extintas. E aquelas em que não houve a confirmação, investigar o porque, que pode ser: estação mal locada, observador ruim, grande retirada a montante, estruturas hidráulicas a montante do tipo reservatório, etc.

Para a melhor caracterização da curva de recessão na região do Aquífero Urucuia, é importante a partir de agora promover campanhas de medição de vazões mensais entre os meses de abril a outubro em vários pontos com áreas

de drenagem preferencialmente inferiores a 100km², principalmente próximos ao divisor de águas da bacia do Tocantins, onde a agricultura irrigada é mais intensa. Importante instalar uma referencia de nível local e amarrar a cota do rio a esta referencia no dia das medições.

A **separação do escoamento de base** foi realizada para as 16 estações fluviométricas através do filtro digital recursivo de Eckhardt (2005); para comparar os resultados da separação do escoamento foram utilizados dados de precipitação e evapotranspiração de satélite extraídos conforme as áreas de drenagens das estações fluviométricas analisadas.

Os resultados mostraram que as estações que drenam para a bacia do Rio São Francisco, apresentaram razões Q_b/Q acima de 0,7 e as razões Q_{90}/Q_{50} observadas foram superiores a 50%, com exceção da estação Canabravão. Isto é indicativo que, em geral, o aquífero tem elevada porosidade e permeabilidade, onde fluxo de base é parcela importante do escoamento total e existe uma elevada estimativa da reserva ativa.

O comportamento hidrológicamente distinto observado na estação 46470000 – Canabravão pode ser devido à produtividade do Aquífero Urucuia ser inferior nesta porção do que no restante do Sistema Aquífero, conforme apresentado anteriormente no mapa hidrogeológico; entretanto, destaca-se que a série histórica disponível nesta estação ainda é curta, de apenas 6 anos, e mais análises são necessárias para confirmar este comportamento.

Em relação aos Coeficientes de Escoamento (CE):

- Para bacia do rio Grande, CE variou de 0,01 a 0,2, com apenas 3 estações atingindo CE até 0,3 (46415000 – Sítio Grande, 46543000 – Fazenda Redenção e 46790000 – Formosa do Rio Preto);
- Para bacia do rio Corrente, CE variou entre 0,21 e 0,30 na maior parte das estações, com exceção de 45740000 – Mocambo (0,16) e 45770000 – Arrojado (0,32).
- Para bacia do rio Carinhanha, o CE variou entre 0,21 a 0,34, com exceção da estação 45220000 – Capitânia, no rio Coxá (CE observado foi de 0,16).

As estações que drenam para a bacia do Rio Tocantins apresentaram comportamentos semelhantes entre si nas razões Q_{90}/Q_{50} , as quais variaram entre 0,64 e 0,88, e nas razões Q_{base}/Q entre 0,64 e 0,84. Entretanto, houve

maior divergência nos coeficientes de escoamento, os quais foram acima de 0,50 nas estações 21580000 – São Vicente e 21750000 – Lavandeira, o que pode ocorrer devido às descargas do SAU profundo em direção à bacia do rio Tocantins, elevando as vazões observadas e, por consequência, elevando o CE. Por outro lado, nas estações 22560000 – Chácara Alecrim, 22662000 – Barra do Caracol, e 22665000 – Chácara do Rio Preto, os CE' foram inferiores a 0,30.

As estações 34228000 – Barroco e 34230000 – Contrato, que drenam para a bacia do Rio Parnaíba, apresentaram comportamento semelhante entre si quanto às variáveis analisadas, porém comportamento distinto em relação às demais estações. Ambas estações estão fora do limite do Sistema Aquífero Urucuia, o que pode explicar o comportamento hidrologicamente.

Em geral foram observadas conformidades entre os resultados do estudo do SGB-CPRM (2019a) e as análises das séries temporais da RHUrucuia, principalmente com relação às relações entre vazão de base e vazão de longo tempo, e das razões entre as vazões Q90 e Q50, com algumas exceções. As maiores diferenças foram observadas em termos do coeficiente de escoamento, que representa a razão entre vazão e precipitação, sendo estas divergências devem ser analisadas em estudos futuros.

A seguir são listadas **as recomendações e próximos passos** para o estudo hidrológico da interação superficial-subterrânea na região do Sistema Aquífero Urucuia:

- Integração entre os resultados das análises das redes convencionais (CPRM, 2019) com as análises da RHUrucuia (presente relatório), incorporando análise dos dados mais recentes da RHN, no período de 2014 a 2020, não contemplado no relatório CPRM, 2019;
- Desativação e relocação de algumas estações fluviométricas tomando por base os estudos já realizados. Desativação e relocação de algumas estações pluviométricas e climatológicas com base nos resultados da análise de consistência de dados;
- Análise hidrológica a partir das séries das estações automáticas;
- Cálculo da evapotranspiração real com os dados das estações automáticas;

- Comparação dos dados de precipitação, considerando estações da RHUrucuia, RHN e RHNR, e de evapotranspiração real com a estimativa destas variáveis obtidas por meio de satélites;
- Cálculo do balanço hídrico completo, com análise integrada de precipitação, evapotranspiração, deflúvio superficial, variação do nível subterrâneo e demandas para identificação da origem das variações de vazão e armazenamento, natural ou antrópica.
- Análise integrada dos resultados hidrológicos com as variações de níveis d'água subterrânea e estudos isotópicos

Por fim, destaca-se a importância do monitoramento hidrometeorológico, a partir do qual foram gerados e disponibilizados dados que subsidiaram as análises contidas neste relatório, bem como o aprofundamento do conhecimento sobre as interações hidrológicas e hidrogeológicas na região do Sistema Aquífero Urucuia.

CAPÍTULO 4. PROJETO BACIA-ESCOLA DO URUCUIA

**Autores: João Alberto Oliveira Diniz,
Myrla de Souza Batista Vieira, Leanize Teixeira Oliveira,
Viviane Cristina Vieira da Cunha, Camila Dalla Porta Mattiuzi,
Clyvirk Renna Camacho e Elvis Martins de Oliveira**

Como já referido, além dos trabalhos de pesquisa direta, o SGB/CPRM tem incentivado seus pesquisadores em sua capacitação por meio da realização de Pós-graduação que abordem temas vinculados ao Urucuia.

Neste sentido, já foi concluída uma Dissertação de Mestrado e duas Teses de Doutorado. Outros dois doutoramentos estão sendo elaborados atualmente. A seguir se apresentam breves resumos desses trabalhos acadêmicos.

4.1. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO CONCLUÍDA

4.1.1. Avaliação da Interação entre Águas Subterrâneas e Superficiais na Bacia do Rio das Fêmeas, Sistema Aquífero Urucuia – Bahia

Autora: Viviane Cristina Vieira da Cunha

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais, Belo Horizonte/MG, CDTN. Junho/2017.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de estudos integrados de águas subterrâneas e superficiais visando, sobretudo, a gestão conjunta dos recursos hídricos é uma questão atual e bastante desafiadora. Todos os métodos aplicados para melhorar o entendimento sobre a interação de águas subterrâneas e superficiais esbarram em uma questão fundamental, a escassez de dados

básicos, tais como séries históricas de monitoramento ambiental (pluviometria, vazão dos cursos d'água, níveis d'água subterrânea).

No Brasil, os programas de monitoramento ambientais têm sido ampliados ao longo dos anos, com destaque para a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), já com várias décadas de funcionamento, e a Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS), que conta com até seis anos de séries históricas. Frente a este cenário, o presente trabalho engloba o uso de dados hidrogeológicos e hidrológicos disponibilizados, respectivamente, pela RIMAS e RHN, para avaliar a dinâmica de fluxo e a interação entre as águas superficiais da bacia hidrográfica do Rio das Fêmeas (Figura 4.1) e as águas subterrâneas do Aquífero Urucuia, no oeste do estado da Bahia, utilizando o software de modelamento integrado MIKE SHE.

A seleção da área de estudo foi baseada tanto na alta densidade de pontos de monitoramento como no fato de o Aquífero Urucuia ainda representar uma fronteira de estudo devido ao seu elevado potencial hidrogeológico muitas vezes utilizado para suprir a demanda de água para a atividade agrícola na região, e à sua colaboração para manutenção do escoamento de base de afluentes do Rio São Francisco.

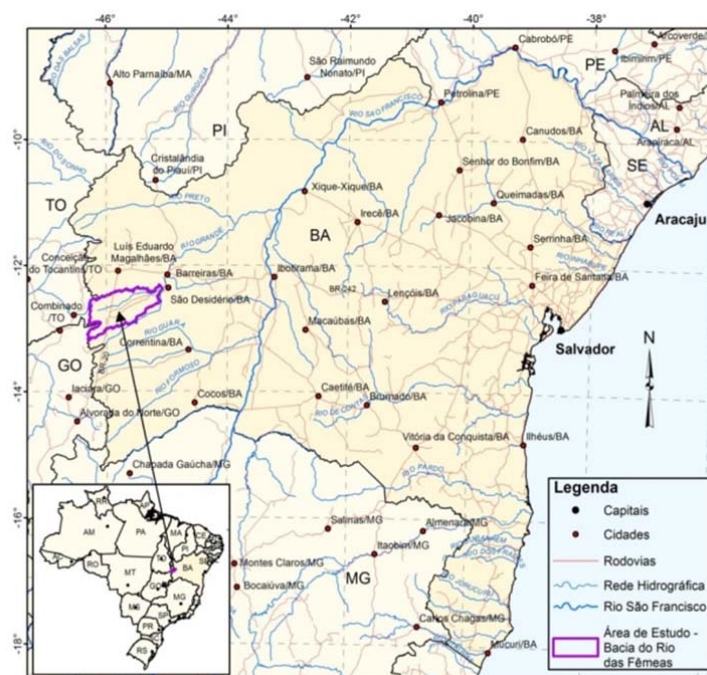


Figura 4.1 – Localização da Área de Estudo.
Fonte: Cunha, 2017.

MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira fase do trabalho consistiu na pesquisa bibliográfica e compilação, análise e síntese dos dados de monitoramento hidroambiental. Neste estudo foram considerados 16 poços de monitoramento (Figura 4.2), 8 estações fluviométricas e 5 estações pluviométricas, cujos dados estão disponíveis nos endereços eletrônicos “rimasweb.cprm.gov.br” (nível d’água subterrânea - NA) e “hidroweb.ana.gov.br” (pluviometria e fluviometria). Em seguida passou-se à elaboração do modelo conceitual que incluiu a definição da geometria e dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos e a estimativa do balanço hídrico da bacia. Quanto ao modelo numérico iniciou-se com a discretização da unidade modelada correspondente ao Aquífero Urucuia e a alocação das condições de contorno. A discretização do modelo numérico foi executada em uma malha regular com células de 1 km² cada. Desta forma, o modelo ficou com 100 linhas e 145 colunas, resultando em 14500 células. A calibração ocorreu tanto em regime permanente (2012) quanto em regime transiente (2013-2015). O período de simulação foi de 20 anos, de julho de 2015 a dezembro de 2035. No cenário de simulação considerou-se redução de 50% da precipitação pluviométrica e o aumento de 1% ao ano do fluxo d’água subterrânea captado por meio de poços.

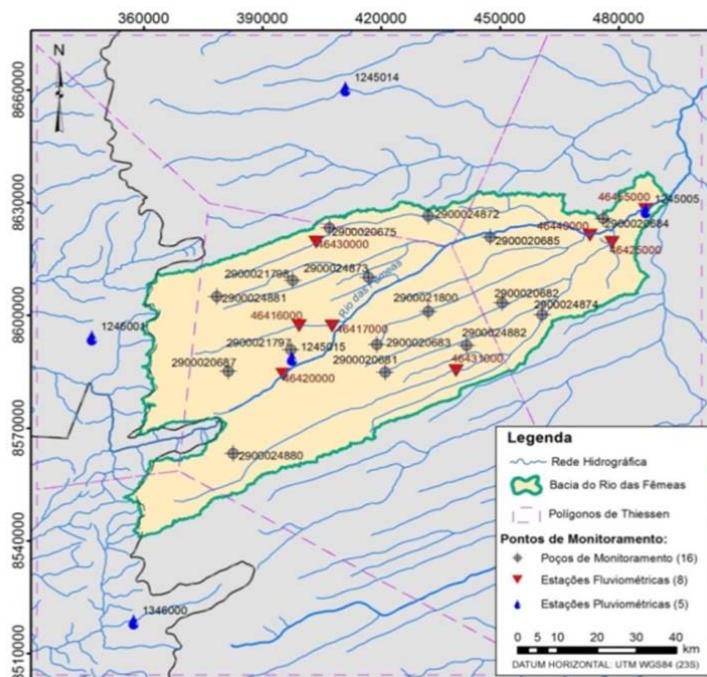


Figura 4.2 – Localização dos pontos de monitoramento na Bacia do Rio das Fêmeas.

Fonte: Cunha, 2017.

RESULTADOS

O modelo hidrogeológico conceitual definiu três unidades hidrogeológicas na região (Figura 4.3).

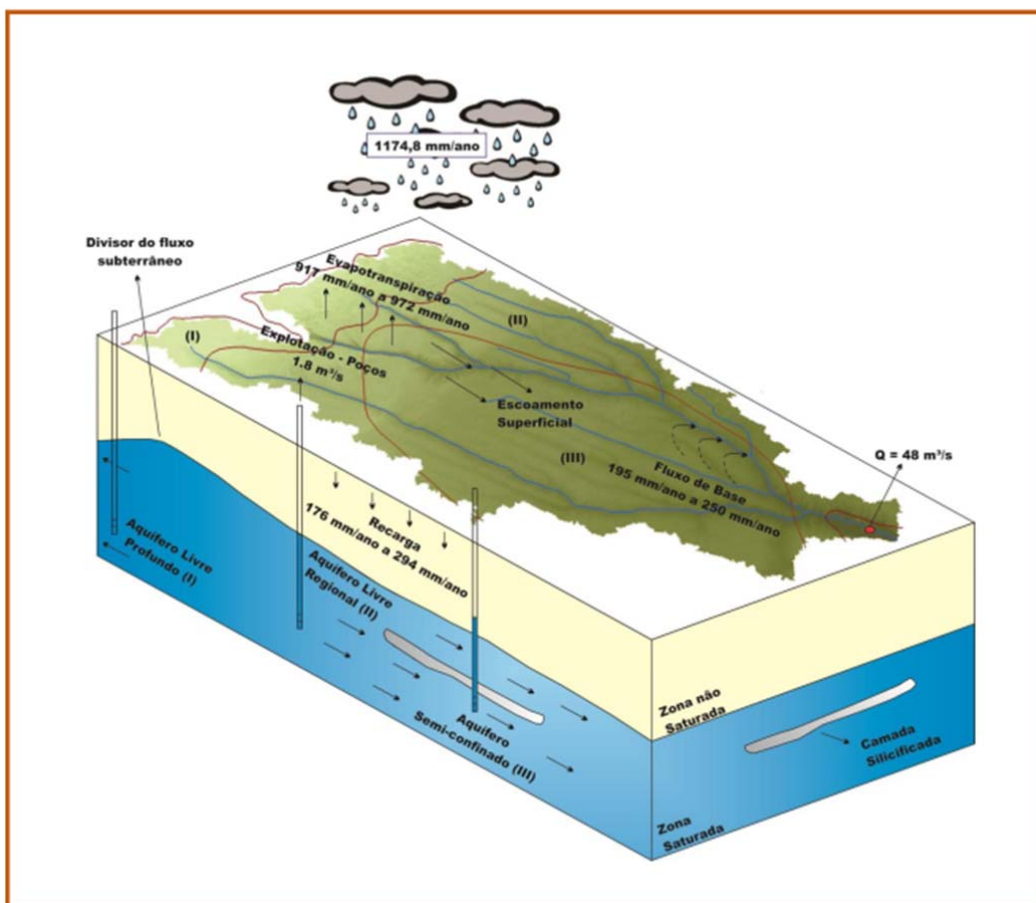


Figura 4.3 – Representação esquemática do modelo hidrogeológico/hidrogeológico conceitual da Bacia do Rio das Fêmeas.

Fonte: Cunha, 2017.

Verificou-se também que os limites da bacia hidrográfica não correspondem aos divisores de fluxo d'água subterrânea no Aquífero, foi possível identificar duas bacias hidrogeológicas, a leste, que contribui com fluxo de base do Rio das Fêmeas, e a oeste que contribui para a Bacia do Rio Paranã, afluente do Rio Tocantins. O cálculo da precipitação pluviométrica média, na bacia, resultou em 1174,8 mm/ano. A recarga foi estimada entre 15% e 25% da pluviometria. O escoamento de base médio nos principais cursos d'água foi avaliado em 39,5 m³/s. Quanto à evapotranspiração, verificou-se valores entre

917 mm/ano a 972 mm/ano. O outro item que contribui para o balanço hídrico são as captações de água subterrânea por meio de poços, cuja estimativa foi de 1.8 m³/s no total. O fluxo regional d'água subterrânea na bacia hidrogeológica leste é para NE e localmente na direção dos cursos d'água como mostra o mapa potenciométrico referentes ao período de monitoramento de 2011 a 2015 (Figura 4.4).

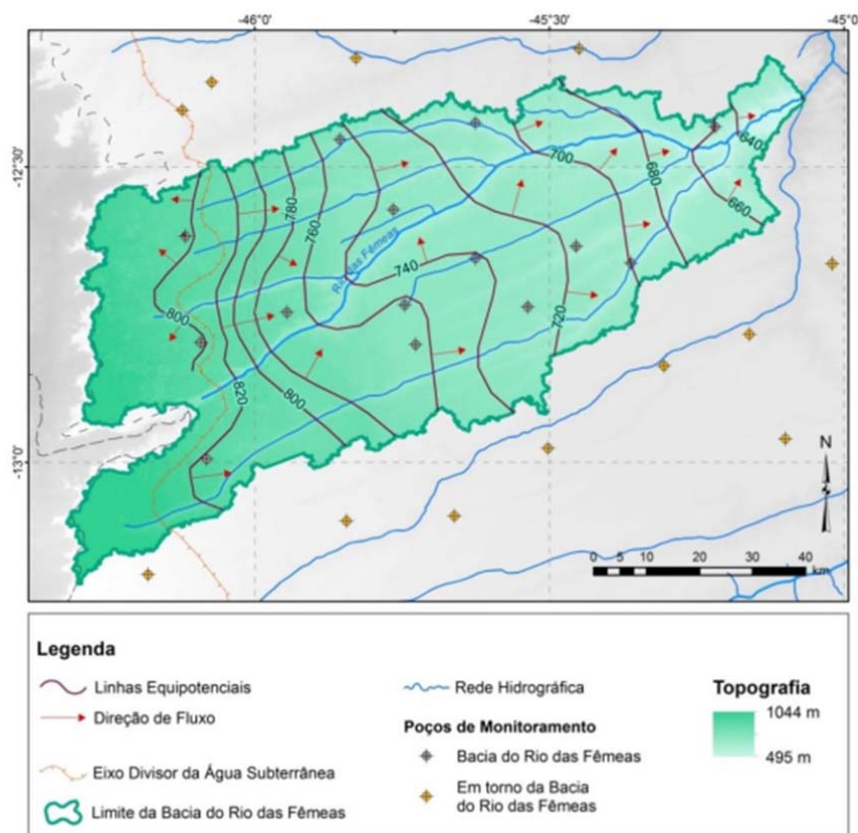


Figura 4.4 – Mapa potenciométrico da Bacia do Rio das Fêmeas (média do período de 2011 a 2015).

Fonte: Cunha, 2017.

CONCLUSÕES

O período de simulação foi de 20 anos (2015-2035) e mostrou que a redução da pluviosidade em 50% a partir de 2016, e o aumento de 1% por ano das vazões extraídas pelos poços de bombeamento ocasionam a redução na recarga e a consequente diminuição de 25% no fluxo de base dos rios, a diminuição de 18% do fluxo da saída oeste e a redução média do NA de 5 metros de profundidade, variando de 1.3 a 12.4 m.

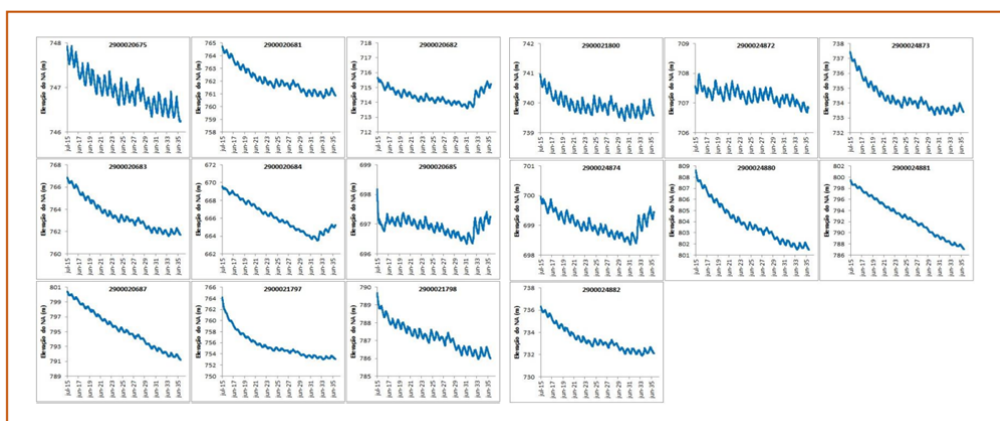


Figura 4.5 – Variação dos níveis d’água no período de simulação de Jul/2015 a Dez/2035.
Fonte: Cunha, 2017.

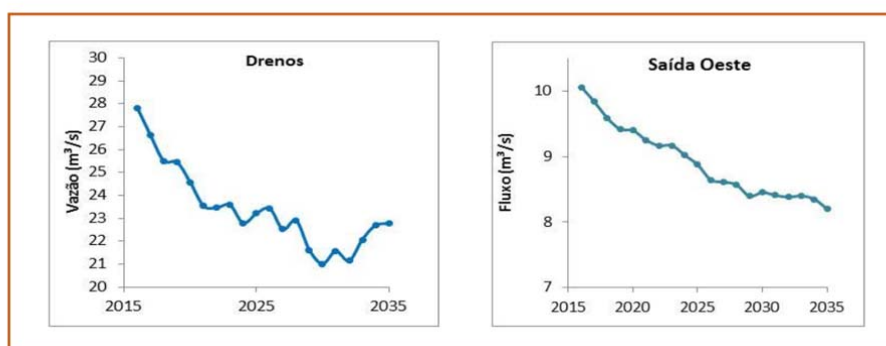


Figura 4.6 – Valores calculados para recarga, vazão nos cursos d’água e fluxo na borda oeste da Bacia do Rio das Fêmeas durante o período de simulação (2015-2035).
Fonte: Cunha, 2017.

4.2. TESES DE DOUTORAMENTO CONCLUÍDAS

4.2.1. Balanço Hídrico Transitório e Análise das Variações de Níveis d’Água na Porção Meridional do Aquífero Urucuia – Bahia”

Autora: Leanize Teixeira Oliveira

Tese de Doutorado em Geociências apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geologia Área de Concentração: Geologia Ambiental, Hidrogeologia e Recursos Hídricos, Salvador/BA, UFBA. Outubro/2020.

RESUMO

Esta pesquisa apresenta uma análise espacial e temporal dos componentes do balanço hídrico visando entender a dinâmica do sistema hídrico nas bacias dos rios Arrojado, Formoso e Éguas, afluentes da bacia do rio Corrente-Bahia, e seus reflexos nos níveis d'água subterrâneos do aquífero Urucuia. Entende-se aqui como sistema hídrico o conjunto dos principais componentes de fluxos de entrada e saída de água no aquífero, que se apresenta interdependente e conectados, incluindo o componente artificial de bombeio por poços.

O aquífero Urucuia, constituído pelo Grupo homônimo, ocorre em uma extensa área da Bacia Sedimentar Sanfranciscana, do tipo intracratônica, abrangendo parte dos estados da Bahia, Minas Gerais, Tocantins, Piauí, Maranhão, e pequenas porções de Goiás. O Grupo Urucuia engloba as unidades litoestratigráficas das formações Posse e Serra das Araras, constituídas por arenitos muito finos, finos e médios, bem selecionados, por vezes ocorrendo níveis conglomeráticos em determinadas posições estratigráficas e lentes descontínuas silicificadas de ambiente sedimentar flúvio-eólico de idade Neo-Cretácea. Trata-se de unidades aflorantes sobrepostas a metassedimentos Neoproterozoicos (pelitos e calcarenitos) do Grupo Bambuí e/ou rochas Granito-gnásissicas Arqueana/Proterozoica. Em dois poços estratigráficos feitos pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM (2013-2014), o Sistema Aquífero Urucuia (SAU) apresenta uma espessura de 206 m na borda Oeste e 418 m na porção Centro-Norte da área de estudo. A modelagem geológica com a caracterização da geometria da base do aquífero foi feita baseada nos dados dos poços estratigráficos, poços tubulares profundos, pontos de afloramento, lineamentos estruturais baseados em mapa geológico na escala de 1:250.000 e 12 furos virtuais baseados em dados sísmicos e artigos científicos. O resultado da modelagem permite identificar a bacia sedimentar do tipo "SAG" com pequena subsidência e espessura máxima de 535m.

Valores de porosidade efetiva (S_y) de 14% e 17%, transmissividade (T) de $4,1 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ e $1,6 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$, coeficiente de armazenamento (S) de $8,6 \times 10^{-3}$ e $4,7 \times 10^{-3}$, condutividade hidráulica horizontal (K) de $1,7 \times 10^{-4} \text{m/s}$ e $6,9 \times 10^{-5} \text{m/s}$, e condutividade hidráulica vertical de $1,4 \times 10^{-4} \text{m/s}$ e $8,1 \times 10^{-5} \text{m/s}$ foram obtidos em dois testes de aquífero realizados na área (CPRM, 2008). Transmissividades calculadas em 15 poços a partir do método de recuperação de Jacob mostram

também valores da ordem de $10^{-2}m^2/s$. Os níveis estáticos (NEs) são em geral profundos (>30m), exceto nas áreas próximas às drenagens. Existe uma assimetria em relação ao eixo divisor de águas subterrâneas que ocorre no sentido N-S (CPRM, 2008), sendo que os NEs a oeste podem chegar a 177m de profundidade, de acordo com dados próprios levantados em campo.

A região, tipicamente agrícola, apresenta uma vegetação nativa do tipo Cerrado e áreas de lavoura, muitas vezes irrigadas por pivôs nas porções planas do Chapadão representando um dos maiores polos agrícolas do país. Nas porções ribeirinhas dos vales encaixados dos rios principais e afluentes predominam matas de galeria e veredas, além de áreas antropizadas com o pasto e pequenos povoados. As imagens temporais de satélite mostram uma supressão de aproximadamente 55% da vegetação natural nos últimos 31anos, entre 1988 e 2019. Até 1955 a região tinha pouca expressividade econômica prevalecendo a criação bovina e plantação de arroz nas regiões ribeirinhas. Na década de 80, inicia-se a ocupação das áreas do chapadão em grandes propriedades. A partir da década de 90, a região transforma-se em um grande eixo produtor do estado com agricultura mecanizada, sofrendo uma progressiva ocupação. Com a ocorrência de chuvas em estações bem definidas, o desenvolvimento de cultivos de sequeiro ou irrigado impulsiona o agronegócio com lavouras de grãos, algodão, fumo, além de pecuária de corte e leiteira. A irrigação por pivôs é alimentada por águas superficiais e subterrâneas – aquífero Urucuia. Atualmente a atividade agrícola cresce continuamente e tem registrado focos de conflito entre usuários dos recursos hídricos.

O avanço econômico tem sido proporcional ao aumento da demanda por água, sendo os recursos hídricos a mola propulsora das atividades agrícolas. Portanto, dado a sua importância estratégica e ao acoplamento hidráulico entre rios e aquíferos, os estudos hidrológicos necessitam de análises que integrem a dinâmica das águas superficiais e subterrâneas. Dados de outorgas subterrâneas (aquífero Urucuia) e superficiais (principalmente nas sub-bacias Arrojado e Formoso) indicam demandas por poço variando de 4 a $500m^3/h$, em regime de até 18h/dia, totalizando $1,74m^3/s$ outorgados e em análise em 2018, tendo por finalidade principalmente a irrigação e abastecimento humano/animal. Entre os 406 poços cadastrados na área em 2018 apenas 14% destinam-se à irrigação, mas representam 89,3% do volume total demandado. A

somatória das taxas de bombeio de poços na área em 2017 foi estimada em $4,61\text{m}^3/\text{s}$.

O clima é classificado como tropical, de inverno seco, com pluviosidade que diminui de oeste para leste e no sentido norte-sul com valores variando entre 1200 e 600mm/ano. Na área de estudo, a série histórica claramente evidencia a variabilidade intra e interanual das chuvas e o período mais seco e com menor variabilidade interanual a partir de 2012/2013 a 2018, semelhante ao ocorrido na década de 1970, e com tendência de aumento das chuvas a partir de 2019/2020.

Os efeitos do bombeamento de poços sobre sistemas hídricos regionais geralmente manifestam-se lentamente ao longo dos anos e a espacialização dos poços bem como sua dinâmica no regime de bombeio e outros condicionantes do meio físico exercem grande influência. Bombeio de águas subterrâneas e reposição por recarga frequentemente são variáveis dinâmicas do ponto de vista sazonal e interanual. A investigação da dinâmica do NA subterrâneo e a quantificação dos componentes do Balanço Hídrico (BH), considerando inclusive as saídas artificiais por bombeio de poços, é complexa e fundamental para evitar subjetividades na análise da sustentabilidade do uso dos recursos hídricos. Nas bacias hidrográficas estudadas, existem poços de monitoramento (PMs) com dataloggers instalados entre dezembro/2015 e julho/2016.

Nesta pesquisa, optou-se pela metodologia da simulação numérica de fluxo estacionário e transiente, utilizando-se também da interpretação de análises isotópicas para investigação complementar e ratificação do modelo conceitual. Na simulação de fluxo, foi adaptado um modelo tridimensional de simulação de fluxo subterrâneo, baseado no método numérico de diferenças finitas, utilizando o software MODFLOW (HARBAUGH et al., 2005) com os pacotes computacionais MODPATH e ZONEBUDGET, na versão comercial VisualModflow4.1. Esse método numérico aplicado na modelagem do fluxo subterrâneo aproxima a área modelada em um grid de diferenças finitas, onde processos iterativos e equações diferenciais de fluxo são processados e cargas hidráulicas são calculadas. Amostras de águas subterrâneas, superficiais e de chuvas foram analisadas para interpretação isotópica de O^{18} , Deutério e Trítio.

O comportamento dos NAs subterrâneos mostra um declínio constante e aproximadamente uniforme entre os poços, possivelmente relacionados à diminuição da recarga e à exploração por poços. As flutuações de NA nos poços monitorados não acompanham a sazonalidade das chuvas e atribuímos isso aos NEs profundos (entre 38 e 120m) e às grandes distâncias dos poços às drenagens (entre 3,5 e 13km). Os PMs também mantêm uma distância mínima de 700m de poços produtores de alta vazão, com exceção do PM55 (30m) que sofre interferências geradas pelo bombeamento de poços e, portanto, não foi utilizado na simulação. Os rebaixamentos anuais foram em média de 0,77m/ano (variação de 0,4 a 1,1m/ano). Altas taxas de rebaixamento são verificadas na porção sudoeste da área, onde se concentra um grande número de poços de alta vazão e também maior número de pontos de retirada de águas superficiais.

Os efeitos da extração de águas subterrâneas por poços em uma porção do Sistema Aquífero Urucuia e a quantificação dos componentes do Balanço hídrico foram feitos inicialmente utilizando a simulação de fluxo hídrico subterrâneo em regime estacionário para três cenários: i) sem bombeio; ii) com bombeio atual e; iii) com 60% a mais de extração por poços. Posteriormente foi feita a simulação em estado transiente para obtenção da distribuição das cargas hidráulicas e análise temporal dos componentes do BH. Uma análise de sensibilidade em relação às taxas de rebaixamento observadas nos poços foi feita para os parâmetros porosidade efetiva S_y (14-17%) e coeficiente de armazenamento específico S_s (10^{-6} - 10^{-4} 1/m) na simulação transiente.

As análises isotópicas colaboraram na interpretação e concepção do modelo conceitual. As assinaturas isotópicas obtidas para as amostras de chuva local permitiram construir a LMWL, que apresenta um coeficiente angular de 9,85, e é considerada preliminar em função do pequeno número de amostras de chuvas. No diagrama δ^2H - $\delta^{18}O$ as águas subterrâneas amostradas posicionaram-se abaixo e paralelamente à LMWL indicando recarga por infiltração direta. Nota-se ainda que as assinaturas isotópicas das águas subterrâneas se aproximam às das águas de chuva mais depletadas em ^{18}O . Isso leva a possíveis interpretações:

Evidencia o efeito quantidade onde fortes chuvas são correlacionadas a valores mais negativos de ^{18}O (DANSGAARD, 1964), resultando em recargas efetivas apenas em chuvas de grande volume e em concordância com os resultados de cálculo de recarga detalhadas abaixo;

Condições climáticas distintas que deram origem às recargas, principalmente se considerarmos o posicionamento das amostras em relação à GMWL. A similaridade das assinaturas entre águas superficiais e subterrâneas, para os dois períodos amostrados indica ainda a conexão hidráulica entre rios e aquífero. Da mesma forma, a similaridade das assinaturas isotópicas entre águas de poços rasos e profundos, captadas das formações Serra das Araras e Posse, respectivamente, ratifica a modelação do aquífero admitindo-se uma única unidade hidroestratigráfica. Verificou-se que os valores de Trítio nas águas superficiais são muito baixos e não correspondem aos valores de Trítio da chuva local, sugerindo aqui que representariam o resultado da mistura de várias contribuições de recargas anuais do aquífero.

O modelo conceitual considera que o sistema hidrogeológico Urucuia na área modelada é do tipo livre regional, sendo as formações Posse e Serra das Araras uma única unidade hidroestratigráfica, com homogeneidade regional, ou seja, não foram consideradas na escala adotada as porções localizadas de confinamento/semi-confinamento. As águas subterrâneas estão em conexão hidráulica com os rios e não há perdas ou ganhos do fluxo subterrâneo para as unidades litoestratigráficas adjacentes, conforme sugerido pelas assinaturas isotópicas e análise hidrogeológica. Admite-se ainda o divisor de águas subterrâneas localizado a Oeste como fluxo nulo, assim como os divisores de bacia hidrográfica localizados a norte e sul. A saída de água do aquífero ocorre unicamente pelos rios.

Foram identificadas as áreas de maior exploração do aquífero e observa-se que 26,8% da água explotada posiciona-se na porção do aquífero que drena suas águas para Oeste e, portanto, não foram consideradas na simulação. Após definição das vazões de produção dos poços atuais ($4,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), da modelagem da geometria da base do aquífero (espessura máxima de 535 m), e adotando o modelo conceitual descrito foram processadas as simulações de fluxo. Inicialmente a simulação de fluxo foi feita em estado estacionário objetivando calibrar parâmetros, gerar as cargas hidráulicas iniciais da simulação transiente, efetuar o balanço numérico de massa e ajustar as elevações dos rios à topografia. A calibração do modelo foi feita pelo método da tentativa e erro e posteriormente foi utilizado o pacote PEST de calibração automática. Os parâmetros calibrados no modelo estacionário foram a condutividade hidráulica (na ordem de $10^{-4} \text{ m. s}^{-1}$) e Condutância (C) dos rios (valores variando entre

0,0058 m²/s a 1,5 m²/s); e no modelo transiente, Ss de $2,6 \times 10^{-5}$ 1/m e Sy de 0,14. Na simulação transiente a variabilidade espacial e temporal da recarga foi de extrema importância para convergir valores observados e calculados de carga hidráulica e foram obtidas admitindo-se as zonas estabelecidas pelas isoietas e considerando os valores temporais de evapotranspiração calculados pelo método de Thornthwaite (1955). Os meses de efetiva recarga abrangeriam os períodos chuvosos que excedem a evapotranspiração real, que para o período analisado predominou entre outubro/novembro e fevereiro/março. O fato de considerar a recarga efetiva apenas nos períodos de chuva de grande volume é coerente com as conclusões da análise isotópica. Limitações e simplificações intrínsecas à modelação matemática consideradas na área modelada foram: aproximações do modelo digital do terreno; simplificação do modelo conceitual e homogeneidade da geologia admitindo-se o caráter regional da pesquisa; generalizações do modelo em função da baixa densidade de dados hidrogeológicos; imprecisões na determinação da carga dos rios principalmente em função da dimensão das células na modelagem e a falta de dados de condutividade hidráulica vertical do leito dos rios.

Os modelos estacionários sem bombeio e com bombeio mostram que, a longo prazo, o armazenamento de água subterrânea diminui em 2 km³, considerando porosidade efetiva de 15% (rebaixamento médio no aquífero de 0.8 m) sem interferências na direção de fluxo regional. O balanço de massa mostra ainda que os fluxos de base dos três rios principais diminuem em aproximadamente 6% entre a situação de não-bombeio e com bombeamento da época do estudo, com corte temporal em 2018. O fluxo de base dos três rios principais representa aproximadamente 68% da soma das descargas mínimas medidas em três estações mais a jusante da área modelada, o que representa uma boa aproximação.

O balanço de massa dos componentes do balanço hídrico usando as recargas mensais obtidas na simulação transiente mostra boa concordância de rebaixamentos (declínios de cargas hidráulicas) simulados e observados em termos de tendência interanual. Contudo, as cargas simuladas apresentam uma variabilidade sazonal que parece ser inexistente nas cargas reais observadas. Por outro lado, percebe-se um bom ajuste do fluxo de base simulado à somatória das vazões médias dos rios tanto a nível interanual e sazonal.

Constata-se uma aparente discrepância entre as sazonalidades nas observações de cargas hidráulicas (basicamente ausente) e vazões superficiais (muito regular e pronunciada) consideradas aqui como boas aproximações do fluxo de base real. De caráter hipotético, levantamos a possibilidade de um efeito significativo da espessura elevada da zona não saturada (ZNS) em grande parte do aquífero. Isso pode levar a uma diferença entre a recarga já calculada na superfície do solo (recarga superficial) e a recarga que chega ao lençol freático na profundidade (recarga freática). Essa diferença não se manifestará na quantidade de recarga (ETR já foi considerada e não há mais perdas d'água na ZNS), mas na distribuição temporal da recarga efetivamente contribuindo ao volume de água armazenado no aquífero.

Supõe-se, de forma simplificada, que um impulso de recarga superficial se dispersa ao atravessar a ZNS, fazendo com que parte desse impulso pode alcançar o lençol freático mais rápido, enquanto o restante demore meses ou até um ano. Essa possibilidade foi considerada na simulação transiente por meio da conversão dos valores de recarga superficial, já calculados, a recargas freáticas usando a média móvel das recargas superficiais dos últimos 12 meses. A análise temporal da variação dos componentes do BH simulado neste cenário mostra que a recarga nos últimos anos vem sofrendo maior variabilidade anual e diminuiu significativamente entre 2012 e 2017. Isso se reflete na variação de armazenamento predominantemente negativa durante o período (NA em declínio) e na diminuição do fluxo de base dos rios. A partir de 2017, a recarga tem uma tendência a se recuperar.

Percebe-se que a contrastante espessura da ZNS nas áreas de vale e nas áreas do Chapadão responde pela contrastante sazonalidade de cargas hidráulicas e fluxo de base. Próximo às drenagens, a diferença entre recarga superficial e freática torna-se mínima (como ocorre no PM20, localizado na bacia do rio Grande-aquífero Urucuia) e, nas áreas no chapadão, mais distantes dos rios, a sazonalidade na elevação do nível freático é efetivamente removida pela propagação da recarga através da ZNS.

Para investigar ainda a dinâmica do comportamento hidráulico do aquífero, simulamos as respostas degrau a uma diminuição súbita de 10% na recarga, com iguais condições de contorno e admitindo-se vazão de poços constante. O sistema se reequilibraria a partir de aproximadamente uma década, destacando-se o efeito sobre o componente fluxo de base, e redução

do armazenamento na fase transiente. Já nas respostas das cargas hidráulicas, observa-se dois tipos gerais de comportamentos. Os maiores efeitos da redução de recarga sobre os rebaixamentos de NAs em termos de magnitude e tempo para reequilíbrio ocorrem sobre os poços da porção oriental (PMs 46,47,48,55), exceto para o poço 54. Na porção ocidental (PMs 39,44,56) tanto os rebaixamentos finais quanto a duração do período transiente são menores. Isso pode indicar uma maior sensibilidade da zona oriental a mudanças climáticas futuras em termos de disponibilidade de água subterrânea.

Verifica-se, portanto rebaixamentos de até 1,8 metros para a redução aplicada de 10% na recarga. ANA (2017) simulou em regime permanente um cenário de possível mudança climática considerando redução de 21% na recarga e obteve rebaixamentos superiores a 3m na potenciometria da bacia do rio Corrente, para o período 2021-2050.

Os estudos apontaram a necessidade de expansão da rede de monitoramento de poços, preenchendo as lacunas de informação além de ampliar o monitoramento nas áreas de maior exploração, além de estudos mais específicos sobre a recarga do aquífero e o comportamento do fluxo subterrâneo na ZNS.

CONCLUSÃO

A modelagem matemática numérica na simulação de fluxo hídrico subterrâneo, utilizada nesta pesquisa, possibilitou compreender a dinâmica das águas no sistema hídrico Urucuia através do comportamento transitório das cargas hidráulicas e da evolução dos componentes do balanço hídrico. Em geral, trabalhos de modelagem hidrogeológica em escala regional (sub-bacias) exigem maior complexidade, pois geralmente envolvem mais de um aquífero, com arcabouço hidrogeológico mais complexo. Contudo, nesse caso específico a monotonia geológica corroborou para as simplificações admitidas no estudo, juntamente com a feição geomorfológica predominante de platôs de baixa declividade e rios com declividades suaves e poucas quebras, com alta conexão hidráulica com o aquífero livre. Apesar das simplificações adotadas na modelação, a simulação mostrou-se eficiente principalmente quando comparados o fluxo de base do modelo às vazões médias reais na bacia. Dessa forma o modelo conceitual proposto para a simulação do fluxo de água

subterrânea mostrou-se satisfatório e ratificado pelos dados das assinaturas isotópicas das águas superficiais, subterrâneas e de chuva.

As características de ocupação do território favorecem a dinâmica da exploração de águas subterrâneas e em evolução crescente. Variáveis como mudanças climáticas e uso e ocupação do solo, podem alterar significativamente a componente de fluxo de recarga corroborando com o caráter dinâmico transitório no balanço hídrico e conseqüentemente influenciando nos níveis d'água subterrâneos e no fluxo de base dos rios.

Os rebaixamentos dos últimos sete anos observados nas cargas hidráulicas do aquífero Urucuia, demonstrados pela série histórica de dados de níveis d'água dos poços de monitoramento e pela simulação, demonstram a diminuição da precipitação, afetando diretamente a recarga do aquífero. Contudo, o posicionamento das zonas de maior rebaixamento dos níveis d'água em áreas mais intensamente exploradas (porção oeste), mostra que além da diminuição das recargas, a componente descarga artificial também exerce grande influência nos rebaixamentos, não tendo sido possível quantificar o grau de interferência de cada uma delas isoladamente.

A recarga do aquífero Urucuia nas áreas de platô remove a sazonalidade dos níveis d'água subterrâneos em função da sua trajetória na espessa ZNS, em contraste com as áreas de vale onde há sazonalidade dos níveis em função da precipitação. Os rebaixamentos contínuos do aquífero trazem como consequência mais imediata a interferência no fluxo de base dos cursos d'água, provocando possivelmente efeitos mais danosos principalmente nos cursos d'água superiores dos rios (nascentes).

A análise de causa e efeito sob stress do sistema hídrico, principalmente quando se refere à relação água subterrânea-água superficial, carece de dados de condutância dos leitos de rio. O desenvolvimento de estudos em escala de detalhe para obtenção destes parâmetros de entrada no modelo em escala local é recomendável, apesar da metodologia de calibração reversa implantada aqui em escala regional ter sido considerada satisfatória, tendo uma boa validação do modelo, apesar das limitações e incertezas associadas.

Recomenda-se ainda que continuem sendo efetuadas as coletas e análises isotópicas principalmente de águas de chuva e de poços, e incluir metodologia de investigação que estime quantitativamente o tempo de

residência da água entre a recarga e a descarga, que possibilitará estudos inclusive sobre possibilidade de contaminação por agrotóxicos.

Considerando que a exploração de aquíferos deve ser norteada pela sustentabilidade ambiental do sistema hídrico no sentido de equilibrar as condições de bombeio à mitigação de suas consequências, torna-se evidente a importância de monitoramento hidroclimatológico contínuo e mensuração das retiradas (implementação de acesso aos níveis d'água e das vazões de exploração dos poços produtivos de alta vazão), visando acompanhar a dinâmica entre demandas e disponibilidades hídricas. Os resultados apontam para um impacto maior da exploração dos aquíferos sobre rios, causados por uma redução no armazenamento e no fluxo de base.

TRABALHOS PUBLICADOS:

“Analysis of the long-term effects of groundwater extraction on the water balance in part of the Urucuia Aquifer System in Bahia – Brazil” – Revista a Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of applied Science. (Oliveira, L. T., Klammler, H., Leal, L. R. B. & Grissolia, E.M. (2019). Analysis of the long-term effects of groundwater extraction on the water balance in part of the Urucuia Aquifer System in Bahia – Brazil. Rev. Ambiente & Água, 14 (6), doi:10.4136/ambi-agua.2390)

“Balanço Hídrico Transitório do aquífero meridional Urucuia na Bahia” - Revista Águas Subterrâneas, Vol. 34, n. 3. (Oliveira, L. T., Klammler, H., & Leal, L. R. B. (2020). Balanço hídrico transitório do aquífero Urucuia meridional na Bahia. *Águas Subterrâneas*, 34(3), 325–339. <https://doi.org/10.14295/ras.v34i3.29915>)

4.2.2. Estudo Das Vazões Do Sistema Aquífero Urucuia Em Períodos De Recessão Hídrica

Autora: Myrla de Souza Batista Vieira

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica, Brasília/DF, Instituto de Geociências, UnB. Fevereiro/2021.

RESUMO

No Brasil, existem áreas onde, periodicamente, ocorrem secas que representam, na maioria das vezes, grandes calamidades, ocasionando sérios danos à agropecuária e graves problemas sociais (Vieira, 2021). Entretanto, os municípios da região do oeste do estado da Bahia não estão na lista de municípios integrantes desta área, pois são abastecidos pelos rios cuja vazão é mantida pelo Sistema Aquífero Urucuia (SAU) nos períodos de recessão hídrica. Mas, nos últimos anos, vem se registrando aumento na intensidade da seca na região (ANA, 2018), que é uma área em franco desenvolvimento, experimentando acelerada expansão da agricultura comercial, que se iniciou há cerca de 30 anos, ao ponto de ser atualmente considerada um dos polos de agricultura irrigada mais importantes do país. Nesse cenário de alta demanda hídrica, observam-se modificações na cobertura vegetal, notadamente a supressão de extensas áreas de cerrado, e o elevado risco de contaminação do solo e das águas subterrâneas por fertilizantes e defensivos agrícolas, além da inevitável expansão das áreas urbanas (Pimentel *et al.*, 2011).

Então, principalmente no período de recessão hídrica, é imprescindível compreender como é gerado o escoamento pelo aquífero (vazão de base), considerando as geometrias, as características hidráulicas e as inter-relações subterrâneas, como também a hidrodinâmica frente ao clima e aos usos existentes na região.

O objetivo desse estudo era fornecer subsídios e informações que auxiliem no desenvolvimento de um modelo para estimar as vazões de base que simule o comportamento do Sistema Aquífero Urucuia (SAU) – de importância fundamental na manutenção das vazões dos afluentes da margem esquerda do médio rio São Francisco –, de modo a auxiliar no planejamento hídrico atual e futuro da região em que se encontra inserido o referido sistema, embasando cenários de disponibilidade dos recursos hídricos mais reais e racionais do oeste baiano, área com acelerada expansão da agricultura comercial e onde, no período das estiagens, ocorrem situações críticas do ponto de vista ambiental e

também se intensificam os conflitos entre os usuários de água. Para consecução desses objetivos, procedeu-se à análise integrada das características hidrogeológicas, dos dados hidrológicos e climáticos, do uso do solo, da recarga e geração da vazão de base (Vieira, 2021).

Constatou-se que a precipitação total anual da série sobre o SAU indica uma tendência linear descendente (Figura 4.7), confirmada pelo teste de Mann-Kendall (p -valor = 0,004), e que há uma diferença significativa entre os primeiros 16 anos da série da média de todas as chuvas anuais e os últimos 16 anos, indicando que fenômenos climáticos externos podem influenciar principalmente o volume e a intensidade da precipitação (Vieira, 2021).

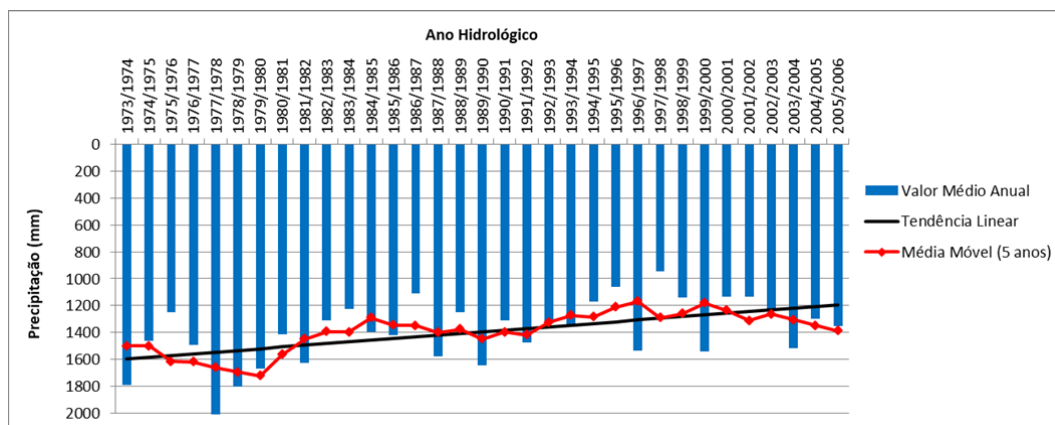


Figure 4.7 – Hietograma da precipitação média anual no sistema aquífero Urucuia
Fonte: Vieira, 2021.

A correlação da precipitação mensal e anual com o índice da Oscilação Multidecadal do Atlântico (Atlantic Multidecadal Oscillation - AMO), também apresentou resultados estatisticamente significativos, revelando a potencial teleconexão da temperatura da superfície do mar do Oceano Atlântico Norte com a precipitação sobre o Sistema Aquífero de Urucuia (Figura 4.8). Ou seja, na fase positiva do dipolo, ocorre a inibição da formação de nuvens, diminuição da precipitação e, conseqüentemente, ocasionando períodos de seca, pois as águas do Atlântico Tropical Norte tornam-se mais quentes e as águas do Atlântico Equatorial e Tropical Sul ficar mais frio.

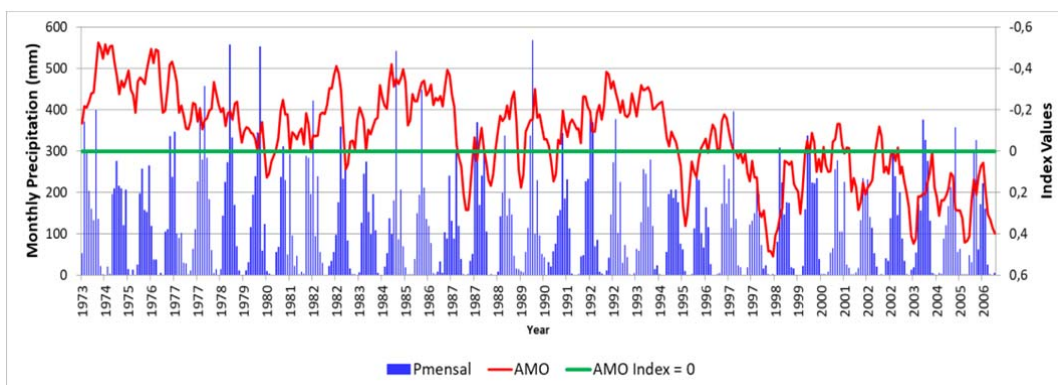


Figure 4.8 – Gráfico da precipitação mensal na região do sistema aquífero Urucuia e dos valores mensais do Índice AMO.

Fonte: Vieira, 2021.

Por outro lado, na fase negativa do dipolo, as águas do Atlântico Norte Tropical tornam-se mais frias e as do Atlântico Sul, mais quentes, gerando um aumento dos movimentos ascendentes sobre essas regiões, intensificando a formação de nuvens e aumentando as chuvas. Portanto, como o padrão de precipitação mostra uma tendência de diminuição nas últimas décadas, além do AMO está na sua positiva, espera-se uma redução na recarga do aquífero e na disponibilidade de água em um futuro próximo (Vieira, 2021).

Analisando-se as informações de uso do solo sobre o SAU, considerando as áreas ocupadas com cultura anual e perene, floresta plantada, pastagem, infraestrutura urbana e área não vegetada, observada em dois períodos: 1985 a 1990 e 1991 a 2018, lembrando que a expansão agropecuária na região se iniciou a partir de 1990, conclui-se que a expansão da ocupação das áreas para outros usos ocorreu apenas nas sub-bacias dos rios Urucuia, Corrente e Grande, onde as vazões diminuíram, em média, 22,39%, enquanto nas sub-bacias dos rios Pandeiros, Japoré e Carinhanha as vazões diminuíram, em média, 12,68% (Vieira, 2021).

As bacias com áreas desmatadas e destinadas ao uso principalmente agrícola foram as que apresentaram menor diminuição de vazão, uma vez que a vazão dos rios é alimentada pelo aquífero regional raso, cuja alimentação depende prioritariamente de parâmetros climáticos, principalmente precipitação e evapotranspiração, pois áreas de cerrado ou florestas apresentam maior evapotranspiração. Ao se substituir áreas de cerrado ou florestas por áreas agrícolas, ocorre diminuição da interceptação e da

evapotranspiração. Portanto, principalmente em terrenos planos, as áreas agrícolas podem facilitar a recarga, o que explica os valores encontrados.

A mudança do cerrado nativo para plantio não causa ampla redução na recarga, pois não acarreta compactação ou impermeabilização, de forma que a restrita declividade do terreno, os solos arenosos e o padrão das chuvas são os controles mais significativos do processo de infiltração e recarga efetiva dos aquíferos. Observa-se esse padrão na bacia do rio Urucuia, que experimentou aumento de área de cerrado (provavelmente pelo abandono de pastagens) e, mesmo assim, apresentou redução da vazão no período de recessão das chuvas.

Nas sub-bacias, observou-se que as precipitações diminuíram, em média, 7,53% em toda a região, sendo observados -6,81% na sub-bacia do rio Pandeiros, -7,19% na sub-bacia do rio Japoré, -8,66% na sub-bacia do rio Carinhanha, -5,71% na sub-bacia do rio Corrente e -9,27% na sub-bacia do rio Grande (Vieira, 2021).

Já na área irrigada, observou-se, em função do perímetro de irrigação, uma demanda hídrica de 173 m³/s em toda a região do Urucuia, sendo que essa vazão era apenas 5 m³/s em 1990, ou seja, 34 vezes menor. Entretanto, essa distribuição não é uniforme: 122 m³/s são para a sub-bacia do rio Grande; 38 m³/s para a sub-bacia do rio Corrente; 12 m³/s para a sub-bacia do rio Carinhanha; e 1% para as demais sub-bacias. Essa distribuição, ao longo do tempo, também não foi uniforme, ou seja, em 1990, na sub-bacia do rio Grande, utilizavam-se 3,36 m³/s e, em 2017, esse uso passou para 122 m³/s; na sub-bacia do rio Corrente, o uso na irrigação em 1990 era 0,3 m³/s e, em 2017, passou para 38 m³/s (Vieira, 2021).

Observou-se, ainda, que, na sub-bacia do rio Grande, a necessidade hídrica para agricultura cresceu de forma exponencial desde a década de 1980 (Figura 4.9 e 4.10), mas, na sub-bacia do rio Corrente, essa demanda começou a crescer exponencialmente a partir do ano de 2002 (Figura 4.11). Entretanto, entre 1990 e 2018, as vazões na sub-bacia do rio Corrente (16,08%) diminuíram mais do que as vazões na sub-bacia do rio Grande (13,39%), mesmo com o maior aumento exponencial da agricultura na bacia do rio Grande. Já as vazões na sub-bacia do rio Carinhanha foram superiores (20,57%) às observadas na bacia do rio Corrente, enquanto a agricultura nessa sub-bacia ocupa apenas 1,6% da área sobre o SAU. Tais informações demonstram que o aumento do uso

do solo nas bacias dos rios Corrente e Grande não impactou de forma significativa na vazão dos rios, indicando que a diminuição da chuva é a principal responsável pela redução da vazão nos rios (Vieira, 2021).

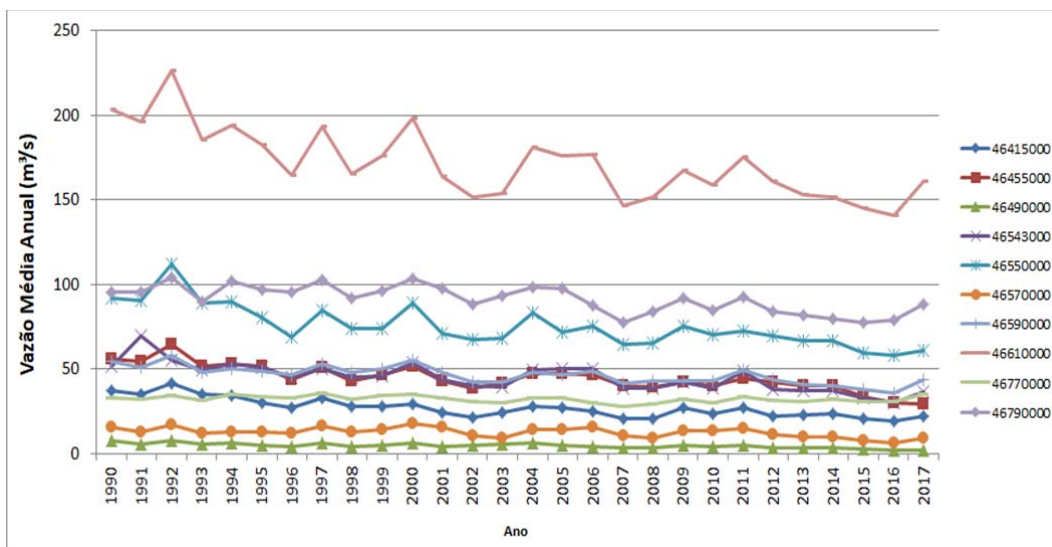


Figura 4.9 – Evolução, ano a ano, da vazão nas estações analisadas na sub-bacia do rio Grande, incluindo seu principal afluente, rio Preto
Fonte: Vieira, 2021.

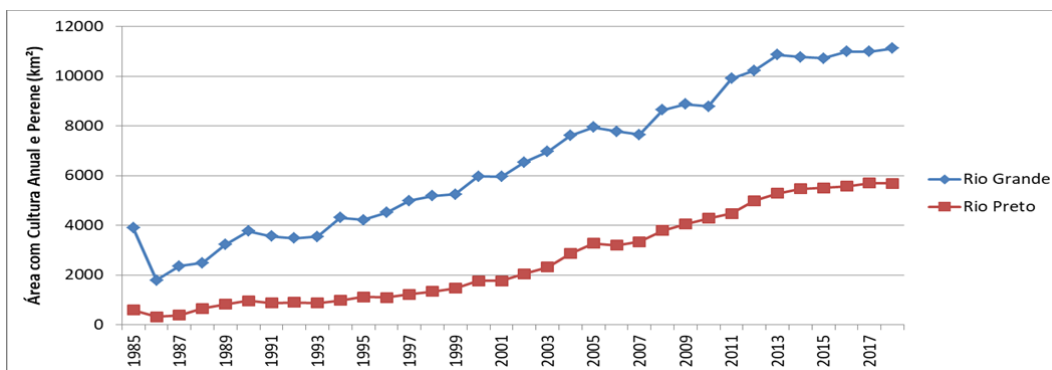


Figura 4.10 – Evolução, ano a ano, da área plantada, com culturas perenes e anuais, na sub-bacia do rio Grande, incluindo seu principal afluente, rio Preto
Fonte: Vieira, 2021.

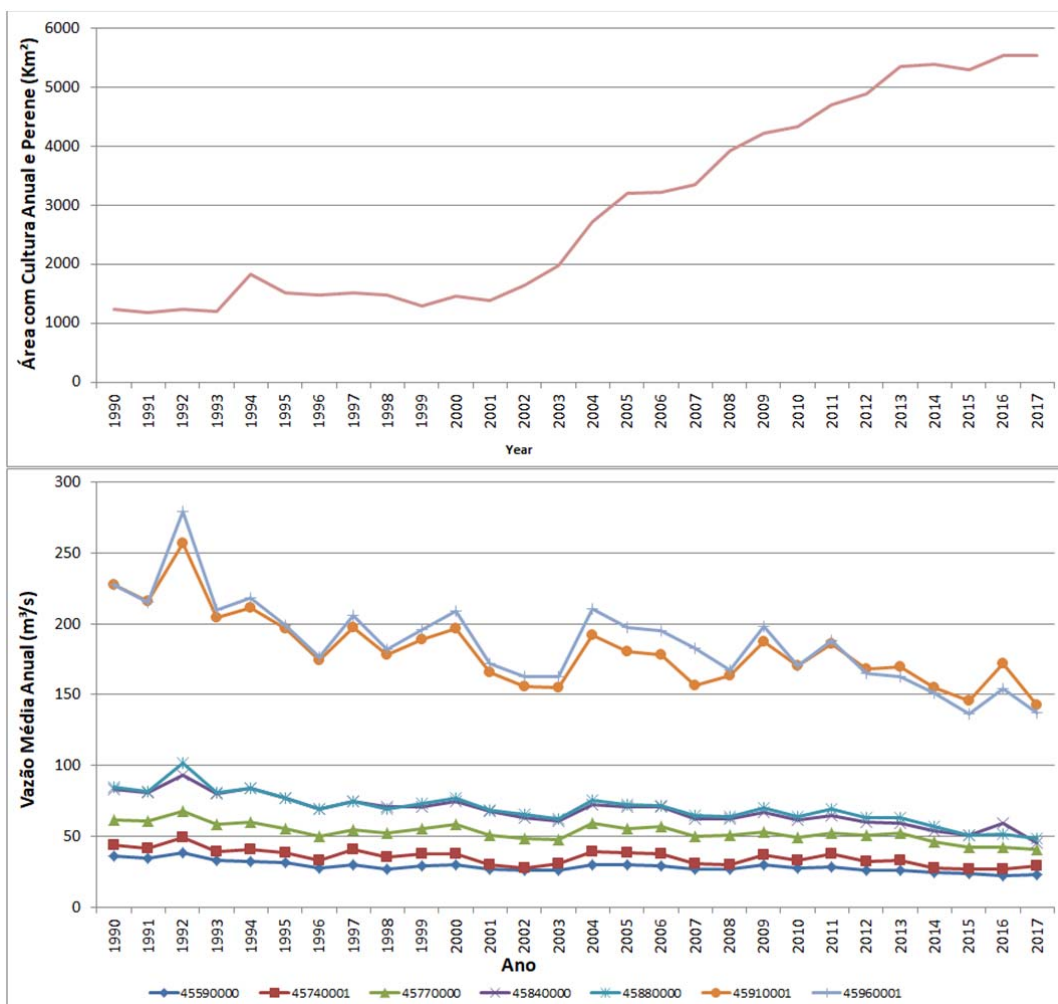


Figura 4.11 – Evolução, ano a ano, da área plantada e com pastagem sobre o SAU, e da vazão nas estações analisadas na bacia do rio Corrente.

Fonte: Vieira, 2021.

Em relação à água subterrânea, constatou-se que os níveis médios anuais dos poços mostraram que não ocorreu variação expressiva nos níveis do aquífero livre regional (mais rasos, até 15 m) e do aquífero confinado (intermediários, entre 15 e 50 m), apenas uma tênue diminuição, que pode ser também devida à diminuição da recarga em função da variabilidade climática. Porém, a avaliação dos níveis mais profundos (maiores que 50 m), vinculados ao aquífero livre profundo, mostra diminuição de 8 m de rebaixamento a partir de 2017, o que remete à exploração dos aquíferos através dos poços profundos, para suprir a demanda da irrigação nos períodos de estiagem, que deve influenciar na reserva não renovável (reserva permanente) do Sistema Aquífero Urucuia (Figura 4.12).

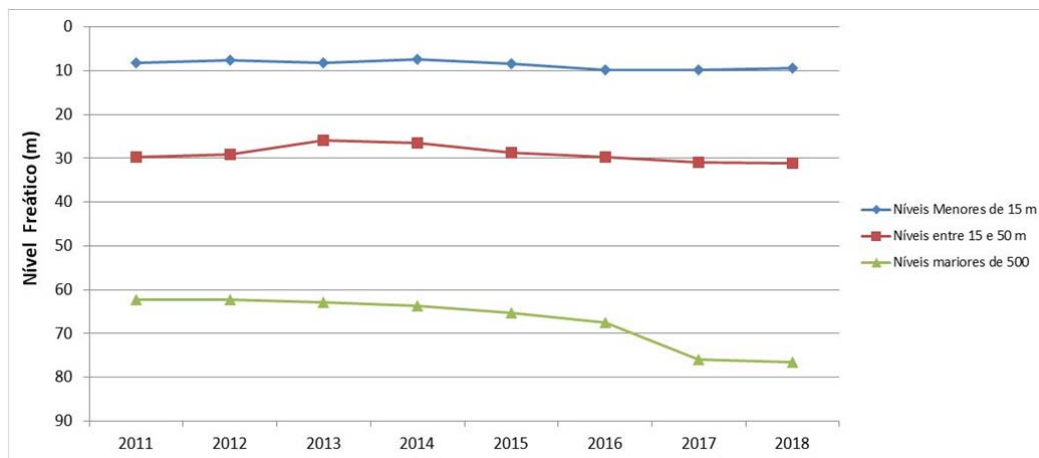


Figura 4.12 – Evolução dos níveis freáticos médios por faixa de variação da profundidade.
Fonte: Vieira, 2021.

Resumindo, a água subterrânea extraída a partir dos poços tubulares profundos para irrigação não está interferindo na vazão dos rios, embora, aparentemente, esteja interferindo na reserva não renovável (reserva permanente) do sistema em sua porção confinada (Vieira, 2021).

E, em relação à correlação dos dados de precipitação com a variação dos níveis de poços, conclui-se que os níveis freáticos entre 15 e 50 m indicam a presença do aquífero regional livre, com forte correlação entre as variáveis (p -valor = $1,01 \times 10^{-7}$). Os níveis maiores que 50 m são indicadores do aquífero livre profundo e apresentam apenas evidência sugestiva de correlação com a precipitação (p -valor entre 0,06 e 0,09). Os níveis mais rasos que 15 m não apresentaram correlação com a precipitação (p -valor > 0,36), indicando que esses poços mostram a condição de artesianismo do aquífero semiconfinado, onde a presença de níveis silicificados em profundidade causa atraso na infiltração, o que limita a correlação entre as chuvas e a recarga (Vieira, 2021).

Portanto, conclui-se, assim, que a água subterrânea extraída a partir dos poços tubulares profundos, para irrigação, não está interferindo na vazão dos rios, embora, aparentemente, esteja interferindo na reserva não renovável (reserva permanente) do Sistema Aquífero Urucuia em sua porção confinada.

E, finalmente, pela análise do médio rio São Francisco, conclui-se que até 20% da vazão anual do rio são absorvidos pela zona cárstica representada pelas rochas carbonáticas do Grupo Bambuí (e da Formação Salitre). E o médio rio São

Francisco recebe vazão média anual de 1.104 m³/s dos afluentes da margem esquerda, dos quais 73% são constituídos pelo escoamento de base efluente do referido sistema (811 m³/s). Considerando o trimestre mais seco na bacia do rio São Francisco, os afluentes da margem esquerda contribuem com a vazão de 755 m³/s, dos quais 671 m³/s são provenientes da vazão efluente do aquífero. Ou seja, a contribuição do SAU corresponde a 36% da vazão total anual do rio São Francisco. No período mais seco, essa contribuição alcança 53% (Vieira, 2021).

4.3. TESES DE DOUTORAMENTO EM ANDAMENTO

4.3.1. Avaliação da Interação dos Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos no Sistema Aquífero Urucuia

Autora: Camila Dalla Porta Mattiuzi

Projeto de Tese de Doutorado em Gestão Integrada de Águas Superficiais e Subterrâneas, em desenvolvimento no Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS

RESUMO

Os processos que influenciam a interação entre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos são complexos, variam temporalmente e espacialmente, e muitas vezes não podem ser fisicamente medidos. Apesar dos desafios, o conhecimento sobre estes processos é de grande importância para monitorar o comportamento dos recursos hídricos ao longo do tempo e subsidiar decisões de uso e gestão.

O objetivo deste estudo é ampliar o conhecimento acerca das interações dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos na região do Sistema Aquífero Urucuia, e avaliar as condicionantes do comportamento dos níveis d'água.

A crescente disponibilidade de dados e o desenvolvimento de novas metodologias vem subsidiando o avanço de estudos na interface

superficial/subterrânea. No âmbito da hidrologia superficial estão disponíveis dados observados a partir de estações climatológicas, pluviométricas e fluviométricas, bem como produtos de satélite que permitem o estudo das variáveis do ciclo hidrológico, como precipitação e evapotranspiração; no âmbito subterrâneo existem avanços no conhecimento hidrogeológico a partir de satélites, do monitoramento em tempo real do nível d'água em poços e do estudo contínuo dos parâmetros e características hidrogeológicas. Como a região do SAU é um polo agrícola, destaca-se a importância de informações sobre mudanças no uso e cobertura do solo e estimativas de demandas hídricas para irrigação.

Com relação às metodologias, além de modelos baseados nos processos físicos, também existem aplicações de abordagens matemáticas e estatísticas do tipo inteligência artificial; destaca-se que a escolha do modelo deve ser fundamentada no objeto de investigação e também nos avanços e inovações nas metodológicas.

A partir do desenvolvimento deste estudo pretende-se aprofundar o conhecimento sobre as interações entre as variáveis do ciclo hidrológico e a relação entre as águas superficiais e subterrâneas ao longo da extensão do Sistema Aquífero Urucuia, incluindo análises sobre a recarga, a evolução temporal das variáveis hidrológicas, as relações entre níveis piezométricos e níveis fluviométricos, as demandas hídricas para usos agrícolas e mudanças no uso e cobertura do solo, entre outros.

4.3.2. Monitoramento de água subterrânea usando medidas conjuntas da rede RIMAS e dos satélites GRACE aplicados a aquíferos no Brasil

Autor: Clyvihk R. Camacho

Projeto de Tese de Doutorado em Engenharia Civil, em desenvolvimento na COPPE/UFRJ.

RESUMO

Trabalhos utilizando o aprendizado de máquina e dados GRACE já são realizados há alguns anos (Coppola *et al.*, 2007; Huang *et al.*, 2019; Sun, 2013). Mais recentemente Huang *et al.* (2019) avaliam a recarga de áreas no Austrália, aplicando modelos de MLP e *Long Short-term Memory* (LSTM) para identificar as relações entre processos de recarga dos aquíferos e precipitação, e concluem que os modelos utilizados podem prever com grande precisão o comportamento da recarga. Hussein *et al.* (2020) aplicam diversas técnicas de aprendizado de máquina para buscar a melhor resposta do comportamento das águas subterrâneas a partir de dados GRACE. Como resultado observa que os modelos de *Support Vector Regression* (SVR) apresentaram as melhores respostas para análises dos dados, demonstrando a grande capacidade dos métodos de aprendizado de máquina na previsão do comportamento das águas subterrâneas. (Zhang, Liu e Wang, 2021) aplica uma redução de escala sobre os dados GRACE para avaliar o armazenamento de águas subterrâneas utilizando modelos de Arvore de Decisão com Gradiente Decrescente Extremo.

A tese de doutorado do pesquisador em geociências Clyvihk R. Camacho busca avaliar a capacidade de modelos de aprendizado profundo de máquina em prever as variações do armazenamento das águas subterrâneas nos aquíferos monitorados pela RIMAS no Brasil, a partir de dados GRACE. Esta análise pode indicar caminhos para uma melhor especialização do armazenamento de água subterrânea no aquífero Urucuia, possibilitar o monitoramento hidrogeológico sem a instalação de uma vasta rede de monitoramento, criar ferramentas muito uteis para a gestão dos recursos hídricos no Brasil e no mundo, além de ser capaz de construir cenários futuros para o armazenamento das águas subterrâneas nas áreas de estudo.

Resultados iniciais mostram que o armazenamento das águas subterrâneas no aquífero Urucuia vem sofrendo repetidas quedas. As variações do armazenamento das águas subterrâneas podem ser observada no mapa de calor dos poços RIMAS instalados no aquífero, que abrange o período de 09/2011 a 06/2020 (Figura 4.13), gerado para um estudo preliminar do aquífero. Nele é possível observar que o processo de armazenamento das águas subterrâneas no aquífero não atende a padrões sazonais bem definidos.

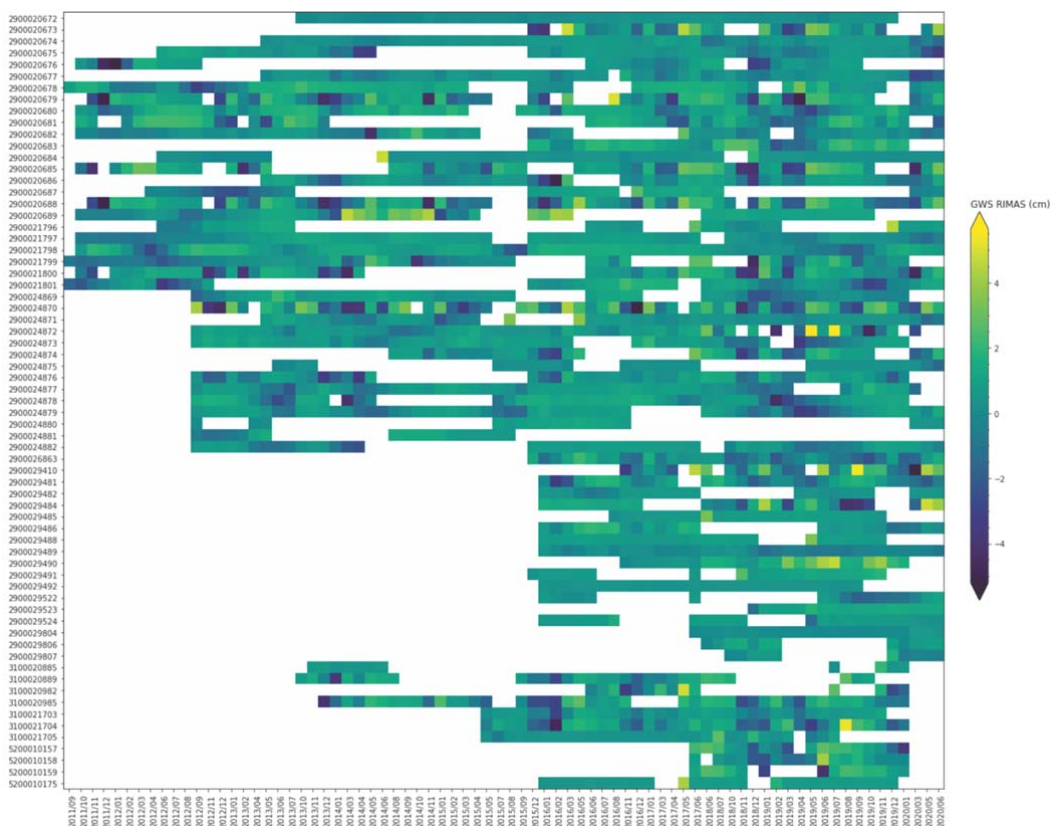


Figura 4.13 – Mapa de calor, variação do GWS/RIMAS para o aquífero Urucuia.
 Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

O armazenamento das águas subterrâneas é obtido pela multiplicação da variação do nível estático do poço pela porosidade efetiva do aquífero, aqui foi utilizada 13% segundo Gaspar e Campos (2007), o resultado é a representação da variação da coluna de água armazenada no aquífero (GWS). O que chama a atenção nesse mapa de calor é a grande quantidade de valores próximos de -4 cm, indicando que o aquífero tem sofrido consecutivas perdas de coluna de água sem a recuperação esperada.

A variação do TWS médio nos poços monitorados pela RIMAS para o aquífero assim como o GWS/RIMAS médio podem ser observados na Figura 4.14, para os períodos de 09/2011 a 06/2020. Novamente, fica evidente a constante perda de coluna de água na área do aquífero (TWS), além da baixa variação do GWS/RIMAS, corroborando com a Figura 4.14.

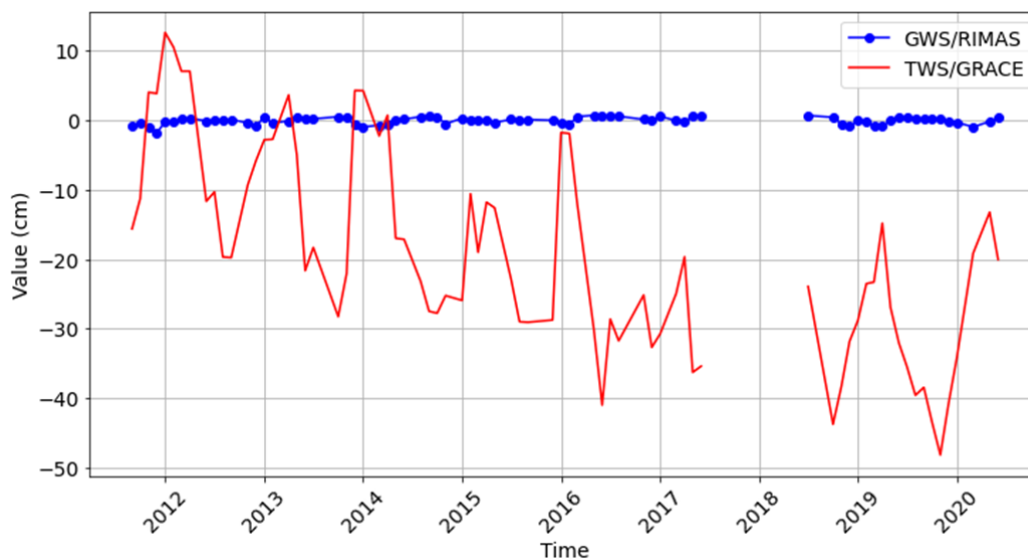


Figura 4.14 – Variação média do TWS/GRACE e GWS/RIMAS para o aquífero Urucuia.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Quanto a modelos de aprendizado de máquina, os resultados iniciais mostram a grande capacidade dos modelos para o estudo hidrogeológico no aquífero Urucuia. O estudo do armazenamento das águas subterrâneas em coluna de água (GWS) a partir dos dados GRACE e RIMAS indica um caminho promissor. A avaliação preliminar dos modelos mostra que o erro médio absoluto (MAE) 0.645 cm, a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) 0.361 cm, o coeficiente de determinação do modelo R^2 ajustado de 0.86 (Figura 4.15) e o coeficiente de Nash-Sutcliffe 0.86, com os dois últimos valores referentes às médias, no tempo, do modelo produzido para o aquífero.

A Figura 4.15 mostra que o modelo tem a capacidade de extrair os valores do GWS a partir de dados GRACE para o aquífero Urucuia com erros inferiores a 0.7 cm, o que pode ser utilizado para avaliar o comportamento do aquífero de forma regional, ou seja, em áreas onde não existem poços instalados da RIMAS.

De forma geral os modelos de aprendizado de máquina têm apresentado resultados relevantes para o avanço no reconhecimento das águas subterrâneas no aquífero Urucuia, demonstrando que é possível realizar o monitoramento do armazenamento das águas subterrâneas a partir dos dados de variação gravitacional fornecidos pelas missões GRACE e GRACE-FO.

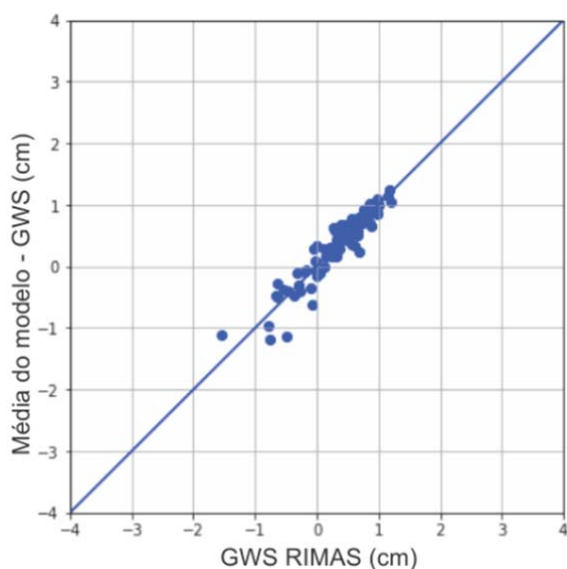


Figura 4.15 – Resultado do modelo de inteligência computacional, para a observação do armazenamento das águas subterrâneas, aplicado ao aquífero Urucuia, R^2 0.86.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

4.3.3. Caracterização do Sistema Aquífero Urucuia na borda ocidental da bacia Sanfranciscana

Autor: Elvis Martins de Oliveira

Projeto de Tese de Doutorado em desenvolvimento na UNESP – Rio Claro.

RESUMO

Os trabalhos foram alinhados ao plano estratégico da empresa atendendo a lacunas no exercício de habilitações funcionais dos seus empregados. Procura enquadrar no mesmo plano os conhecimentos acadêmicos advindos do curso de formação na Universidade e os projetos do Departamento de Hidrologia, em destaque para o desenvolvimento de Técnicas específicas com potencial de agregar valor aos produtos em desenvolvimento nas áreas consideradas prioritárias.

Como resultante da pesquisa uma maior expressão no entendimento da modelagem hidrológica que abarque toda a natureza de gestão da água, pelo importante papel que assume este recurso na manutenção da vida humana, em especial, na sustentabilidade regional das Bacias Hidrográficas das regiões que integram e margeiam o semiárido do Nordeste Brasileiro. A área estudada é parte de uma região que vem sofrendo uma forte pressão na demanda hídrica regional, pela crescente utilização da água subterrânea frente a atual expansão agrícola de escala global, numa área denominada MATOPIBA (Report, 2014), designação composta das iniciais de 4 estados: Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

Preparação e andamento do projeto

Vários estudos do Sistema Aquífero Urucua foram balizados em regiões de exposição na borda oeste de deposição, contribuíram muito ao entendimento através de pesquisas que identificaram as feições com base em afloramentos na Serra Geral no estado de Goiás (São Domingos-Posse), assim que as duas formações que compõem o Grupo Urucua estão ali descritas em diversos trabalhos (Figura 4.16).

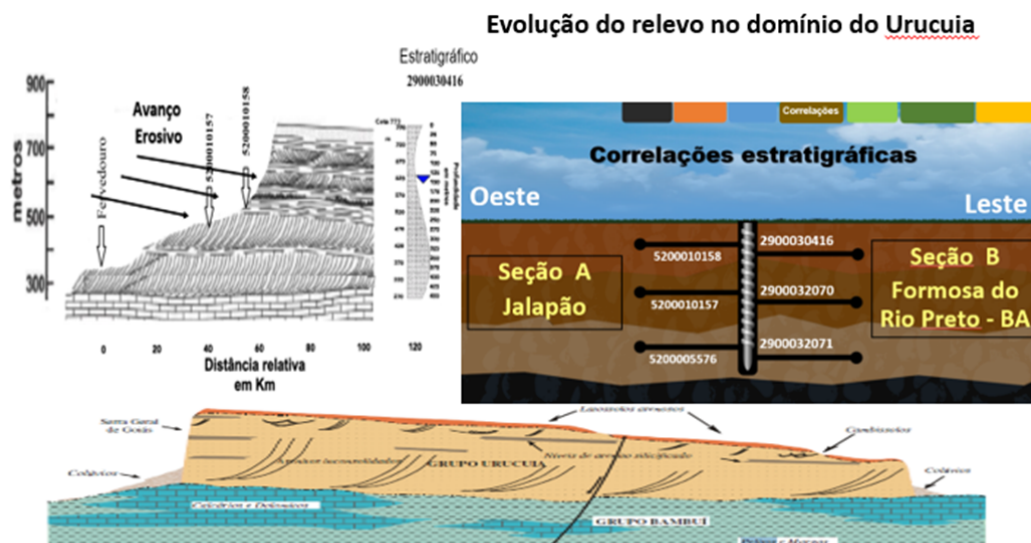


Figura 4.10 - Perfil leste-oeste esquemático do contexto geológico do Sistema Aquífero Urucua no oeste da Bahia.

Gaspar, 2006.

Figura 4.16 – Evolução do relevo no domínio do Urucua.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Para que fosse alcançado um resultado satisfatório na pesquisa foram feitos vários procedimentos seguindo uma metodologia mais indicada pra o efeito:

Primeira etapa – determinação: Obtenção de dados, por meio de levantamentos espaciais e temporais, como por meio de pesquisas bibliográficas.

Segunda etapa – caracterização: Descrição das feições quanto aos *critérios tipificadores*: fácies, superfícies delimitadoras de sequências.

Terceira etapa – aplicação dos instrumentos conceituais. Utilização dos modelos conceituais para a reflexão sobre a adequada aplicação dos instrumentos de caso a caso, modelo para teste das hipóteses de trabalho correlacionando fácies descritas (Figura 4.17).

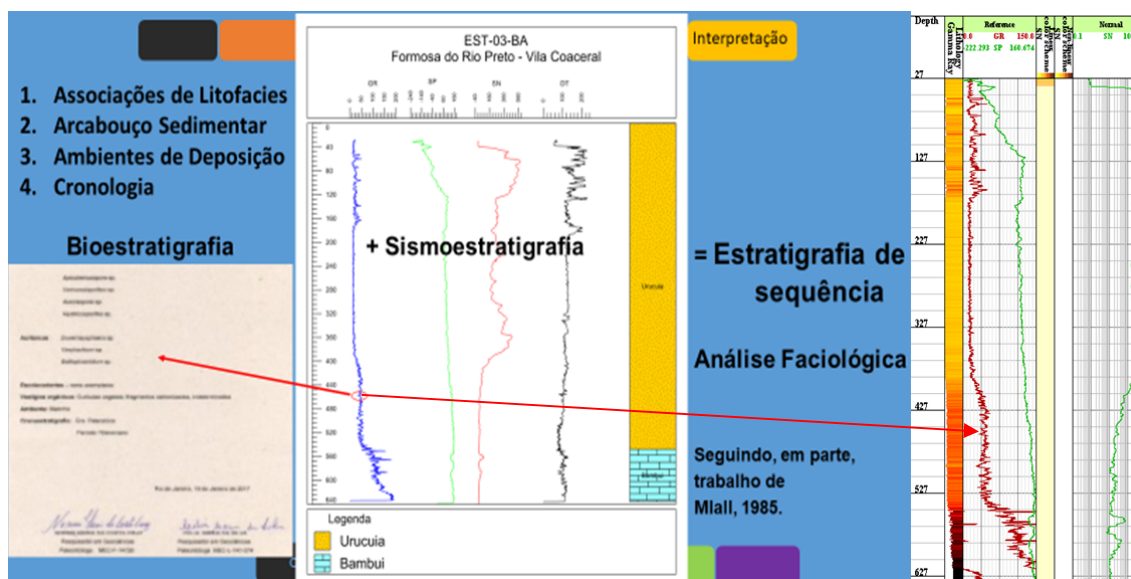


Figura 4.17 – Modelos conceituais: Perfis, Perfilagem sísmica (GR), Fotomicrografias.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Interpretação das perfilagens dos poços

Esse processo sistematizado permite contribuir com o aperfeiçoamento do conceito de modelagem para o devido entendimento das condições hidrogeológicas nessas porções de borda da bacia, a partir dos poços estratigráficos e representativos. No aprofundamento de leituras interpretativas de várias sequências deposicionais são detalhadas através de ampliações da

perfilagem sísmica, gerando uma contribuição a uma modelagem paleoambiental e da evolução do conceito de nível de base estratigráfico e/ou a razão entre espaço de acomodação e suprimento sedimentar (A/S). A princípio, numa interpretação priorística parece mostrar uma variação de fácies da base para o topo registrando uma mudança nas condições paleoambientais da bacia, passando de um ambiente mais seco para mais úmido.

Restrições e providências finais (Fatores críticos)

Para complementação da pesquisa e aprofundamento técnico dos trabalhos novas reuniões foram realizadas no período, para que fossem dados novos rumos aos estudos originais. Foi decidido que se deveria abandonar concepções 'simplistas' com base apenas em umas poucas análises hidroquímica das surgências ou de outros pontos de coleta do entorno da área (poços ou nascentes). Deste modo, todos esforços e avanços esperados na formulação do modelo original serviram ao descarte, gerando espaço a uma nova empreitada onde seria feita a descrição petrológica das fácies e sua correlação ao poço estratigráfico.

Em relação ao estágio atual do curso, o doutorando já concluiu a fase de créditos, estando apto a continuar o desenvolvimento do trabalho ON-JOB, como comprometido na documentação inicial. Os contatos com a Universidade geraram assimilação de conhecimentos indispensáveis do doutorando no preparo para a qualificação, o que depende ainda de novos levantamentos para compatibilizar o modelo de trabalho adotado à validação e submissão à pré-defesa. Nesse ponto tendo em vista a necessidade de atender aos protocolos de segurança foi combinado que os trabalhos de campo só poderiam ser realizados com total segurança sanitária (ainda em NOV/21), o que parece ser mais viável para os dias atuais (JAN/22).

Como providência a ser discutida cabe viabilizar um agendamento de campo para os meses próximos, dentro do calendário de menor precipitação, para cumprimento de atividades previstas.

4.4. CONCLUSÕES

Idealizado em 2015 e implantado em 2016, o projeto “Pesquisa e Estudos na Bacia Escola do Urucuia”, com o objetivo de promover e realizar pesquisas e estudos hidrológicos integrados na área do Sistema Aquífero Urucuia, abordando os diversos temas, como: geologia, hidrogeologia, hidrologia, uso do solo, etc., assim, permitindo o conhecimento do comportamento de todos os recursos hídricos da área da Bacia Sanfranciscana, frente à intensa exploração de águas subterrâneas e à manutenção das vazões de base dos rios São Francisco, Tocantins e Parnaíba, considerando o equilíbrio ecológico da região.

E, hoje, após seis anos atuação, entende-se que o projeto atendeu e continua atendendo ao objetivo proposto, uma vez que conta-se com duas teses de doutorado e uma dissertação de mestrado concluídas, além de duas teses de doutorado em andamento. Desta forma importantes elementos vão sendo incorporados para o entendimento da integração da água subterrânea com a superficial, além de dar subsídios para promoção da gestão integrada dos recursos hídricos da região.

CAPÍTULO 5. DIAGNÓSTICOS HIDROLÓGICOS COMPLEMENTARES

**Autores: Alice Silva de Castilho,
Roberto Kirchheim e
Eber Jose de Andrade Pinto**

Atualmente, o Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) está desenvolvendo dois estudos na área do Sistema Aquífero Urucuia, cujos resultados devem ser publicados em 2022: Hidrologia Estudos Hidrogeológicos Integrados da Bacia do Rio Carinhanha, em parceria com a ANA, e Estudos Isotópicos na Bacia Hidrográfica do São Francisco, incluindo as áreas do SAU, institucionalmente.

5.1. ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS INTEGRADOS DA BACIA DO RIO CARINHANHA

Os estudos, ora em desenvolvimento na bacia do Rio Carinhanha, envolvem várias temáticas a saber: Geologia, Geomorfologia, Hidrogeologia, Hidrologia, Uso do Solo e Cobertura Vegetal e tem como objetivo aprofundar o conhecimento geocientífico na bacia e propor alternativas para a gestão dos recursos hídricos de forma integrada nesta bacia que está localizada no Aquífero Urucuia e parte no estado da Bahia e no estado de Minas Gerais, compartilhando recursos superficiais e subterrâneos.

Os avanços na área de Geologia e Hidrogeologia nesse trabalho já foram apresentados no capítulo I do presente relatório. Já a parte referente a Hidrologia se encontra detalhada a seguir.

5.1.1. Hidrologia da Bacia do Rio Carinhanha

A bacia hidrográfica do rio Carinhanha está localizada na margem esquerda do Rio São Francisco, na divisa dos Estados de Minas Gerais e Bahia e tem a área aproximada de 17.215 km². Os principais cursos d'água da bacia são os rios Carinhanha e Itaguari, ambos de domínio da União. A bacia hidrográfica do Rio Carinhanha engloba 11 municípios: Formoso, Bonito de Minas, Arinos,

Januária, Montalvânia, Cônego Marinho e Juvenília em MG; Carinhanha, Feira da Mata, Coribe e Cocos na BA.

Na bacia do Rio Carinhanha, do ponto de vista gerencial/institucional, a implementação da gestão integrada aborda um cenário singular, uma vez que o seu contexto inclui dominialidade da União no que tange aos rios Carinhanha e Itaguari e estadual, referente aos afluentes e às águas subterrâneas. Além disso, a bacia do Carinhanha é caracterizada pela forte interação entre as águas subterrâneas de aquíferos porosos (Grupo Urucuia) e cársticos (Grupo Bambuí) com as águas de superfície. Essas características enquadraram a bacia como uma área prioritária para aplicação das diretrizes para a gestão integrada definidas na resolução nº 202/2018 do CNRH.

Com base nessas características, foi proposta a investigação e análise multitemática do meio físico, incluindo as alterações antropogênicas, com o propósito de ampliar o conhecimento a respeito dos sistemas aquíferos cársticos, fissuro-cársticos e porosos na bacia do rio Carinhanha, a partir da identificação das interações e influências dos diversos fatores na ocorrência, potencialidade, dinâmica de fluxo e nos aspectos qualitativos e quantitativos. As informações geradas deverão fornecer bases para a gestão destas áreas apontadas como piloto.

A partir do ano de 2009, através da Nota Técnica nº 021/2009/SGI-ANA, houve uma mudança de concepção sobre a bacia do Carinhanha. A bacia teve a toponímia fluvial redefinida após a constatação de que o rio Itaguari possui uma área de drenagem de 6.338 km², a montante da confluência com o rio Carinhanha, superior a área delimitada pelo Carinhanha, que é de 5.817 km² (Figura 5.1).

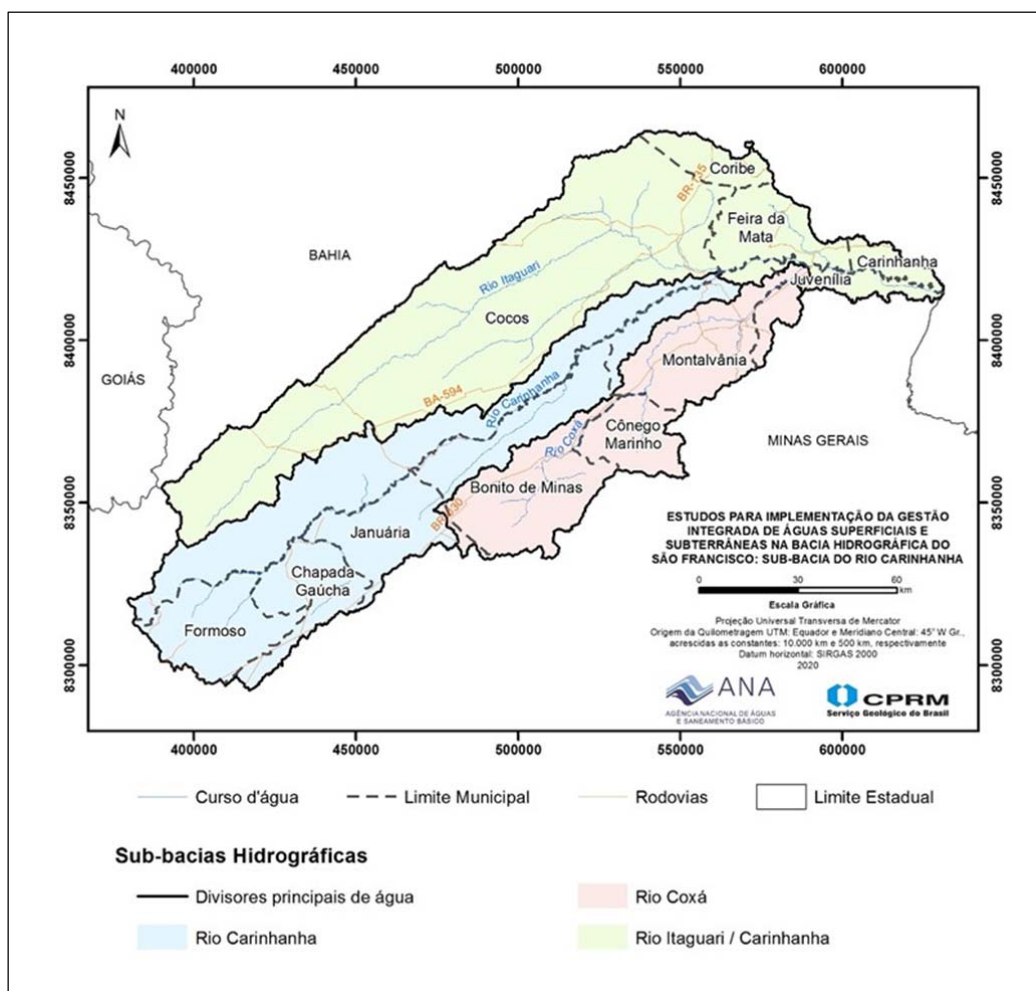


Figura 5.1: Divisão hidrográfica e municipal da bacia hidrográfica do rio Itaguari.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Com a nova revelação passou-se então a considerar-se como rio principal o Itaguari, que por sua vez, passou a assumir legalmente a dominalidade federal. Para tanto, entendeu-se por esse novo traçado, o trecho que vai desde a nascente do rio Itaguari, no estado da Bahia, passando pela confluência com o rio Carinhanha, e seguindo sua trajetória até a foz no rio São Francisco, entre os estados de Bahia e Minas Gerais. Ressalta-se, que neste estudo se adotará a denominação de bacia do rio Carinhanha.

O comportamento hidrológico da bacia do rio Carinhanha é acompanhado por redes fluviométricas pertencentes a diversas instituições, a saber, cinco estações da Rede Hidrológica Nacional (RHN), gerenciada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e operada pela CPRM, com dados desde 1945 em algumas estações; duas estações do Instituto do

Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia (INEMA), com início de operação em 2004; três estações da RHUrucuia (rede institucional da CPRM), com início de operação em 2014; e um ponto de monitoramento em uma estação da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), com medições esporádicas mensais desde 2009.

Além disso, para o presente projeto, a CPRM está promovendo medições de vazão no período seco em alguns pontos da bacia. A Tabela 5.1 e a Figura 5.2 apresentam as redes de monitoramento fluviométrico e estes pontos de medição extra.

Utilizando as séries das cinco estações da RHN com 50 anos de dados, até o momento para a caracterização fluviométrica da bacia foram efetuados os seguintes estudos: estimativa das vazões características; separação de escoamento; regionalização de curvas de permanência de vazões totais e de base; verificação das regiões homogêneas usando dados das estações do INEMA e RHUrucuia; avaliação dos dados da COPASA e medições extras realizadas nas campanhas de julho e setembro de 2019; análise das curvas de permanência anuais; e análise de Q90 e Q95% mensais.

A continuidade dos estudos de caracterização fluviométrica pretende responder três questões: 1) As séries históricas de vazões são estacionárias?; 2) É possível flexibilizar o valor da outorga em função de ser um ano mais úmido ou seco?; e 3) É possível flexibilizar o valor da outorga em função da variação das vazões ao longo dos meses?

Tabela 5.1 – Características das estações fluviométricas e pontos de medição de vazão da bacia do rio Carinhanha

| ITEM | CÓDIGO | NOME | RIO | LATITUDE | LONGITUDE | AD (KM ²) | INÍCIO | INSTITUIÇÃO |
|------|----------|----------------------|------------|----------|-----------|-----------------------|-----------|-----------------|
| 1 | CA1 | Carinhanha 1 | Carinhanha | -15,1233 | -45,8314 | 691 | 2019 | Proj.Carinhanha |
| 2 | CA2 | Carinhanha 2 | Carinhanha | -15,2146 | -46,0347 | 72 | 2019 | Proj.Carinhanha |
| 3 | CA3 | Carinhanha 3 | Carinhanha | -14,9422 | -45,4489 | 3163 | 2019 | Proj.Carinhanha |
| 4 | CA4 | Carinhanha 4 | Carinhanha | -14,8350 | -45,3169 | 3710 | 2019 | Proj.Carinhanha |
| 5 | CA5 | Carinhanha 5 | Afluente | -15,1862 | -45,8897 | 246 | 2019 | Proj.Carinhanha |
| 6 | IT 1 | Itaguari 1 | Itaguari | -14,7684 | -45,6866 | 816 | 2019 | Proj.Carinhanha |
| 7 | IT 2 | Itaguari 2 | Itaguari | -14,4208 | -45,1628 | 2281 | 2019 | Proj.Carinhanha |
| 8 | CO1 | Coxá 1 | Coxá | -14,5263 | -44,6277 | 2098 | 2019 | Proj.Carinhanha |
| 9 | CO2 | Coxá 2 | Coxá | -14,9161 | -44,9760 | 363 | 2019 | Proj.Carinhanha |
| 10 | 45120000 | Sumidor das Gaitas | Carinhanha | -14,7433 | -45,1425 | 4243 | 2014 | RHUrucuia |
| 11 | 45125000 | Vereda Grande | Carinhanha | -14,4955 | -44,8058 | 5479 | 2014 | RHUrucuia |
| 12 | 45155500 | Santa Luzia | Itaguari | -14,1769 | -44,7534 | 3344 | 2014 | RHUrucuia |
| 13 | 45131000 | São Gonçalo | Carinhanha | -14,3131 | -44,4610 | 6020 | 1948 | RHN |
| 14 | 45210000 | Lagoa das Pedras | Carinhanha | -14,2774 | -44,4032 | 12600 | 1969 | RHN |
| 15 | 45260000 | Juvenília | Carinhanha | -14,2566 | -44,1601 | 16300 | 1964 | RHN |
| 16 | 45170001 | Fazenda Porto Alegre | Itaguari | -14,2642 | -44,5222 | 5850 | 1945 | RHN |
| 17 | 45220000 | Capitânea | Coxá | -14,4236 | -44,4834 | 2380 | 1950 | RHN |
| 18 | 45155000 | Fazenda Velha | Itaguari | -14,2047 | -44,8163 | 3220 | 1969/1981 | RHN – Ext. |
| 19 | 45239998 | Montalvânia – mont. | Coxá | -14,4184 | -44,3851 | 2560 | 1955/1981 | RHN – Ext. |
| 20 | 45154000 | Ponte do Fortunato | Itaguari | -14,6395 | -45,5020 | 1350 | 2004 | INEMA |
| 21 | 45156000 | Ponte Rio Itaguari | Itaguari | -14,2347 | -44,6216 | 4545 | 2004 | INEMA |
| 22 | 2224 | COPASA-Montalvânia | Dos Poções | -14,5216 | -44,3924 | 156 | 2009 | COPASA |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Em relação aos estudos pluviométricos foram realizadas as primeiras análises estatísticas das oito séries consistidas, ou seja, Carinhanha, código 01443002 (54 anos); Lagoa das Pedras, código 01444005 (46 anos); São Gonçalo, código 01444000 (69 anos); Fazenda Porto Alegre, código 01444017 (67 anos); Capitânea, código 01444001 (66 anos); Cajueiro, código 01445000 (32 anos); Juvenília, código 01444004 (50 anos); e Gaúchos, código 01545004 (22 anos); todas inseridas na bacia do rio Carinhanha como ilustra a Figura 5.3.

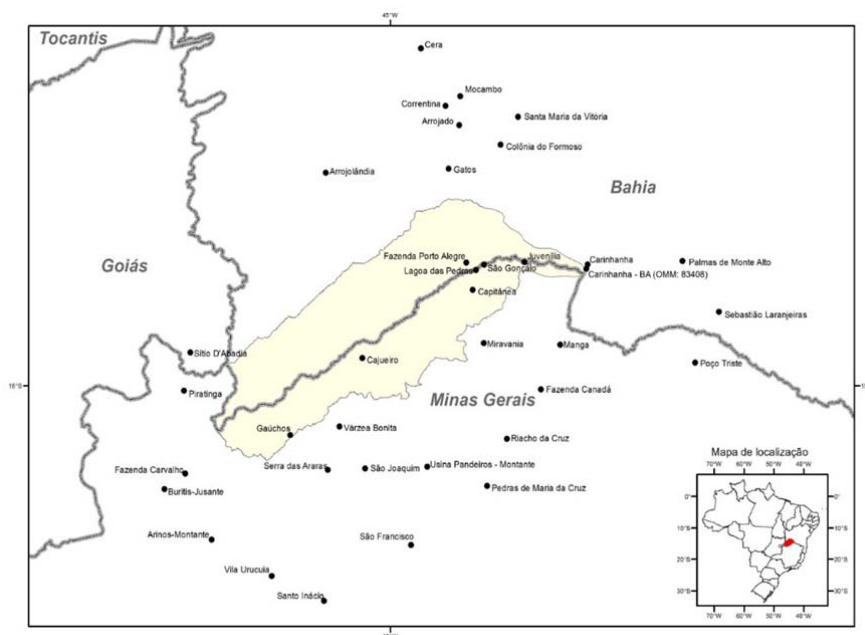


Figura 5.3 – Estações Pluviométricas utilizadas no estudo
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

O ano hidrológico médio inicia em outubro e finaliza em setembro do ano seguinte. Mas pode iniciar em setembro ou novembro. A média anual da precipitação das oito séries é de 967,7mm, sendo que a parte leste da bacia apresenta menores médias. O semestre mais chuvoso é de outubro a março com 91% da precipitação do ano hidrológico. O trimestre mais chuvoso é de novembro a janeiro com 58% da altura anual em média. O trimestre mais seco de junho a agosto, com 1,7% da chuva no ano hidrológico. Dezembro é o mês com maior média de chuva e julho é o mês de menor média.

Atualmente está sendo realizada a consistência das 29 séries temporais restantes. Isto permitirá a elaboração dos mapas de isoietas mensais e de média

anual e a finalização das análises estatísticas dos dados pluviométricos da bacia do rio Carinhanha.

Neste estudo, considerando somente a abordagem da hidrologia de superfície, pretende-se aplicar pelo menos dois métodos para a estimativa da recarga na bacia. O primeiro é a estimativa da recarga a partir do escoamento de base e o segundo é o cálculo do balanço hídrico no solo.

Inicialmente foi realizada a separação do escoamento do escoamento de cinco estações fluviométricas da RHN (50 anos de dados). A separação entre o escoamento de base e superficial foi realizada empregando o filtro de Eckhardt e os resultados estão apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Resultados da estimativa preliminar da recarga anual (mm)

| CÓDIGO | NOME | RIO | A (km ²) | MÉDIA | DP | MIN | MAX |
|----------|------------------|------------|----------------------|-------|------|-------|-------|
| 45131000 | São Gonçalo | Carinhanha | 6020 | 261,4 | 63,9 | 142,1 | 406,9 |
| 45170001 | Faz Porto Alegre | Itaguari | 5850 | 274,4 | 54,2 | 161,3 | 401,2 |
| 45210000 | Lagoa das Pedras | Carinhanha | 12600 | 251,0 | 57,6 | 141,4 | 386,1 |
| 45220000 | Capitânea | Coxá | 2380 | 113,5 | 37,7 | 47,9 | 193,9 |
| 45260000 | Juvenília | Carinhanha | 16300 | 210,0 | 48,9 | 118,1 | 322,0 |

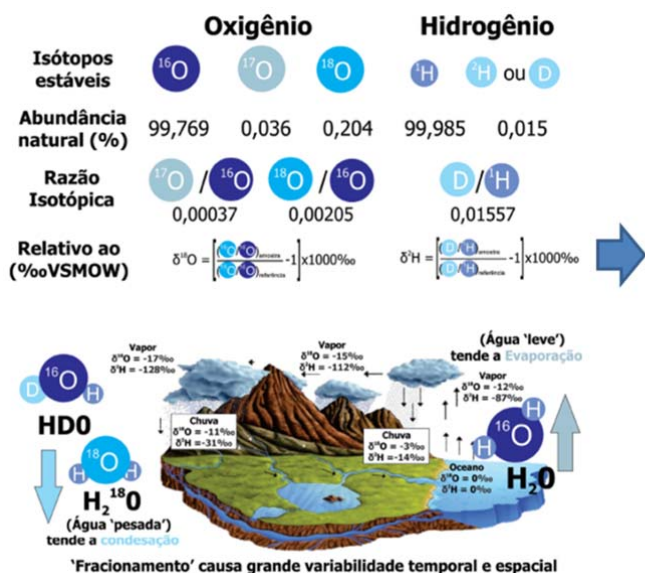
Ainda pretende-se verificar os escoamentos de base nas áreas incrementais entre as estações fluviométricas da bacia, fazer a estimativa da recarga por meio de balanço hídrico no solo e comparar os resultados obtidos pelas diferentes metodologias.

Também, dentro do escopo do projeto, estão sendo realizados os levantamentos dos recursos hídricos superficiais outorgados na bacia do rio Carinhanha, um cadastramento dos usos superficiais, bem como, a estimativa indireta do uso consuntivo da água.

5.2. ESTUDOS ISOTÓPICOS NO SAU

Em função da importância das águas subterrâneas, isótopos estáveis de Hidrogênio (H) e Oxigênio (O) vêm sendo usados em estudos hidrológicos climatológicos e hidrogeológicos no Brasil desde o início da década de 1970 (Kirchheim *et al.*, 2019). O estabelecimento de grupos de pesquisa em

hidrogeologia e o desenvolvimento de técnicas analíticas conduziram a um incremento do emprego desta técnica no país. Isótopos são átomos de um mesmo elemento químico com igual número de prótons, porém com distintos números de nêutrons em seu núcleo, resultando em massas atômicas diferentes. São divididos em duas categorias: estáveis e os instáveis (ou radioativos). Os isótopos estáveis de O e H, constituintes da molécula da água, são amplamente utilizados na compreensão da sua movimentação ao longo do ciclo hidrológico. Durante as mudanças de fase da água ocorrem variações em suas abundâncias relativas. As medidas das quantidades dos isótopos ambientais não são absolutas, mas sim representam a razão entre o isótopo menos abundante (pesado) e o mais abundante (leve). Sua notação está baseada na comparação das variações nas razões entre os isótopos em relação a um padrão. As variações espaciais e temporais nas razões isotópicas das moléculas de água, ao longo do ciclo hidrológico, estão associadas a um processo físico-químico denominado 'fracionamento isotópico', definido como o particionamento de isótopos quando submetidos a mudanças de fase (Mook, 2000), conforme Figura 5.4.



Isótopos estáveis da água no ciclo hidrológico. Na parte superior da figura são apresentados os isótopos estáveis de H e O, com suas abundâncias naturais e as razões associadas a essa abundância natural (Fonte dos dados isotópicos: Mook 2000). Na porção inferior o comportamento dos isótopos frente aos processos de mudança de fases da água e seus reflexos na variabilidade temporal e espacial dos isótopos (Ilustração modificada de Yoshimura 2015 e Gastmans et al, 2021).

Figura 5.4 – Ilustração conceitual sobre isótopos estáveis (Gastmans *et al.*, 2021; Mook, 2000; Yoshimura, 2015).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Diante de um cenário em que as mudanças climáticas têm acelerado a busca por fontes subterrâneas para o abastecimento, essa pressão sobre os reservatórios tem levado a sua depleção em diversas partes do globo, tratando-se de uma questão relevante na gestão dos recursos hídricos (Ezaki *et al.*, 2020; Famiglietti, 2014). Os isótopos estáveis de H e O podem trazer valiosas contribuições em relação a aspectos relevantes relacionados com a sustentabilidade do recurso (recarga, tempo de residência e taxas de renovação) e a sua proteção. São excelentes traçadores das transformações físicas sofridas pela água ao longo do ciclo hidrológico. Assim, fornecem informações importantes em relação à história de sua movimentação, o que reforça a sua utilidade como informação auxiliar na interpretação dos controles climáticos exercidos na precipitação e suas relações com a recarga das águas subterrâneas (Coplen, Herczeg e Barnes, 2000), especialmente devido a extensão temporal e espacial limitada da rede de monitoramento hidroclimático ao redor do globo (Aggarwal *et al.*, 2012).

5.2.1. Os isotópicos no Sistema Aquífero Urucuia (SAU)

Os primeiros estudos isotópicos foram realizados na década de 2000 principalmente na Bacia Hidrográfica do Rio das Fêmeas no Estado da Bahia (Nascimento *et al.*, 2003). Envolveram a coleta e a comparação entre as assinaturas isotópicas de águas subterrâneas e as águas superficiais. As similaridades isotópicas estariam de acordo com as observações hidráulicas, sem maiores aprofundamentos nos processos de interação entre os compartimentos. Estudos realizados por Luz *et al.* (2009) mostraram para as águas subterrâneas valores médios de $\delta^{18}O$ de $-4,4\text{‰}$, enquanto os valores de δ^2H variaram entre $-35,9\text{‰}$ e $-10,9\text{‰}$ em setembro de 2001 e de $-36,9\text{‰}$ a $-13,6\text{‰}$ em junho de 2002. As razões das águas superficiais foram semelhantes. Na estação seca os valores indicaram que toda a contribuição das águas superficiais provém do fluxo de base subterrâneo. Barbosa (2016) conduziu estudo baseado em coletas isotópicas de águas subterrâneas, águas de chuva e dos rios em diferentes estações. Foi identificado um comportamento distinto da composição isotópica de acordo com sazonalidade. A composição isotópica das águas subterrâneas coincide com a da precipitação nos períodos úmidos, com ajuste à Reta Meteorológica Global (RMG), o que permitiu associar a ocorrência de recarga direta a partir da infiltração dos excessos pluviais e efeitos secundários

de evaporação. Em contrapartida, na estação considerada seca, as assinaturas isotópicas das águas subterrâneas diferem das águas superficiais, devido ao enriquecimento provocado pela evaporação. O autor nota uma transição entre estes dois extremos sazonais, em conclusão ligeiramente distinta dos estudos anteriores. Finalmente, um amplo estudo regional, coordenado pela ANA, utilizou os isótopos como ferramenta complementar na caracterização hidrogeoquímica (ANA, 2017). Os resultados indicaram que para as águas subterrâneas os valores de $\delta^{18}O$ e de δ^2H variaram entre $-7,03\text{‰}$ e $+1,23\text{‰}$, e $-45,91\text{‰}$ e $+0,84\text{‰}$, respectivamente. A maioria das águas coletadas em nascentes e poços tem composição isotópica próxima à RMG. Os estudos relacionados aos isótopos estáveis foram complementados por análises isotópicas de 3H e ^{14}C , indicando idades desde submodernas (anterior a 1952) até águas com cerca de 3.000 anos. Cabe destacar que as amostragens podem refletir misturas de águas em um mesmo poço, ou seja, águas mais antigas na parte mais profunda do poço, com águas mais jovens na parte mais superficial do poço, interferindo assim nos resultados.

5.2.2. Componente Isotópica SGB

Caracterização Isotópica da Chuva

A reinauguração da rede de monitoramento da composição isotópica da precipitação conduzida pelo SGB-CPRM em parceria com a AIEA (através do programa GNIP—*Global Network for Isotopes in Precipitation*, ANA, UNESP entre outras instituições parceiras) têm produzido as informações consideradas de *baseline*, essenciais para todo e qualquer estudo de caráter hidrológico hidrogeológico, climatológico e ou interdisciplinar que envolva informações isotópicas: Ressalta-se aqui que a determinação das retas meteóricas locais para estas regiões pode contribuir de maneira mais efetiva na comparação com os demais reservatórios, melhorando o entendimento sobre os processos de recarga dos aquíferos. No caso específico do SAU, e dentro da área de afetação climatológica, foram instaladas as seguintes estações coletoras: (Barreiras, Salvador, Goiânia Serra da Canastra-MG, Palmas, Juazeiro do Norte e Recife). A Figura 5.5 ilustra as referidas estações GNIP, com as respectivas datas de instalação e início de operação. Em cada estação, são coletadas amostras

compostas das chuvas mensais, sendo estas alíquotas as que efetivamente são enviadas para os laboratórios da AIEA em Viena, Áustria.

Ressalta-se que as informações isotópicas das referidas estações encontram-se em processamento nos laboratórios da AIEA. Não houve interrupção das coletas durante a pandemia e as chuvas mensais foram coletadas de forma regular em todas as estações operantes. Tão breve sejam enviados ao SGB, serão sistematizadas de forma gráfica (relação $^{18}\text{O} \times ^2\text{H}$) compondo as chamadas Retas Meteóricas Locais (RML) e de forma estatística buscando-se nexos sazonais e climatológicos gerais e específicos.

Caracterização Isotópica das Águas Superficiais

Além de promover as coletas e análises das chuvas no entorno e no epicentro do SAU através da rede GNIP, o SGB-CPRM também conduz o monitoramento isotópico das águas superficiais do Rio São Francisco e afluentes no espaço territorial de sua bacia hidrográfica, incluindo as áreas de abrangência do referido sistema aquífero. Trata-se de um projeto piloto apoiado pela AIEA denominado de GNIR (*Global Network for Isotopes in Rivers*). Neste sentido, apesar da pandemia, o SGB-CPRM em virtude de sua capilaridade e agilidade operativa foi capaz de conduzir campanhas de coleta isotópica em toda a Bacia Hidrográfica do São Francisco, incluindo áreas específicas no âmbito do SAU. A Figura 5.6 ilustra o mapa identificando a localização das amostras coletadas. Todas as amostras foram coletadas na mesma estação do ano (entre julho e setembro de 2021). As alíquotas, devidamente filtradas, estão sendo processadas no Laboratório Isotópico da UNESP de Botucatu em São Paulo com previsão de entrega é fevereiro de 2022. Está prevista nova coleta nos mesmos locais no período considerado úmido de 2022. Toda esta iniciativa é inédita e pioneira. Após o diagnóstico, será desenhada a rede de monitoramento permanente de monitoramento isotópico na referida bacia.

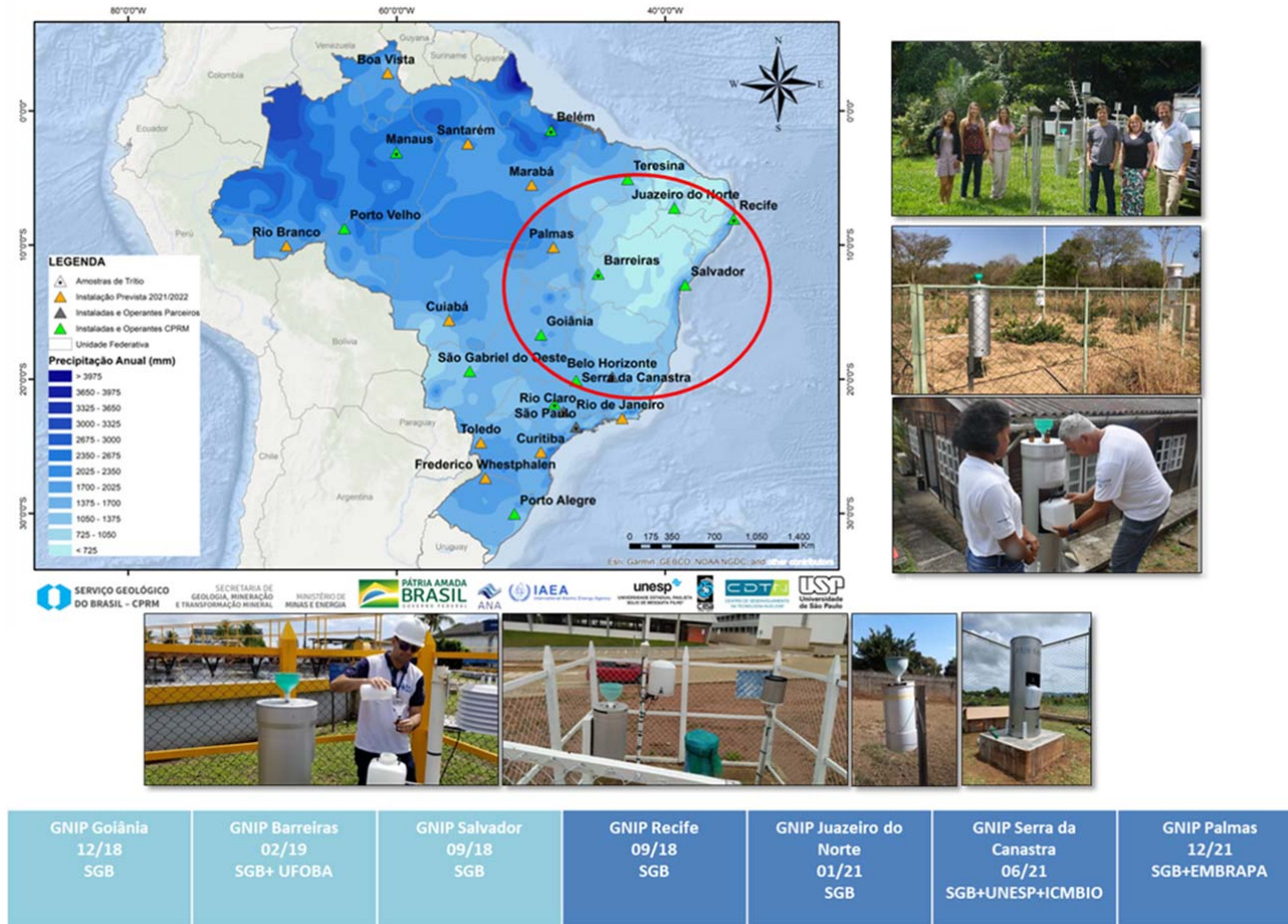


Figura 5.5 – Estações GNIP’s instaladas e mantidas pelo SGB e parceiros com influência nos estudos no SAU.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

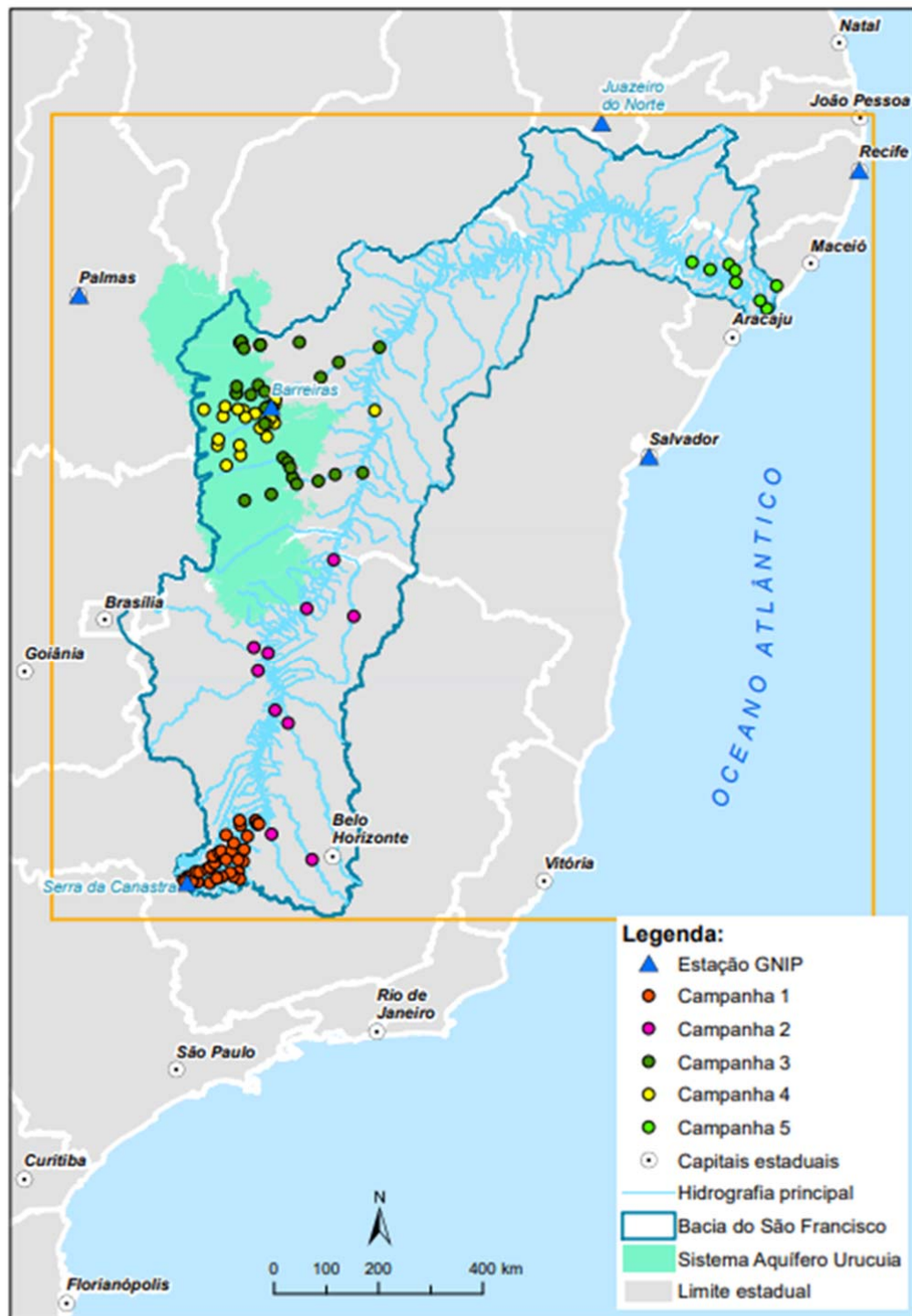


Figura 5.6 – Pontos de amostragem isotópica de água superficial na campanha da estação seca de 2021.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Caracterização Isotópica de Água Subterrânea

A iniciativa isotópica água subterrânea baseia-se na coleta e análise isotópica das águas subterrânea extraídas dos poços de monitoramento que pertencem à rede de monitoramento de água subterrânea que o SGB-CPRM opera no referido sistema aquífero. Esta rede de monitoramento faz parte da Rede RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento de Água Subterrâneas), programa vigente em todos os principais aquíferos do país. No caso específico do SAU, esta rede é composta de 61 poços de monitoramento, especialmente dedicados e equipados. Em 2018 houve uma primeira campanha isotópica de caráter preliminar envolvendo coletas em apenas 08 poços da referida rede. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Isotopia da USP de São Paulo. O espectrômetro de massa do referido laboratório apresentou avaria antes mesmo do início do processamento das análises, problema que perdurou nos anos de 2020-2021. Expectativa de entrega dos resultados para março de 2022.

A tese de doutorado desenvolvida por Oliveira (2020), auspiciada pela Comissão Técnico Científica (CTC) do SGB, por sua vez, apresenta resultados isotópicos, os quais fazem parte do acervo da iniciativa do SGB no SAU. Foram realizadas análises de isótopos ambientais de Oxigênio e Deutério, de coletas realizadas em 2005/2006 e em 2016, da seguinte forma: i) 26 amostras de águas de rios; ii) 37 poços amostrados em 03 campanhas em 2005/2006 e 23 poços amostrados em 2015/2016. Além dos isótopos ambientais, o isótopo radiogênico ^3H (Trítio) foi analisado para águas de rio (03) e poços (05) visando uma interpretação qualitativa dos tempos de residência. As análises de isótopos estáveis foram realizadas no Laboratório de Física Nuclear da UFBA. As análises de ^3H foram realizadas no Laboratório de Trítio Ambiental do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear-CDTN.

As águas subterrâneas amostradas posicionaram-se abaixo e paralelamente à Reta Meteórica Local (LMWL) indicando recarga por infiltração direta (Figura 5.7). Nota-se ainda que as assinaturas isotópicas das águas subterrâneas se aproximam às das águas de chuva mais empobrecidas em ^{18}O (Figura 5.7). Isso leva a possíveis interpretações: i) evidencia o efeito quantidade onde fortes chuvas são correlacionadas a valores mais negativos de ^{18}O resultando em recargas efetivas apenas em chuvas de grande volume e em concordância com as estimações de recarga; ii) condições climáticas distintas em tempos geológicos distintos e que deram origem a recargas distintas. A

similaridade das assinaturas entre águas superficiais e subterrâneas, para os dois períodos amostrados, indica ainda a forte conexão hidráulica entre rios e aquífero. Da mesma forma, a similaridade das assinaturas isotópicas entre águas de poços rasos e profundos, captadas em diferentes Formações do SAU traz consequências para o modelo conceitual a ser modelado. As águas do SAU são atribuídas como sendo essencialmente de águas de chuva, sem mistura com águas de aquíferos mais profundos.

Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ das águas dos rios amostradas durante o período de recessão (-5,65‰) é aproximadamente igual à média em épocas chuvosas (-5,7‰), representando, respectivamente, as médias das assinaturas isotópicas de águas subterrâneas (fluxo de base) e a média da mistura águas subterrâneas e chuvas, podendo evidenciar a pequena contribuição do escoamento superficial direto sobre a vazão dos rios. Estes valores são muito próximos da média das águas de poços (-5,88‰), evidenciando infiltração direta da chuva na recarga do aquífero, homogeneização espacial das águas superficiais e subterrâneas e a conexão rio/aquífero. A baixa variabilidade sazonal das amostras de rio também evidencia a dominância da contribuição das águas subterrâneas sobre a contribuição das águas de chuvas no escoamento superficial. A resposta da variabilidade entre o $\delta^{18}\text{O}$ das cabeceiras em relação à jusante no período chuvoso (dezembro) está relacionada à influência da evaporação sobre as águas superficiais ao longo do rio.

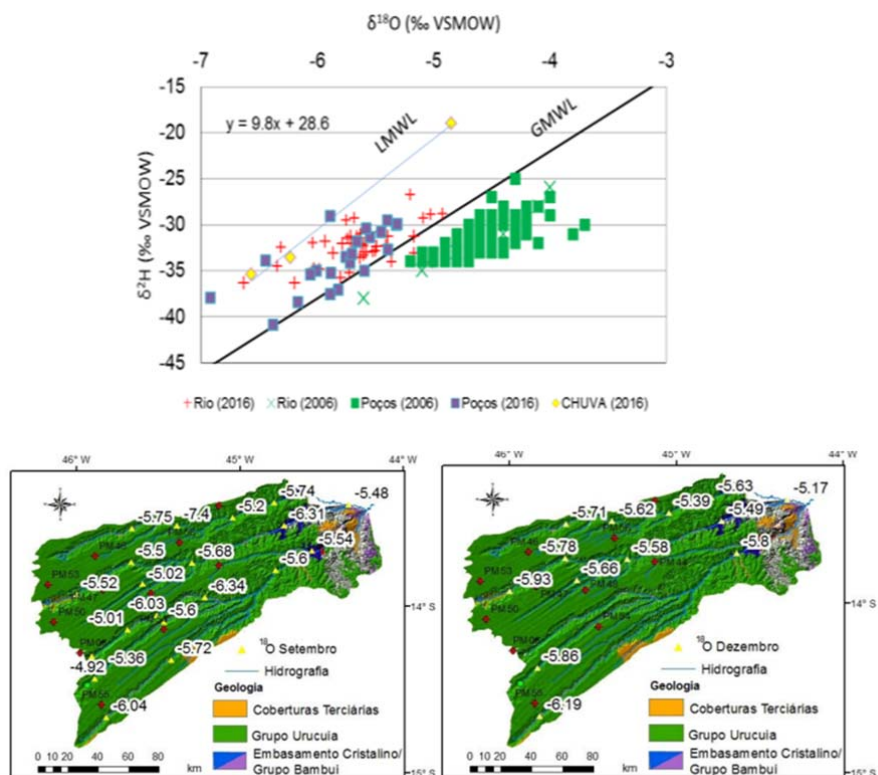


Figura 5.7. Coletas e resultados da Coleta desenvolvida por SGB, através de Oliveira (2020), Diagrama ^{18}O - ^2H com assinaturas isotópicas de águas subterrâneas, chuva e rios. Mapa de distribuição de ^{18}O no período chuvoso e seco.

Fonte: Oliveira, 2020.

5.2.3. Perspectivas Futuras

O acervo de amostras coletadas, tanto de chuva na rede GNIP, como de águas superficiais nas calhas principais da Bacia do São Francisco, no âmbito da GNIR, assim como complementados por rigorosa e sistemática campanha nos poços da Rede RIMAS no SAU (conforme programado), irá propiciar ricas informações para as demais componente da iniciativa no Urucua. A dinâmica das águas, variando de fluxos juvenis a profundos, a sazonalidade das recargas e possíveis variações espaciais, as componentes de descarga aquífera conformando as vazões de base, bem como os processos formadores de chuva e origem da umidade geradora dos eventos de precipitação figuram entre as conclusões prementes. Para o ano de 2022 do ponto de vista operacional, as seguintes ações estão já programadas:

- i. Manutenção da operação GNIP com início das determinações de ^3H nas estações selecionadas;

- ii. Realização da segunda campanha GNIR em toda a Bacia do São Francisco, incluindo regiões coincidentes com o SAU;
- iii. Campanhas de coleta isotópica de água subterrânea em toda a rede de poços de monitoramento;
- iv. Sistematização de todas as informações isotópicas disponíveis;
- v. Desenvolvimento de atlas isotópico específico para a Bacia do São Francisco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGGARWAL, P. K. *et al.* Stable isotopes in global precipitation: A unified interpretation based on atmospheric moisture residence time. **Geophysical Research Letters**, v. 39, n. 11, p. n/a-n/a, jun. 2012.
- ALKMIM, F. F.; MARTINS-NETO, M. A. A Bacia Intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. *In*: PINTO, C. P.; MARTINS-NETO, M. A. (Eds.). . **Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais**. Belo Horizonte/MG: SBG-MG, 2001. p. 9–30.
- AMORIM JR., V. **Avaliação hidrogeológica do Aquífero Urucuia na bacia do rio das Fêmeas usando IP Resistividade**. [s.l.] Universidade Federal da Bahia, 2003.
- AMORIM JR., V.; LIMA, O. A. L. Avaliação hidrogeológica do Aquífero Urucuia na Bacia do Rio das Fêmeas (BA) usando resistividade e polarização induzida. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, n. 2, p. 2007, 2007.
- AMORIM, V.; LIMA, O. A. L. DE. Avaliação hidrogeológica do aquífero urucuia na bacia do rio das fêmeas - Ba usando resistividade e polarização elétrica induzida. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, n. 2, p. 117–129, 2007.
- ANA. **Estudos hidrogeológicos e de vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuia e proposição de modelo de gestão integrada compartilhada**. Brasília – DF: [s.n.].
- _____. **Monitor de Secas - Nordeste**. Disponível em: <<http://monitordesecas.ana.gov.br/>>. Acesso em: 3 maio. 2018.
- ANA; EMBRAPA. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasi (1985-2017)**. 2 ed. ed. Brasília / DF: [s.n.].
- ANP. **BNDG - Banco Nacional de Dados Gravimétricos** Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, , 2021.
- BARBOSA, N. S. **Hidrogeologia do Sistema Aquífero Urucuia**. [s.l.] Universidade Federal da Bahia, 2016.
- BOMFIM, F.; GOMES, R. A. D. Aquífero Urucuia - Geometria e espesura: Idéias para discussão. **XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, p. 8, 2004.
- BRANCO, J. J. R.; COSTA, M. T. **Roteiro de Excursão Belo Horizonte-Brasília** XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. **Anais...** Belo Horizonte, MG - Brasil: SGB, 1961
- CAMACHO, C. R. **Análise da evolução do armazenamento de água em aquíferos porosos no nordeste brasileiro utilizando dados de múltiplos satélites e medições in situ**. [s.l: s.n.].
- CAMPOS, J. E. G. **Estratigrafia, Sedimentação, Evolução Tectônica e Geologia do Diamante da porção centro-norte da Bacia Sanfranciscana**. [s.l.] Universidade de Brasília - UnB, 1996.
- CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 3, p. 283–294, 1997a.
- _____. Estratigrafia e sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 3, p. 269–282, 1997b.
- CHANG, H. K.; BENDER, A. A.; KOWSMANN, R. O. **O papel das tensões intraplaca na evolução de bacias sedimentares: exemplo da Formação Urucuia** XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia. **Anais...** São Paulo/SP: 1992

COPLEN, T. B.; HERCZEG, A. L.; BARNES, C. Isotope Engineering—Using Stable Isotopes of the Water Molecule to Solve Practical Problems. *In: Environmental Tracers in Subsurface Hydrology*. Boston, MA: Springer US, 2000. p. 79–110.

COPPOLA, E. A. *et al.* Multiobjective analysis of a public wellfield using artificial neural networks. **Ground Water**, v. 45, n. 1, p. 53–61, 2007.

CPRM. **Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/8954>>.

_____. **Aquífero Urucuia: Caracterização hidrológica com base em dados secundários**. Belo Horizonte, MG - Brasil: [s.n.].

_____. **Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas - RIMAS**. Brasília / DF: [s.n.]. Disponível em: <<http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/index.php>>. Acesso em: 9 ago. 2020b.

CPRM; CBPM. **Imagens georreferenciadas de aerolevantamentos geofísicos Estado da Bahia** Salvador/BAServiço Geológico do Brasil (CPRM). GeoSGB, , 2015. Disponível em: <<https://geosgb.cprm.gov.br/>>

CRPM. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo**. Brasília – DF: [s.n.].

CRUZ, J.; TUCCI, C. Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de Permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 1, p. 111–124, 2008.

CUNHA, V. C. V. DA. **Avaliação da interação entre águas subterrâneas e superficiais na bacia do rio das Fêmeas, Sistema Aquífero Urucuia - Bahia**. [s.l.] Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2017.

DARDENNE, M. A. **Síntese sobre a Estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central**XXX Congresso Brasileiro de Geologia. **Anais...Recife/PE**: SGB, 1978

DERBY, O. A. **Contribuições para o estudo da geologia do Valle do rio São Francisco**. [s.l.: s.n.].

DINIZ, J. A. O. *et al.* **Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo**. Recife: [s.n.]. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/15556>>.

DOMINGUES, R. A. P. **Paleogeografia do alto de Paracatu: o registro geológico dos bone-beds de dinossauros da bacia Sanfranciscana**. [s.l.] USP, 2009.

EZAKI, S. *et al.* Geochemical evolution, residence times and recharge conditions of the multilayered Tubarão aquifer system (State of São Paulo – Brazil) as indicated by hydrochemical, stable isotope and ¹⁴C data. **Isotopes in Environmental and Health Studies**, v. 56, n. 5–6, p. 495–512, 1 nov. 2020.

FAMIGLIETTI, J. S. The global groundwater crisis. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 11, p. 945–948, 29 nov. 2014.

FUNK, C. *et al.* The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, p. 1–21, 2015.

GASPAR, M. T. P. **Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização Regional e Propostas de Gestão**. [s.l.: s.n.].

GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G. O Sistema Aquífero Urucuia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, p. 216–226, 2007.

GASTMANS, D. *et al.* Contribuição dos isótopos estáveis da água (H e O) no conhecimento dos aquíferos brasileiros: estado da arte e perspectivas futuras. **Derbyana**, v. 42, 6 out. 2021.

- GENARO, D. T. **Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas - RIMAS**: Relatório de Atividades. [s.l: s.n.].
- GHIGNONE, J. I. Geologia dos sedimentos fanerozóicos do estado da Bahia. *In*: INDA, H. A. . (Ed.). . **Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia**. Salvador/BA: SME/CPM, 1979. p. 23–154.
- GÓES, A. M.; FEIJÓ, F. J. **Bacia do Parnaíba**: Boletim de Geociências. Rio de Janeiro/RJ: [s.n.].
- GOMES, R. A. A. D.; MOTTA, A. C. **Projeto Levantamento Gravimétrico do Estado da Bahia**: Relatório Final. Salvador/BA: [s.n.].
- GOMES, R. A. A. D.; MOTTA, A. C. **Projeto Levantamento Gravimétrico no Estado da Bahia. Relatório Final**. Salvador/BA: [s.n.].
- HUANG, X. *et al.* Groundwater recharge prediction using linear regression, multi-layer perception network, and deep learning. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 9, 2019.
- HUSSEIN, E. A. *et al.* Groundwater prediction using machine-learning tools. **Algorithms**, v. 13, n. 11, p. 1–16, 2020.
- KIRCHHEIM, R. E. *et al.* The use of isotopes in evolving groundwater circulation models of regional continental aquifers: The case of the Guarani Aquifer System. **Hydrological Processes**, v. 33, n. 17, p. 2266–2278, 15 ago. 2019.
- LIMA, O. A. L. **Estudos Geológicos e Geofísicos do Aquífero Urucuia na Bacia do rio do Cachorro – Oeste da Bahia**. Salvador/BA: [s.n.].
- LIMA, O. A. L. **Levantamentos Geofísicos no Aquífero Urucuia: Sub-bacias dos Rios Formoso e Arrojado, Bahia**: Relatório técnico. Salvador/BA: [s.n.].
- LOPES, R. C. **Relatório de viagem do Projeto Urucuia**: Relatório Interno. Recife/PE: [s.n.].
- LUZ, J. A. G.; COSTA, A. T.; CAMPOS, J. C. V. **Avaliação sobre as condições atuais de exploração dos poços e dinâmica de fluxo do aquífero Urucuia**: Relatório Final. Salvador/BA: [s.n.].
- MAIA, P. H. P.; RODRIGUES, Z. R. C. **Revisão Estratigráfica e Aspectos Hidrogeológicos do Grupo Urucuia na Bacia Sanfranciscana**XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. **Anais...**Bonito/MS: ACQUA CONSULTORIA, 2012Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27778>>
- MAPBIOMAS. **Coleção 4.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil (1985-2018)**. Disponível em: <<https://mapbiomas.org>>. Acesso em: 13 out. 2019.
- MIRANDA, E. E. DE; (COORD. . **Brasil em Relevo**. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/>>.
- MOOK, W. G. **Environmental isotopes in the hydrological cycle. Principles and applications**. Paris: UNESCO, 2000.
- MORAES REGO, L. F. **Reconhecimento geológico da Parte ocidental do Estado da Bahia**. Rio de Janeiro/RJ: [s.n.].
- MOURÃO, M. A. A.; PEIXINHO, F. C. **A Rede integrada de monitoramento das águas subterrâneas: fundamentos, estruturação e implantação**II CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO. **Anais...**São Paulo/SP: 2011Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/1054>>
- MURARA, P. Técnicas de interpolação para a pesquisa em climatologia regional e agroclimatologia. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. JUN, p. 106–126, 2019.

NASCIMENTO, K. R. F. **Aspectos Hidrogeoquímicos e Qualidade das Águas Subterrâneas e Superficiais da Sub-bacia do Rio das Fêmeas**. Salvador/BA: [s.n.].

_____. **Oxygen Isotopic composition of surface and groundwaters from rio das Fêmeas sub-basin – Urucuia aquifer – BA, Brazil**SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPIIC GEOLOGY. **Anais...**São Paulo/SP: Short Papers, 2003

NASCIMENTO, K. R. F.; LIMA, O. A. L. **Aquífero Urucuia: validade do modelo geoeletrico na bacia do rio das Fêmeas confirmada por novas perfurações**8th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. **Anais...**Rio de Janeiro/RJ: Brazilian Geophysical Society, 2003

NORTHFLEET, A. A.; NEVES, S. B. **Semi-detalhe da região SW de Balsas**: Relatório Técnico. Belém/PA: [s.n.].

OLIVEIRA, A.; LEONARDOS, O. H. **Geologia do Brasil**. 2 ed. ed. [s.l.] Ministério da Agricultura, 1943.

OLIVEIRA, L. T. **Balanco Hídrico Transitório e Análise das Variações de Níveis d'Água na Porção Meridional do Aquífero Urucuia - Bahia**. [s.l.] Universidade Federal da Bahia, 2020.

OLIVEIRA, R. G. DE. **Pesquisa Hidrogeológicas em Bacias Sedimentares do Nordeste Brasileiro – Bacia do Urucuia**: (No Prelo). Salvador/BA: [s.n.].

PEREIRA, C. *et al.* **New Processing and Seismic Interpretation for the Northern São Francisco Basin, Brazil**14 th International Congress. **Anais...**Rio de Janeiro/RJ: Brazilian Geophysical Society, 2015

PETTITT. A Non-parametric to the Approach Problem. **Applied Statistics**, v. 28, n. 2, p. 126–135, 1979.

PIMENTEL, M. L. *et al.* Mudanças de uso da terra e expansão da agricultura no oeste da Bahia. **Boletim de Pesquisa de Desenvolvimento - Embrapa Solos**, v. 201, p. 27, 2011.

SAVOCA, M. E. *et al.* Actual Evapotranspiration Modeling Using the Operational Simplified Surface Energy Balance (SSEBop) Approach. **U.S Geologica Survey Scientific Investigations Report 2013–5126**, n. January, p. 16 p., 2013.

SCHÖLL, W. U. **Sedimentologie und geochemie der Bambuí Grupe am SE – rand dêS São Francisco Beckens (Minas Gerais, Brasilien)**. [s.l.] Universidade de Heidelberg, 1973.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, n. 324, p. 1379–1389, 1968.

SILVA, F. D. P. E; CHANG, H. K. Sistemas Aquíferos da porção centro-norte da Bacia Sanfranciscana e estimativa do fluxo regional. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 2, p. 267–274, 2018.

SNEYERS, R. **On the statistical analysis of series of observations**. Geneva: [s.n.].

SPIGOLON, A. L. D.; ALVARENGA, C. J. S. DE. Fácies e elementos arquiteturas resultantes de mudanças climáticas em um ambiente desértico: Grupo Urucuia (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 4, p. 32(4):579–586, 2002.

SUN, A. Y. Predicting groundwater level changes using GRACE data. **Water Resources Research**, v. 49, n. 9, p. 5900–5912, set. 2013.

_____. Reconstruction of GRACE Total Water Storage Through Automated Machine Learning. **Water Resources Research**, v. 57, n. 2, 8 fev. 2021.

TAPLEY, B. D. *et al.* The gravity recovery and climate experiment: Mission

overview and early results. **Geophysical Research Letters**, v. 31, n. 9, p. n/a-n/a, 16 maio 2004.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. Resistivity Methods. *In: Applied Geophysics*. 2nd Editio ed. UK: Cambridge University Press, 1990. p. 353-358.

TSCHIEDEL, M. W. **Aplicação de Estudo Geofísico como Contribuição ao Conhecimento da Tectônica da SubBacia Urucuia**. [s.l.] Universidade de Brasília, 2004.

VIEIRA, M. DE S. B. **Estudo das vazões em períodos de recessão hídrica no Sistema Aquífero Urucuia**. [s.l.] Universidade de Brasília, 2021.

YOSHIMURA, K. Stable Water Isotopes in Climatology, Meteorology, and Hydrology: A Review. **Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II**, v. 93, n. 5, p. 513–533, 2015.

ZALÁN, P. V.; ROMEIRO-SILVA, P. C. Bacia do São Francisco. **Boletim de Geociências**, v. 15, n. 2, p. 561–571, 2007.

ZHANG, J.; LIU, K.; WANG, M. Downscaling Groundwater Storage Data in China to a 1-km Resolution Using Machine Learning Methods. **Remote Sensing**, v. 13, n. 3, p. 523, fev. 2021.

ANEXOS

ANEXO I – PRECIPITAÇÃO ESTIMADA POR SATÉLITE

ANEXO II - EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL ESTIMADA POR SATÉLITE

ANEXO III – INCONSISTÊNCIAS NOS DADOS AUTOMÁTICOS

ANEXO IV – INCONSISTÊNCIAS NOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

ANEXO V – COMPARAÇÃO ENTRE AS PRECIPITAÇÕES

ANEXO VI – INCONSISTÊNCIAS NOS DADOS FLUVIOMÉTRICOS

ANEXO VII – MEDIÇÕES, CURVAS-CHAVE E PERFIS

ANEXO VIII – VALORES CARACTERÍSTICOS DOS PARÂMETROS CLIMATOLÓGICOS
MONITORADOS

ANEXO IX – DADOS DE MÉDIA PRECIPITAÇÃO MENSAL E ANUAL

ANEXO X – DADOS DE VAZÃO MÉDIA MENSAL E ANUAL

ANEXO XI – DADOS DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA

ANEXO XII - GRÁFICOS DE PRECIPITAÇÃO, EVT REAL E VAZÃO

ANEXO XIII - RELATÓRIOS TÉCNICOS DE CONSTRUÇÃO E AS PERFILAGENS
ÓTICAS DOS TRÊS POÇOS ESTRATIGRÁFICOS PERFURADOS PELA CPRM.
(DISPONIBILIZADO EM ARQUIVO DIGITAL SEPARADO)

ANEXO I - PRECIPITAÇÃO

Dados de precipitação acumulada mensal do projeto CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station*) com resolução de 5 km (Funk *et al.*, 2015), para o período de 2003 a 2020, para área do Sistema Aquífero Urucuia.

| ANO | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | TOTAL ANUAL |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| 2003 | 191 | 127 | 176 | 79 | 28 | 2 | 16 | 31 | 19 | 42 | 147 | 157 | 1.016 |
| 2004 | 363 | 252 | 238 | 84 | 6 | 27 | 41 | 2 | 37 | 84 | 118 | 163 | 1.415 |
| 2005 | 214 | 210 | 263 | 76 | 44 | 7 | 6 | 2 | 21 | 37 | 227 | 273 | 1.380 |
| 2006 | 96 | 170 | 240 | 172 | 25 | 2 | 2 | 22 | 28 | 170 | 199 | 186 | 1.313 |
| 2007 | 152 | 253 | 56 | 56 | 72 | 4 | 37 | 9 | 3 | 29 | 136 | 167 | 974 |
| 2008 | 183 | 189 | 222 | 116 | 14 | 0 | 0 | 0 | 13 | 17 | 244 | 268 | 1.265 |
| 2009 | 203 | 131 | 155 | 218 | 82 | 6 | 0 | 0 | 18 | 232 | 116 | 264 | 1.426 |
| 2010 | 135 | 110 | 210 | 89 | 14 | 0 | 0 | 0 | 13 | 122 | 223 | 212 | 1.128 |
| 2011 | 200 | 180 | 233 | 77 | 13 | 2 | 0 | 0 | 3 | 154 | 234 | 238 | 1.334 |
| 2012 | 216 | 121 | 143 | 46 | 21 | 1 | 0 | 0 | 9 | 19 | 330 | 88 | 995 |
| 2013 | 282 | 72 | 157 | 109 | 17 | 3 | 0 | 0 | 15 | 77 | 191 | 334 | 1.258 |
| 2014 | 154 | 124 | 193 | 83 | 11 | 2 | 0 | 0 | 10 | 85 | 223 | 230 | 1.115 |
| 2015 | 122 | 168 | 159 | 162 | 20 | 2 | 0 | 10 | 6 | 52 | 155 | 78 | 935 |
| 2016 | 415 | 40 | 110 | 30 | 4 | 1 | 0 | 1 | 28 | 88 | 157 | 159 | 1.033 |
| 2017 | 95 | 236 | 209 | 37 | 8 | 1 | 0 | 0 | 7 | 19 | 183 | 191 | 984 |
| 2018 | 136 | 210 | 213 | 127 | 4 | 0 | 0 | 2 | 6 | 85 | 181 | 213 | 1.177 |
| 2019 | 111 | 164 | 249 | 127 | 14 | 2 | 0 | 0 | 14 | 60 | 138 | 104 | 983 |
| 2020 | 242 | 189 | 245 | 175 | 17 | 2 | 1 | 0 | 5 | 121 | 153 | 89 | 1.239 |
| Média | 195 | 164 | 193 | 103 | 23 | 3 | 6 | 4 | 14 | 83 | 186 | 190 | 1.165 |

ANEXO II - EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL

Dados de evapotranspiração real mensal do modelo SSEBop (*Operational Simplified Surface Energy Balance*), com resolução de 1 km (Savoca *et al.*, 2013), para o período de 2003 a 2020, para área do Sistema Aquífero Urucuia.

| ANO | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | TOTAL ANUAL |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| 2003 | 2 | 67 | 78 | 74 | 67 | 57 | 54 | 55 | 49 | 55 | 62 | 71 | 691 |
| 2004 | 79 | 75 | 81 | 73 | 61 | 49 | 46 | 51 | 54 | 59 | 56 | 62 | 745 |
| 2005 | 75 | 76 | 88 | 73 | 65 | 58 | 52 | 51 | 59 | 68 | 59 | 57 | 779 |
| 2006 | 70 | 76 | 88 | 80 | 71 | 55 | 48 | 53 | 61 | 72 | 61 | 62 | 798 |
| 2007 | 82 | 82 | 84 | 72 | 69 | 59 | 50 | 51 | 48 | 45 | 42 | 46 | 729 |
| 2008 | 58 | 67 | 83 | 77 | 63 | 50 | 47 | 51 | 55 | 61 | 49 | 53 | 713 |
| 2009 | 70 | 72 | 85 | 79 | 72 | 57 | 51 | 53 | 59 | 75 | 77 | 79 | 827 |
| 2010 | 87 | 69 | 78 | 79 | 72 | 62 | 56 | 57 | 55 | 66 | 71 | 71 | 822 |
| 2011 | 77 | 81 | 92 | 77 | 63 | 52 | 49 | 51 | 54 | 59 | 59 | 64 | 778 |
| 2012 | 78 | 80 | 88 | 81 | 72 | 58 | 49 | 50 | 52 | 49 | 43 | 49 | 749 |
| 2013 | 70 | 74 | 78 | 70 | 65 | 55 | 49 | 48 | 48 | 57 | 58 | 66 | 738 |
| 2014 | 75 | 70 | 81 | 77 | 69 | 54 | 47 | 50 | 52 | 52 | 51 | 57 | 734 |
| 2015 | 65 | 66 | 80 | 77 | 71 | 57 | 50 | 50 | 41 | 32 | 30 | 44 | 663 |
| 2016 | 66 | 68 | 70 | 63 | 60 | 50 | 41 | 38 | 39 | 52 | 49 | 54 | 650 |
| 2017 | 74 | 77 | 85 | 69 | 63 | 54 | 46 | 39 | 38 | 34 | 36 | 55 | 670 |
| 2018 | 74 | 76 | 83 | 70 | 60 | 51 | 46 | 51 | 49 | 49 | 53 | 56 | 719 |
| 2019 | 71 | 78 | 91 | 83 | 71 | 57 | 53 | 54 | 46 | 47 | 45 | 52 | 748 |
| 2020 | 75 | 78 | 81 | 70 | 61 | 52 | 50 | 51 | 50 | 47 | 45 | 56 | 718 |
| Média | 69 | 74 | 83 | 75 | 66 | 55 | 49 | 50 | 50 | 54 | 52 | 59 | 737 |

ANEXO III – INCONSISTÊNCIAS NOS DADOS AUTOMÁTICOS

Inconsistências encontradas nos dados automáticos das estações climatológicas e pluviométricas automáticas.

| CÓDIGO | TIPO | INICIO | FIM | OBSERVAÇÃO |
|-------------------------------------|-------|----------|----------|---|
| Estações climatológicas da RHUruçua | | | | |
| 01045012 | Todos | Jul/15 | Set/15 | Falha. |
| | Todos | Set/17 | Nov/17 | Dados duvidosos de todos os sensores. |
| | | Mar/18 | Mar/18 | Dados duvidosos de todos os sensores. |
| | | Out/18 | Nov/18 | Dados duvidosos de todos os sensores. |
| 01046006 | Todos | Jul/15 | Set/15 | Falha. |
| 01046007 | Todos | Jul/15 | Set/15 | Falha. |
| | Rad | 27/05/18 | 27/06/18 | Radiação duvidosa muito alta. |
| 01145031 | Todos | Jul/15 | Set/15 | Falha. |
| | | Ago/16 | Jun/17 | Falha. |
| | P | Fev/18 | atual | Falha sensor de Precipitação. |
| 01145032 | Todos | Jul/15 | Set/15 | Falha. |
| | Rad | Mai/16 | Jul/17 | Radiação duvidosa, muito alta. |
| 01146020 | Todos | Jul/15 | Set/15 | Falha. |
| 01146021 | Todos | Jul/15 | Set/15 | Falha. |
| 01245035 | Todos | Jul/15 | Set/15 | Falha. |
| 01345012 | Todos | Jul/15 | Set/15 | Falha. |
| 01445009 | Todos | início | Out/15 | Falha. |
| | Todos | Jul/18 | Out/18 | Falha. |
| | Todos | Fev/19 | atual | Falha. |
| Estações pluviométricas da RHUruçua | | | | |
| 01045010 | P | Out/17 | Set/18 | Dados duvidosos. |
| | T | Ago/17 | Out/18 | Dados duvidosos. Temperatura elevada. |
| 01045011 | Todos | Jan/15 | Set/15 | Falha. |
| | Todos | Nov/17 | Dez/17 | Falha. |
| 01046004 | Todos | Jan/18 | Mai/18 | Falha. |
| 01046005 | todos | Jun/15 | Dez/15 | Falha. |
| | todos | Jan/19 | Nov/19 | Falha. |
| 01145030 | Todos | Jan/18 | Mai/18 | Falha. |
| 01146018 | Todos | Jun/15 | Jun/15 | Falha. |
| | Todos | Jul/18 | Out/18 | Falha. |
| 01146019 | T | Dez/14 | Jul/15 | Falha. |
| | UR | Jan/15 | Jun/15 | Falha. |
| | P | Jan/19 | Nov/19 | Falha. |
| 01244024 | T | todo | todo | Falha. |
| 01245034 | Todos | Jan/18 | Mai/18 | Falha. |
| 01246015 | Todos | Jan/18 | Mai/18 | Falha. |
| 01344030 | Todos | Ago/15 | Out/15 | Falha. |
| | Todos | Nov/17 | Nov/17 | Falha. |
| 01345009 | Todos | Jan/18 | Mai/18 | Falha. |
| 01345010 | Todos | Dez/17 | Mai/18 | Falha. |
| | T | Dez/18 | Jun/19 | Dados duvidosos deletados. Temperatura baixa. |

| CÓDIGO | TIPO | INICIO | FIM | OBSERVAÇÃO |
|----------|-------|--------|--------|------------|
| 01345011 | Todos | Jul/15 | Out/15 | Falha. |
| | Todos | Jan/18 | Mai/18 | Falha. |
| 01444022 | Todos | Ago/16 | Fev/17 | Falha. |
| | Todos | Jul/18 | Nov/19 | Falha. |
| 01444023 | todos | Ago/16 | Jan/17 | Falha. |

ANEXO IV – INCONSISTÊNCIAS NOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Inconsistências encontradas nos dados pluviométricos convencionais

| CÓDIGO | INÍCIO | FIM | VALOR ORIGINAL | VALOR CONSISTIDO | OBS |
|--------------------------------------|----------|----------|--------------------------------------|-----------------------------------|------------|
| Estações climatológicas da RHUruçuia | | | | | |
| 01045012 | Set/14 | Jul/15 | - | - | Dados PCD |
| | Set/15 | Mai/17 | - | - | Dados PCD |
| | 12/02/17 | 12/02/17 | 99,0 | 1,0 | Automática |
| | 14/03/19 | 14/03/19 | 0,0 | 7,0 | Automática |
| | 17/03/19 | 17/03/19 | 0,0 | 8,3 | Automática |
| | 20/03/19 | 20/03/19 | 21,0 | 2,1 | Vírgula |
| | 21/04/19 | 21/04/19 | 0,0 | 22,4 | Automática |
| | 17/05/19 | 17/05/19 | 42,4 | 4,4 | Automática |
| 01046006 | 23/09/14 | 23/09/14 | 1,0 | 17,2 | Automática |
| | 16/12/14 | 16/12/14 | 25,4 | 75,4 | Automática |
| | 21/12/14 | 21/12/14 | 3,0 | 30,0 | Vírgula |
| | 23/12/14 | 23/12/14 | 1,0 | 10,0 | Vírgula |
| | 01/01/15 | 01/01/15 | 0,0 | 6,0 | Automática |
| | 19/01/15 | 19/01/15 | 0,0 | 9,3 | Automática |
| | 21/01/15 | 21/01/15 | 0,0 | 12,6 | Automática |
| | 25/01/15 | 25/01/15 | 2,0 | 20,0 | Vírgula |
| | 11/03/15 | 11/03/15 | 29,4 | 0,0 | Automática |
| | 13/03/15 | 18/03/15 | 33,4; 23,1; 9,4; 14,8; 28,4; 29,8 | 12,8; 5,4; 0,0; 4,7; 9,8; 13,5 | Automática |
| | 20/03/15 | 20/03/15 | 0,0 | 24,7 | Automática |
| | 02/04/15 | 03/04/15 | 23,4; 18,5 | 0,0; 0,0 | Automática |
| | 14/04/15 | 17/04/15 | 6,4; 8,6; 1,4; 0,0 | 33,2; 13,9; 11,3; 12,4 | Automática |
| | 27/04/15 | 27/04/15 | 3,0 | 30,0 | Vírgula |
| | 30/04/15 | 30/04/15 | 2,0 | 20,0 | Vírgula |
| | 06/12/05 | 06/12/05 | 73,2 | 43,2 | Automática |
| | 21/01/16 | 21/01/16 | 15,2 | 95,2 | Automática |
| | 27/01/16 | 29/01/16 | 20,0; 0,0; 0,0 | 56,8; 62,8; 37,3 | Automática |
| | 10/06/16 | 11/06/16 | 0,0; 0,0 | 9,8; 12,4 | Automática |
| | 22/09/16 | 22/09/16 | 32,6 | 52,6 | Automática |
| | 30/09/16 | 30/09/16 | 0,0 | 6,2 | Automática |
| | 27/12/16 | 28/12/16 | 0,0; 0,0 | 10,9; 17,8 | Automática |
| | 05/01/17 | 05/01/17 | 0,0 | 7,7 | Automática |
| | 24/01/17 | 25/01/17 | 0,0; 0,0 | 6,9; 5,8 | Automática |
| | 11/02/17 | 11/02/17 | 20,0 | 2,0 | Vírgula |
| | 20/02/17 | 20/02/17 | 0,0 | 24,9 | Automática |
| 05/02/18 | 05/02/18 | 39,8 | 69,8 | Automática | |
| 13/02/18 | 13/02/18 | 3,4 | 34,0 | Vírgula | |
| 02/10/18 | 02/10/18 | 0,0 | 63,7 | Automática | |
| 05/12/18 | 05/12/18 | 0,0 | 37,3 | Automática | |
| 31/03/19 | 31/03/19 | 15,6 | 0,0 | Automática | |

| CÓDIGO | INÍCIO | FIM | VALOR ORIGINAL | VALOR CONSISTIDO | OBS |
|----------|----------|----------|-------------------------------|------------------------------|--------------|
| | 04/04/19 | 04/04/19 | 3,0 | 30,0 | Vírgula |
| | 10/04/19 | 11/04/19 | 7,0; 0,0 | 25,9; 60,8 | Automática |
| | 14/04/19 | 14/04/19 | 0,0 | 22,3 | Automática |
| | 30/05/19 | 31/05/19 | - | 0,0; 0,0 | Automática |
| 01046007 | 24/09/14 | 24/09/14 | 0,0 | 8,1 | Automática |
| | 09/01/15 | 09/01/15 | 1,0 | 10,0 | Vírgula |
| | 07/02/15 | 07/02/15 | 4,3 | 43,0 | Vírgula |
| | 07/10/15 | 07/10/15 | 7,3 | 73,0 | Vírgula |
| | 10/06/16 | 10/06/16 | 6,7 | 26,7 | Automática |
| 01145031 | 31/03/15 | 31/03/15 | 0,0 | 12,2 | Automática |
| | 24/11/15 | 24/11/15 | 0,0 | 21,3 | Automática |
| | 22/12/15 | 22/12/15 | 0,0 | 16,4 | Automática |
| | 09/01/16 | 09/01/16 | 10,8 | 108,0 | Vírgula |
| 01145032 | 18/03/15 | 18/03/15 | 12,7 | 42,7 | Automática |
| | 22/03/15 | 22/03/15 | 10,8 | 40,8 | Automática |
| | 08/10/18 | 08/10/18 | 0,0 | 10,0 | Automática |
| | 28/10/18 | 28/10/18 | 25,2 | 55,2 | Automática |
| | 04/11/18 | 08/11/18 | 10,9; 15,7; 35,8; 0,0; 0,0 | 4,8; 1,1; 3,1; 30,4; 40,3 | Automática |
| | 26/12/18 | 27/12/18 | 25,9; 9,0 | 0,0; 0,9 | Automática |
| | Nov/18 | Dez/18 | - | 158,8; 252,5 | Total mensal |
| | 11/02/19 | 11/02/19 | 21,1 | 2,1 | Automática |
| | 11/03/19 | 11/03/19 | 97,0 | 0,0 | Automática |
| | 22/03/19 | 22/03/19 | 115,6 | 75,6 | Automática |
| | 24/03/19 | 24/03/19 | 25,0 | 2,5 | Vírgula |
| | 21/04/19 | 21/04/19 | 97,9 | 67,9 | Automática |
| 01146020 | Jun/15 | Jun/15 | - | 0,0 | Total mensal |
| | Ago/15 | Set/15 | - | 0,0; 0,3 | Total mensal |
| | 31/10/15 | 31/10/15 | 2,0 | 20,0 | Vírgula |
| | 26/11/15 | 26/11/15 | 15,0 | 1,5 | Vírgula |
| | 10/01/16 | 10/01/16 | 0,0; | 36,3 | Automática |
| | 18/01/16 | 18/01/16 | 30,0 | 3,0 | Vírgula |
| | 03/11/17 | 03/11/17 | 0,0 | 24,4 | Automática |
| | 23/01/18 | 25/01/18 | 8,0; 0,0; 0,0 | 0,8; 18,2; 11,4 | Automática |
| | 10/03/18 | 11/03/18 | 7,5; 0,0 | 75,0; 17,1 | Automática |
| | 14/03/18 | 14/03/18 | 41,4; | 4,4 | Automática |
| | 21/05/18 | 22/05/18 | 0,0; 0,0 | 33,7; 6,8 | Automática |
| | 30/11/18 | 30/11/18 | 31,6 | 0,0 | Automática |
| | 06/12/18 | 06/12/18 | 21,2 | 2,2 | Automática |
| | Nov/18 | Dez/18 | - | 261,2; 214 | Total mensal |
| | 01/03/19 | 01/03/19 | 28,0 | 2,8 | Vírgula |
| | 07/03/19 | 07/03/19 | 0,0 | 38,3 | Automática |
| | 27/03/19 | 27/03/19 | 0,0 | 47,8 | Automática |
| 01146021 | 21/10/14 | 21/10/14 | 2,2 | 22,0 | Vírgula |
| | 10/11/14 | 10/11/14 | 9,5 | 27,1 | Automática |
| | 29/11/14 | 29/11/14 | 0,0 | 7,6 | Automática |
| | 06/12/14 | 06/12/14 | 0,0 | 16,6 | Automática |

| CÓDIGO | INÍCIO | FIM | VALOR ORIGINAL | VALOR CONSISTIDO | OBS |
|--------|----------|----------|----------------|------------------|------------|
| | 08/12/14 | 08/12/14 | 2,4 | 24,0 | Vírgula |
| | 13/12/14 | 13/12/14 | 0,0 | 50,3 | Automática |
| | 15/12/14 | 15/12/14 | 0,0 | 25,2 | Automática |
| | 21/12/14 | 21/12/14 | 0,0 | 24,4 | Automática |
| | 06/01/15 | 06/01/15 | 1,8 | 18,0 | Vírgula |
| | 22/01/15 | 22/01/15 | 0,0 | 22,8 | Automática |
| | 26/01/15 | 26/01/15 | 0,0 | 21,5 | Automática |
| | 31/01/15 | 31/01/15 | 0,0 | 9,2 | Automática |
| | 02/02/15 | 02/02/15 | 0,0 | 10,2 | Automática |
| | 28/02/15 | 28/02/15 | 1,6 | 16,0 | Vírgula |
| | 07/03/15 | 07/03/15 | 2,7 | 27,0 | Vírgula |
| | 13/03/15 | 13/03/15 | 1,4 | 14,0 | Vírgula |
| | 16/03/15 | 16/03/15 | 1,4 | 14,0 | Vírgula |
| | 20/03/15 | 20/03/15 | 14,5 | 0,0 | Automática |
| | 24/03/15 | 24/03/15 | 1,9 | 19,0 | Vírgula |
| | 30/03/15 | 30/03/15 | 1,5 | 15,0 | Vírgula |
| | 03/04/15 | 04/04/15 | 3,5; 3,2 | 35,0; 32,0 | Vírgula |
| | 15/04/15 | 16/04/15 | 0,0; 0,0 | 10,7; 44,3 | Automática |
| | 21/04/15 | 21/04/15 | 1,4 | 14,0 | Vírgula |
| | 06/10/15 | 06/10/15 | 0,0 | 8,2 | Automática |
| | 28/10/15 | 28/10/15 | 30,0 | 3,0 | Vírgula |
| | 05/11/15 | 05/11/15 | 0,0 | 20,9 | Automática |
| | 17/11/15 | 17/11/15 | 0,0 | 20,8 | Automática |
| | 22/11/15 | 22/11/15 | 0,0 | 17,3 | Automática |
| | 11/12/15 | 12/12/15 | 2,0; 3,0 | 20,0; 30,0 | Vírgula |
| | 17/12/15 | 17/12/15 | 0,0 | 20,6 | Automática |
| | 06/03/16 | 06/03/16 | 1,0 | 10,0 | Vírgula |
| | 11/03/16 | 11/03/16 | 2,0 | 20,0 | Vírgula |
| | 13/03/16 | 13/03/16 | 1,0 | 10,0 | Vírgula |
| | 23/03/16 | 23/03/16 | 3,6 | 36,0 | Vírgula |
| | 22/10/16 | 22/10/16 | 0,0 | 8,3 | Automática |
| | 30/10/17 | 30/10/17 | 12 | 25,8 | Automática |
| | 08/11/17 | 08/11/17 | 30,0 | 43,9 | Automática |
| | 25/11/17 | 25/11/17 | 0,0 | 12,0 | Automática |
| | 10/12/17 | 12/12/17 | 2,0; 3,0; 2,0 | 20,0; 30,0; 20,0 | Vírgula |
| | 16/12/17 | 17/12/17 | 0,0; 0,0 | 10,7; 11,9 | Automática |
| | 21/01/18 | 21/01/18 | 0,0 | 10,8 | Automática |
| | 26/01/18 | 26/01/18 | 0,0 | 12,0 | Automática |
| | 31/01/18 | 31/01/18 | 0,0 | 12,9 | Automática |
| | 09/02/18 | 10/02/18 | 12,4; 0,0 | 22,9; 48,7 | Automática |
| | 24/03/18 | 25/03/18 | 0,0; 55,0 | 34,1; 5,5 | Automática |
| | 04/04/18 | 05/04/18 | 61,8; 0,0 | 71,8; 17,4 | Automática |
| | 09/04/18 | 09/04/18 | 48,3 | 0,0 | Automática |
| | 12/04/18 | 12/04/18 | 1,0 | 22,4 | Automática |
| | 18/04/18 | 18/04/18 | 0,0 | 48,3 | Automática |
| | 03/05/18 | 03/05/18 | 0,0 | 13,0 | Automática |
| | 16/08/18 | 16/08/18 | 0,0 | 7,7 | Automática |

| CÓDIGO | INÍCIO | FIM | VALOR ORIGINAL | VALOR CONSISTIDO | OBS |
|----------|----------|----------|-----------------|------------------------------|--------------|
| | 07/09/18 | 07/09/18 | 0,0 | 16,8 | Automática |
| | 08/10/18 | 08/10/18 | 0,0 | 12,6 | Automática |
| | 15/10/18 | 15/10/18 | 34,2 | 16,9 | Automática |
| | 21/10/18 | 21/10/18 | 12,6 | 84,2 | Automática |
| | 04/11/18 | 04/11/18 | 34,2 | 74,2 | Automática |
| | 08/11/18 | 08/11/18 | 0,0 | 47,3 | Automática |
| | 18/11/18 | 18/11/18 | 0,3 | 42,9 | Automática |
| | 25/11/18 | 25/11/18 | 9,9 | 29,9 | Automática |
| | 01/12/18 | 01/12/18 | 9,9 | 49,9 | Automática |
| 01245035 | 07/02/15 | 07/02/15 | 12,1 | 121,0 | Vírgula |
| 01345012 | 28/04/15 | 28/04/15 | 0,0 | 15,9 | Automática |
| | 30/04/15 | 30/04/15 | 0,0 | 13,3 | Automática |
| | 06/10/15 | 06/10/15 | 0,0 | 11,2 | Automática |
| | 30/10/15 | 31/10/15 | 0,0; 0,0 | 6,1; 9,1 | Automática |
| | 19/01/16 | 19/01/16 | 74,4 | 24,4 | Automática |
| | 29/01/16 | 29/01/16 | 0,0 | 53,8 | Automática |
| | 02/02/16 | 03/02/16 | 21,2; 20,0 | 2,2; 2,0 | Vírgula |
| | 08/10/16 | 08/10/16 | 24,5 | 44,5 | Automática |
| | 05/02/17 | 05/02/17 | 15,5 | 70,0 | Automática |
| | 27/02/17 | 28/02/17 | 0,0 | 24,1; 5,6 | Automática |
| | 29/03/17 | 31/03/17 | 20,5; 10,0; 6,5 | 53,6; 25,1; 54,7 | Automática |
| | 03/04/17 | 04/04/17 | 0,0 | 8,8; 6,1 | Automática |
| | Jan/19 | Fev/19 | - | 73,0; 154,0 | Total mensal |
| 01445007 | 13/11/14 | 13/11/14 | 9,9 | 99,0 | Vírgula |
| | 26/11/14 | 26/11/14 | 4,0 | 40,0 | Vírgula |
| | 08/12/14 | 08/12/14 | 6,0 | 60,0 | Vírgula |
| | 16/12/14 | 17/12/14 | 50,0; 54,3 | 0; 34,3 | Automática |
| | 05/04/15 | 05/04/15 | 14,4 | 34,4 | Automática |
| | 26/04/15 | 27/04/15 | 0,0; 0,0 | 10,8; 15,1 | Automática |
| | 01/05/15 | 02/15/15 | 0,0; 0,0 | 53,5; 58,0 | Automática |
| | 04/05/15 | 04/05/15 | 10,0 | 1,0 | Vírgula |
| | 05/05/15 | 05/05/15 | 20,0 | 2,2 | Vírgula |
| | 12/05/15 | 12/05/15 | 0,0 | 9,3 | Automática |
| | 15/05/15 | 15/05/15 | 15,0 | 1,5 | Vírgula |
| | Nov/15 | Ago/16 | - | | Dados PCD |
| | 23/09/16 | 23/09/16 | 0,0 | 4,0 | Automática |
| | 25/09/16 | 26/09/16 | 0,0; 0,0 | 14,0; 5,9 | Automática |
| | 28/09/16 | 28/09/16 | 0,0 | 15,5 | Automática |
| | 09/10/16 | 09/10/16 | 0,0 | 7,2 | Automática |
| | 22/10/16 | 23/10/16 | 0,0; 0,0 | 6,5; 6,9 | Automática |
| | 10/11/16 | 10/11/16 | 0,0 | 10,4 | Automática |
| | 13/11/16 | 17/11/16 | Todos 0,0 | 14,6; 7,5; 1,4; 1,5; 17,3 | Automática |
| | 19/11/16 | 21/11/16 | Todos 0,0 | 1,5; 71,6; 9,0 | Automática |
| | 23/11/16 | 23/11/16 | 0,0 | 10,0 | Automática |
| | 25/11/16 | 25/11/16 | 0,0 | 13,8 | Automática |
| | 12/12/16 | 12/12/16 | 26,0 | 2,6 | Vírgula |

| CÓDIGO | INÍCIO | FIM | VALOR ORIGINAL | VALOR CONSISTIDO | OBS |
|--------|----------|----------|----------------|-------------------------------|------------|
| | 17/12/16 | 17/12/16 | 10,0 | 1,0 | Vírgula |
| | 26/12/16 | 26/12/16 | 6,0 | 0,6 | Vírgula |
| | 31/12/16 | 31/12/16 | 6,0 | 0,6 | Vírgula |
| | 05/01/17 | 05/01/17 | 0,0 | 21,0 | Automática |
| | Mar/17 | Set/17 | - | | Dados PCD |
| | 01/11/17 | 01/11/17 | 0,0 | 10,0 | Automática |
| | 03/11/17 | 03/11/17 | 0,0 | 45,0 | Automática |
| | 06/11/17 | 06/11/17 | 45,0 | 16,0 | Automática |
| | 01/12/17 | 01/12/17 | 23,0 | 2,3 | Vírgula |
| | 05/12/17 | 05/12/17 | 50,0 | 5,0 | Vírgula |
| | 10/12/17 | 11/12/17 | 45,0; 20,0 | 4,5; 2,0 | Vírgula |
| | 30/12/17 | 31/12/17 | 32,0; 45,0 | 3,2; 4,5 | Vírgula |
| | 04/01/18 | 05/01/18 | 0,0; 0,0 | 10,9; 16,0 | Automática |
| | 18/01/18 | 18/01/18 | 45,0 | 4,5 | Vírgula |
| | 22/01/18 | 22/01/18 | 0,0 | 13,9 | Automática |
| | 26/01/18 | 30/01/18 | Todos 0,0 | 13,1; 46,2; 14,2; 3,0; 9,1 | Automática |
| | 04/02/18 | 05/02/18 | 0,0; 10,0 | 22,9; 46,7 | Automática |
| | 10/02/18 | 10/02/18 | 85,0 | 55,0 | acumulado |
| | 24/02/18 | 24/02/18 | 12,0 | 55,0 | acumulado |
| | 26/02/18 | 26/02/18 | 0,0 | 103,6 | Automática |
| | 28/02/18 | 28/02/18 | 26,0 | 2,6 | Automática |
| | 09/04/18 | 10/04/18 | 0,0; 0,0 | 15,5; 13,3 | Automática |
| | 12/04/18 | 12/04/18 | 0,0 | 8,1 | Automática |
| | 14/04/18 | 14/04/18 | 0,0 | 4,6 | Automática |
| | 17/08/18 | 17/08/18 | 0,0 | 10,8 | Automática |
| | 12/09/18 | 12/09/18 | 18,0 | 1,8 | Vírgula |
| | 17/09/18 | 17/09/18 | 60,0 | 6,0 | Vírgula |
| | 20/09/18 | 20/09/18 | 20,0 | 2,0 | Vírgula |
| | 07/10/18 | 07/10/18 | 45,0 | 0,0 | Automática |
| | 16/10/18 | 17/10/18 | 0,0; 0,0 | 5,1; 1,9 | Automática |
| | 20/10/18 | 22/10/18 | Todos 0,0 | 12,9; 3,0; 8,2 | Automática |
| | 28/10/18 | 29/10/18 | 0,0; 0,0 | 45,0; 10,8 | Automática |
| | 02/11/18 | 04/11/18 | Todos 0,0 | 58,4; 2,1; 44,8 | Automática |
| | 08/11/18 | 08/11/18 | 7,0 | 70,0 | acumulado |
| | 09/11/18 | 10/11/18 | 4,5; 3,5 | 45,0; 35,0 | Vírgula |
| | 13/11/18 | 13/11/18 | 50,0 | 5,0 | Vírgula |
| | 16/11/18 | 18/11/18 | Todos 0,0 | 12,9; 29,4; 9,9 | Automática |
| | 06/12/18 | 06/12/18 | 0,0 | 16,4 | Automática |
| | 21/12/18 | 21/12/18 | 32,0 | 3,2 | Vírgula |
| | 24/12/18 | 24/12/18 | 10,0 | 1,0 | Vírgula |
| | 30/12/18 | 31/12/18 | 0,0; 0,0 | 8,1; 36,8 | Automática |
| | 01/01/19 | 01/01/19 | 0,0 | 30,6 | Automática |
| | 09/02/19 | 09/02/19 | 70,0 | 7,0 | Vírgula |
| | 11/02/19 | 11/02/19 | 17,7 | 32,0 | Automática |
| | 21/02/19 | 21/02/19 | 0,0 | 17,7 | Automática |
| | 24/02/19 | 24/02/19 | 10,0 | 1,0 | Vírgula |

| CÓDIGO | INÍCIO | FIM | VALOR ORIGINAL | VALOR CONSISTIDO | OBS |
|-------------------------------------|----------|----------|----------------|-------------------------------|--------------|
| | 26/02/19 | 26/02/19 | 30,0 | 3,0 | Vírgula |
| | 28/02/19 | 28/02/19 | 40,0 | 4,0 | Vírgula |
| | 10/03/19 | 10/03/19 | 39,0 | 3,9 | Vírgula |
| 01445008 | 26/10/14 | 26/10/14 | 2,0 | 22,0 | Automática |
| | 29/10/14 | 29/10/14 | 0,0 | 14,8 | Automática |
| | 13/11/14 | 13/11/14 | 9,8 | 98,0 | Vírgula |
| | 15/11/14 | 16/11/14 | 2,1; 1,1 | 21,0; 11,0 | Vírgula |
| | 29/11/14 | 29/11/14 | 2,2 | 22,0 | Vírgula |
| | Nov/14 | Nov/14 | - | 318,3 | Total mensal |
| | 13/12/14 | 13/12/14 | 0,0 | 25,8 | Automática |
| | 23/01/15 | 24/01/15 | 2,0; 2,0 | 20,0; 20,0 | Vírgula |
| | 27/04/15 | 27/04/15 | 0,0 | 69,9 | Automática |
| | 07/10/15 | 07/10/15 | 0,0 | 14,6 | Automática |
| | 30/10/16 | 30/10/16 | 0,0 | 9,4 | Automática |
| | 30/11/16 | 30/11/16 | 0,0 | 17,0 | Automática |
| | 07/12/16 | 08/12/16 | 0,0 | 10,2; 20,1 | Automática |
| | 15/12/16 | 15/12/16 | 0,0 | 37,2 | Automática |
| | 06/11/17 | 06/11/17 | 63,0 | 0,0 | Automática |
| | 18/11/17 | 18/11/17 | 0,0 | 30,9 | Automática |
| | 29/01/18 | 30/01/18 | 0,0 | 7,2; 6,0 | Automática |
| | 03/02/18 | 03/02/18 | 73,5 | 53,5 | Automática |
| | 23/02/18 | 23/02/18 | 20,5 | 50,5 | Automática |
| | 09/11/18 | 09/11/18 | 35,5 | 55,5 | Automática |
| 24/11/18 | 24/11/18 | 0,0 | 20,4 | Automática | |
| 10/12/18 | 11/12/18 | 0,0 | 7,6; 7,1 | Automática | |
| 24/12/18 | 24/12/18 | 0,0 | 33,6 | Automática | |
| 26/03/19 | 27/03/19 | 0,0 | 12,1; 20,1 | Automática | |
| 01445009 | 16/01/16 | 17/01/16 | 70,0; 40,0 | 7,0; 4,0 | Vírgula |
| | 29/09/17 | 30/09/17 | - | 0,0; 0,0 | Automática |
| | 13/11/17 | 13/11/17 | 40,8 | 10,8 | Automática |
| | 12/12/17 | 12/12/17 | 1,9 | 19,0 | Vírgula |
| | 24/12/17 | 24/12/17 | 0,0 | 10,8 | Automática |
| | 04/02/18 | 05/02/18 | 0,0; 0,0 | 54,0; 49,8 | Automática |
| | 03/03/18 | 03/03/18 | 0,0 | 25,7 | Automática |
| | 21/03/18 | 21/03/18 | 0,0 | 63,3 | Automática |
| | Jun/18 | Out/18 | - | 0,3; 0,0; 0,0; 13,0; 107,2 | Total mensal |
| | 08/11/18 | 08/11/18 | 94,0 | 44,0 | Automática |
| | 13/11/18 | 13/11/18 | 96,0 | 46,0 | Automática |
| | 15/11/18 | 15/11/18 | 36,0 | 3,6 | Vírgula |
| 17/11/18 | 17/11/18 | 0,0 | 24,3 | Automática | |
| Estações pluviométricas da RHUruçua | | | | | |
| 00945018 | 10/11/14 | 10/11/14 | 24,1 | 41,0 | Automática |
| | 13/11/14 | 13/11/14 | 28,2 | 39,0 | Automática |
| | 17/11/14 | 17/11/14 | 4,1 | 61,8 | Automática |
| | 19/11/14 | 19/11/14 | 40,5 | 66,6 | Automática |
| | 14/12/14 | 14/12/14 | 78,3 | 118,6 | Automática |

| CÓDIGO | INÍCIO | FIM | VALOR ORIGINAL | VALOR CONSISTIDO | OBS |
|----------|----------|----------|-----------------|------------------|------------|
| | 15/12/14 | 15/12/14 | 12,2 | 20,8 | Automática |
| | 18/12/14 | 18/12/14 | 77,8 | 130,6 | Automática |
| | 25/01/15 | 26/01/15 | 20,0; 18,3 | 31,6; 32,8 | Automática |
| | 02/02/15 | 02/02/15 | 15,7 | 28,8 | Automática |
| | 04/02/15 | 04/02/15 | 37,4 | 59,6 | Automática |
| | 17/02/15 | 17/02/15 | 33,1 | 48,2 | Automática |
| | 20/02/15 | 20/02/15 | 0,0 | 7,4 | Automática |
| | 22/02/15 | 22/02/15 | 8,7 | 15,8 | Automática |
| | 24/02/15 | 24/02/15 | 12,4 | 19,6 | Automática |
| | 09/11/15 | 09/11/15 | 12,0 | 23,6 | Automática |
| | 17/11/15 | 17/11/15 | 26,5 | 53,6 | Automática |
| | 05/01/16 | 05/01/16 | 4,6 | 46,0 | Vírgula |
| | 20/01/16 | 20/01/16 | 6,8 | 68,0 | Vírgula |
| | 16/11/16 | 16/11/16 | 3,5 | 35,0 | Vírgula |
| | 19/11/16 | 19/11/16 | 0,0 | 8,8 | Automática |
| | 21/11/16 | 21/11/16 | 38,4 | 61,0 | Automática |
| | 14/01/17 | 15/01/17 | 7,7; 1,6 | 77,0; 16,0 | Vírgula |
| | 11/02/17 | 11/02/17 | 41,5 | 81,4 | Automática |
| | 14/02/17 | 14/02/17 | 3,2 | 27,2 | Automática |
| | 19/02/17 | 19/02/17 | 1,5 | 35,2 | Automática |
| | 22/02/17 | 22/02/17 | 0,0 | 10,0 | Automática |
| | 14/11/17 | 14/11/17 | 87,0 | 8,7 | Vírgula |
| | 10/12/17 | 10/12/17 | 106,6 | 44,6 | Automática |
| | 13/03/19 | 13/03/19 | 0,0 | 7,0 | Automática |
| | 16/03/19 | 16/03/19 | 2,4 | 13,8 | Automática |
| | 25/03/19 | 25/03/19 | 35,0 | 46,6 | Automática |
| | 29/03/19 | 29/03/19 | 0,0 | 6,6 | Automática |
| 01045010 | 29/10/14 | 29/10/14 | 40,2 | 59,6 | Automática |
| | 16/11/14 | 16/11/14 | 1,3 | 13,0 | Vírgula |
| | 17/11/14 | 17/11/14 | 1,8 | 18,0 | Vírgula |
| | 19/11/14 | 19/11/14 | 0,0 | 10,0 | Automática |
| | 08/02/15 | 08/02/15 | 1,8 | 18,0 | Vírgula |
| | 16/02/15 | 16/02/15 | 2,7 | 27,0 | Vírgula |
| | 20/03/15 | 20/03/15 | 3,0 | 33,0 | Automática |
| | 22/03/15 | 24/03/15 | 0,0; 3,0; 0,0 | 9,0; 15,0; 27,4 | Automática |
| | 01/04/15 | 01/04/15 | 0,0 | 14,4 | Automática |
| | 04/04/15 | 04/04/15 | 0,0 | 33,2 | Automática |
| | 16/04/15 | 16/04/15 | 0,0 | 8,4 | Automática |
| | 20/04/15 | 20/04/15 | 3,3 | 26,0 | Automática |
| | 27/04/15 | 27/04/15 | 1,2 | 9,8 | Automática |
| | 30/04/15 | 30/04/15 | 0,0 | 11,2 | Automática |
| | 01/05/15 | 02/05/15 | 2,0; 0,0 | 13,0; 16,8 | Automática |
| | 24/10/15 | 24/10/15 | 0,0 | 22,4 | Automática |
| | 19/11/15 | 21/11/15 | 10,0; 34,0; 0,0 | 0,0; 20,0; 77,6 | Automática |
| | 13/01/16 | 14/01/16 | 43,0; 0,0 | 23,2; 43,0 | Automática |
| | 21/01/16 | 21/01/16 | 98,0 | 129,0 | Automática |
| | 28/01/16 | 28/01/16 | 23,2 | 43,6 | Automática |

| CÓDIGO | INÍCIO | FIM | VALOR ORIGINAL | VALOR CONSISTIDO | OBS |
|----------|----------|----------|--|--|------------|
| | 26/09/16 | 26/09/16 | 20,0 | 2,0 | Vírgula |
| | 07/10/16 | 07/10/16 | 0,0 | 31,0 | Automática |
| | 21/10/16 | 21/10/16 | 1,0 | 19,4 | Automática |
| | 23/03/17 | 23/03/17 | 7,3 | 27,6 | Automática |
| | 26/03/17 | 26/03/17 | 7,3 | 20,6 | Automática |
| | 28/03/17 | 29/03/17 | 0,0; 10,0 | 22,2; 1,0 | Automática |
| | 01/04/17 | 01/04/17 | 4,0 | 40,0 | Vírgula |
| | 08/11/17 | 15/11/17 | 50,0; 19,0; 20,0; 10,0; 30,0; 15,0; 15,0 | 13,0; 0,6; 6,8; 0,0; 0,0; 8,4; 7,2; 4,4 | Automática |
| | 23/11/17 | 23/11/17 | 2,8 | 28,0 | Vírgula |
| | 04/12/18 | 05/12/18 | 4,0; 40,1 | 43,6; 60,6 | Automática |
| | 24/01/19 | 26/01/19 | 10,0; 3,4; 2,2 | 0,0; 34,0; 22,2 | Automática |
| | 03/02/19 | 03/02/19 | 1,7 | 17,0 | Vírgula |
| | 08/02/19 | 08/02/19 | 0,0 | 40,6 | Automática |
| | 14/02/19 | 14/02/19 | 3,3 | 33,0 | Vírgula |
| | 17/02/19 | 18/02/19 | 1,7; 1,6 | 17,0; 16,0 | Vírgula |
| | 24/02/19 | 25/02/19 | 1,0; 1,1 | 10,0; 11,0 | Vírgula |
| | 27/02/19 | 28/02/19 | 4,0; 1,4 | 40,0; 14,0 | Vírgula |
| | 01/03/19 | 01/03/19 | 2,6 | 26,0 | Vírgula |
| | 03/03/19 | 03/03/19 | 4,0 | 40,0 | Vírgula |
| | 05/03/19 | 05/03/19 | 2,8 | 28,0 | Vírgula |
| | 13/03/19 | 13/03/19 | 1,2 | 12,0 | Vírgula |
| | 16/03/19 | 16/03/19 | 1,2 | 12,0 | Vírgula |
| | 21/03/19 | 21/03/19 | 0,0 | 58,6 | Automática |
| | 24/03/19 | 24/03/19 | 2,5 | 25,0 | Vírgula |
| | 26/03/19 | 27/03/19 | 3,8; 3,2 | 56,0; 42,4 | Automática |
| | 04/04/19 | 05/04/19 | 4,0; 1,9 | 40,0; 19,0 | Vírgula |
| | 07/04/19 | 08/04/19 | 4,0; 0,0 | 26,2; 54,2 | Automática |
| | 10/04/19 | 10/04/19 | 1,5 | 15,0 | Vírgula |
| | 12/04/19 | 12/04/19 | 3,9 | 39,0 | Vírgula |
| | 21/04/19 | 21/04/19 | 1,7 | 17,0 | Vírgula |
| | 15/05/19 | 15/05/19 | 1,1 | 11,0 | Vírgula |
| | 17/09/19 | 17/09/19 | 0,0 | 48,8 | Automática |
| 01045011 | 09/02/17 | 09/02/17 | 20,6 | 0,0 | Automática |
| | 01/02/18 | 01/02/18 | 26,0 | 0,0 | Automática |
| | 04/02/18 | 04/02/18 | 46,7 | 27,2 | Automática |
| | 13/03/18 | 13/03/18 | 25,0 | 9,4 | Automática |
| | 23/03/18 | 23/03/18 | 44,3 | 6,8 | Automática |
| 01046004 | 13/11/14 | 13/11/14 | 11,7 | 132,6 | Automática |
| | 07/12/14 | 08/12/14 | 3,2; 3,7 | 32,0; 37,0 | Vírgula |
| | 14/12/14 | 15/12/14 | 1,6; 0,5 | 16,0; 5,0 | Vírgula |
| | 18/12/14 | 18/12/14 | 4,1 | 41,0 | Vírgula |
| | 20/12/14 | 20/12/14 | 4,0 | 40,0 | Vírgula |
| | 04/02/15 | 04/02/15 | 7,8 | 78,0 | Vírgula |
| | 11/03/15 | 11/03/15 | 3,3 | 33,0 | Vírgula |
| | 21/03/15 | 21/03/15 | 0,0 | 39,8 | Automática |

| CÓDIGO | INÍCIO | FIM | VALOR ORIGINAL | VALOR CONSISTIDO | OBS |
|----------|----------|----------|------------------|---------------------|--------------|
| | 08/04/15 | 08/04/15 | 0,0 | 19,6 | Automática |
| | 14/04/15 | 15/04/15 | 4,0; 9,8 | 40,0; 98,0 | Vírgula |
| | 17/04/15 | 17/04/15 | 0,0 | 11,0 | Automática |
| | 30/04/15 | 30/04/15 | 1,0 | 30,0 | Automática |
| | 11/05/15 | 11/05/15 | 1,8 | 18,0 | Vírgula |
| | 06/10/15 | 06/10/15 | 40,0 | 58,4 | Automática |
| | 23/05/15 | 23/05/15 | 36,0 | 80,8 | Automática |
| | 02/11/15 | 02/11/15 | 0,0 | 7,6 | Automática |
| | 04/11/15 | 04/11/15 | 15,7 | 25,6 | Automática |
| | 15/11/15 | 15/11/15 | 34,0 | 70,8 | Automática |
| | 21/10/16 | 21/10/16 | 4,0 | 49,8 | Automática |
| | 06/12/16 | 06/12/16 | 1,9 | 19,0 | Vírgula |
| | 13/12/16 | 13/12/16 | 6,3 | 63,0 | Vírgula |
| | 14/01/17 | 14/01/17 | 1,0 | 10,0 | Vírgula |
| | 16/01/17 | 16/01/17 | 3,0 | 30,0 | Vírgula |
| | 20/01/17 | 21/01/17 | 1,2; 1,3 | 12,0; 13,0 | Vírgula |
| | 02/04/17 | 02/04/17 | 5,8 | 58,0 | Vírgula |
| 01046005 | 08/12/14 | 08/12/14 | 20,0 | 0,0 | Automática |
| | 12/12/14 | 12/12/14 | 22,0 | 0,0 | Automática |
| | 02/02/15 | 02/02/15 | 0,0 | 14,0 | Automática |
| | 04/02/15 | 04/02/15 | 6,2 | 62,0 | Vírgula |
| | 07/02/15 | 08/02/15 | 12,0; 9,0 | 35,6; 27,2 | Automática |
| | 07/03/15 | 07/03/15 | 192,1 | 33,2 | Automática |
| | 20/02/16 | 20/02/16 | 448,6 | 0,0 | Automática |
| | 26/02/16 | 26/02/16 | 17,6 | 0,0 | Automática |
| | 10/03/16 | 10/03/16 | 96,2 | 56,2 | Automática |
| | 19/11/16 | 20/11/16 | 137,2; 43,9 | 0,0; 1,4 | Automática |
| | 22/11/16 | 22/11/16 | 0,0 | 20,0 | Automática |
| | 15/12/17 | 15/12/17 | 37,4 | 7,4 | Automática |
| | 27/12/17 | 27/12/17 | 430,0 | 0,0 | Automática |
| | Fev/18 | Abr/18 | - | 164,2; 138,9; 277,4 | Total mensal |
| | 16/10/18 | 16/10/18 | 1,0 | 13,2 | Automática |
| | 28/10/18 | 28/10/18 | 0,0 | 32,4 | Automática |
| | 02/11/18 | 03/11/18 | 0,0; 0,0 | 5,4; 16,4 | Automática |
| 01145030 | 18/10/15 | 18/10/15 | 0,0 | 7,8 | Automática |
| | 26/10/15 | 26/10/15 | 40,0 | 4,0 | Vírgula |
| | 23/11/15 | 25/11/15 | 0,0; 30,0; 0,0 | 9,0; 64,4; 10,4 | Automática |
| | 01/01/16 | 03/01/16 | 13,0; 25,0; 42,0 | 1,3; 2,5; 4,2 | Vírgula |
| | 10/01/16 | 10/01/16 | 9,7 | 97,0 | Vírgula |
| | 14/01/16 | 15/01/16 | 25,0; 17,0 | 2,5; 1,7 | Vírgula |
| | 18/01/16 | 19/01/16 | 22,0; 8,7 | 2,2; 87,0 | Vírgula |
| | 22/01/16 | 22/01/16 | 47,0 | 4,7 | Vírgula |
| | 26/01/16 | 27/01/16 | 20,0; 23,0 | 2,0; 2,3 | Vírgula |
| | 26/08/16 | 26/08/16 | 30,0 | 0,0 | Automática |
| | 05/10/16 | 05/10/16 | 70,0 | 7,0 | Vírgula |
| | 12/11/16 | 13/11/16 | 30,0; 0,0 | 0,2; 69,4 | Automática |
| | 16/11/16 | 17/11/16 | 10,0; 10,0 | 1,0; 1,0 | Vírgula |

| CÓDIGO | INÍCIO | FIM | VALOR ORIGINAL | VALOR CONSISTIDO | OBS |
|----------|----------|----------|---------------------------|----------------------|--------------|
| | 06/09/18 | 06/09/18 | 51,6 | 0,0 | Automática |
| | 11/11/18 | 12/11/18 | 0,0; 0,0 | 82,6; 10,8 | Automática |
| | 15/11/18 | 15/11/18 | 29,0 | 0,0 | Automática |
| | 21/11/18 | 21/11/18 | 16,3 | 0,0 | Automática |
| | 26/11/18 | 26/11/18 | 33,8 | 0,0 | Automática |
| | 09/12/18 | 10/12/18 | 0,0; 0,0 | 15,4; 17,2 | Automática |
| | 07/02/19 | 07/02/19 | 40,4 | 4,4 | Automática |
| | 15/03/19 | 17/03/19 | 35,7; 0,0; 0,0 | 0,0; 8,8; 5,8 | Automática |
| | 19/03/19 | 20/03/19 | 10,0; 29,4 | 3,2; 0,2 | Automática |
| | 22/03/19 | 23/03/19 | 0,0; 0,0 | 42,4; 42,2 | Automática |
| | 25/03/19 | 26/03/19 | 0,0; 0,0 | 19,6; 104,4 | Automática |
| | 28/03/19 | 28/03/19 | 0,0 | 30,2 | Automática |
| | Fev/19 | Mar/19 | - | 137,3; 317,5 | Total mensal |
| | 03/04/19 | 03/04/19 | 0,0 | 25,0 | Automática |
| | 06/04/19 | 06/04/19 | 0,0 | 8,2 | Automática |
| | 10/04/19 | 13/04/19 | Todos 0,0 | 42,4; 9,0; 17,0; 5,0 | Automática |
| | 21/04/19 | 22/04/19 | 0,0; 0,0 | 7,0; 29,4 | Automática |
| | 15/05/19 | 17/05/19 | 25,2; 25,2; 15,5 | 0,0; 3,2; 0,2 | Automática |
| 01146008 | 16/11/14 | 16/11/14 | 59,3 | 0,0 | Automática |
| | 22/01/15 | 22/01/15 | 48,1 | 0,0 | Automática |
| | 26/01/15 | 26/01/15 | 0,0 | 48,1 | Automática |
| | 04/02/15 | 04/02/15 | 27,6 | 0,0 | Automática |
| | 25/02/15 | 25/02/15 | 0,0 | 63,2 | Automática |
| | Dez/15 | Jan/16 | - | 102,0; 474,0 | Total mensal |
| | 01/12/17 | 02/12/17 | 0,0; 0,0 | 11,8; 38,0 | Automática |
| | 11/12/17 | 11/12/17 | 37,8 | 17,8 | Automática |
| | 14/03/18 | 14/03/18 | 53,1 | 13,1 | Automática |
| | 04/02/19 | 05/02/19 | 0,6; 0,0 | - | Automática |
| | 03/04/19 | 03/04/19 | 0,0 | 13,8 | Automática |
| 01146019 | Nov14 | Nov/15 | Duvidosos | | |
| | 23/09/16 | 23/09/16 | 0,0 | 54,9 | Automática |
| | 12/12/16 | 12/12/16 | 50,0 | 5,0 | Vírgula |
| | 14/12/16 | 14/12/16 | 0,0 | 102,6 | Automática |
| | 05/02/17 | 06/02/17 | 0,0; 0,0 | 2,8; 9,4 | Automática |
| | 08/02/17 | 08/02/17 | 97,7 | 117,7 | Automática |
| | 27/03/17 | 27/03/17 | 0,0 | 26,0 | Automática |
| | 05/04/17 | 05/04/17 | 0,0 | 31,0 | Automática |
| | 07/04/17 | 07/04/17 | 2,0 | 20,0 | Vírgula |
| | 14/04/17 | 14/04/17 | 0,0 | 10,6 | Automática |
| | 18/04/17 | 19/04/17 | 2,0; 2,0 | 20,0; 20,0 | Vírgula |
| | 14/11/17 | 14/11/17 | 10,0 | 20,0 | Automática |
| | 02/12/17 | 02/12/17 | | 97,7 | Automática |
| | 09/12/17 | 09/12/17 | 30,0 | 0,0 | Automática |
| | 23/12/17 | 23/12/17 | 0,0 | 30,0 | Automática |
| | 05/01/18 | 08/01/18 | 20,0; 76,6; 10,0; 74,2 | -; 76,6; -; - | Automática |
| | 12/01/18 | 12/01/18 | 2,0 | 20,0 | Vírgula |

| CÓDIGO | INÍCIO | FIM | VALOR ORIGINAL | VALOR CONSISTIDO | OBS |
|----------|----------|----------|----------------------|--------------------|--------------|
| | 18/10/18 | 19/10/18 | 2,4; 9,6 | 0,0; 0,0 | Automática |
| | 22/10/18 | 22/10/18 | 115,8 | 0,0 | Automática |
| 01244024 | Fev/17 | Fev/17 | | 192,6 | Total mensal |
| | 22/02/18 | 22/02/18 | - | - | Duvidoso |
| | 08/03/18 | 08/03/18 | - | - | Duvidoso |
| | 12/03/18 | 12/03/18 | - | - | Duvidoso |
| | 06/04/18 | 06/04/18 | - | - | Duvidoso |
| | 08/04/18 | 09/04/18 | - | - | Duvidoso |
| | 14/04/18 | 14/04/18 | - | - | Duvidoso |
| 01245034 | 03/03/15 | 03/03/15 | 0,0 | 11,0 | Automática |
| | 09/03/15 | 09/03/15 | 0,0 | 23,4 | Automática |
| | 21/03/15 | 21/03/15 | 34,9 | 94,9 | Automática |
| | 27/04/15 | 27/04/15 | 0,0 | 39,8 | Automática |
| | 01/05/15 | 02/05/15 | 0,0; 8,8 | 38,8; 37,2 | Automática |
| | 23/11/15 | 23/11/15 | 0,0 | 64,2 | Automática |
| | 25/11/15 | 25/11/15 | 23,7 | 53,7 | Automática |
| | 29/11/15 | 29/11/15 | 45,4 | 95,4 | Automática |
| | 11/12/16 | 11/12/16 | 74,9 | 14,9 | Automática |
| 01246015 | 23/11/15 | 23/11/15 | 0,0 | 23,0 | Automática |
| | 25/11/15 | 26/11/15 | 1,2; 0,0 | 22,0; 10,0 | Automática |
| | 29/11/15 | 29/11/15 | 0,0 | 60,0 | Automática |
| | 05/01/16 | 05/01/16 | 0,0 | 20,4 | Automática |
| | 20/01/16 | 22/01/16 | 2,8; 3,0; 3,5 | 8,4; 26,2; 54,2 | Automática |
| | 24/01/16 | 25/01/16 | 0,0; 0,0 | 9,4; 23,0 | Automática |
| | 11/02/19 | 11/02/19 | 0,0 | 28,2 | Automática |
| | 08/03/19 | 09/03/19 | 11,7; 11,7 | 0,0; 0,0 | Automática |
| | 12/03/19 | 12/03/19 | 0,0 | 14,8 | Automática |
| | 24/03/19 | 25/03/19 | 0,0; 3,0 | 8,2; 89,8 | Automática |
| | 22/04/19 | 22/04/19 | 0,0 | 13,8 | Automática |
| 01344030 | Nov/14 | Mai/15 | Muitas falhas | | |
| | 14/02/16 | 14/02/16 | 0,0 | 58,8 | Automática |
| | 25/03/16 | 25/03/16 | 0,0 | 12,0 | Automática |
| | 05/04/17 | 05/04/17 | 0,0 | 14,6 | Automática |
| | 18/02/19 | 18/02/19 | 10,0 | 93,4 | Automática |
| | 05/04/19 | 05/04/19 | 2,0 | 20,0 | Automática |
| 01345009 | 02/03/15 | 02/03/15 | 53,2 | 0,0 | Automática |
| | 11/10/16 | 11/10/16 | 11,2 | 0,0 | Automática |
| | 15/01/17 | 15/01/17 | 0,0 | 19,2 | Automática |
| | 12/02/17 | 13/02/17 | 0,0; 0,0 | 28,2; 20,4 | Automática |
| 01345010 | 29/10/15 | 01/11/15 | 32,1; 0,0; 0,0; 22,5 | 0,0; 4,6; 3,8; 6,8 | Automática |
| | 08/01/16 | 08/01/16 | 0,0 | 23,0 | Automática |
| | 27/01/16 | 27/01/16 | 108,4 | 148,4 | Automática |
| | 17/11/18 | 17/11/18 | 2,0 | 32,2 | Automática |
| | 17/03/19 | 17/03/19 | 0,0 | 11,4 | Automática |
| | 25/03/19 | 25/03/19 | 110,0 | 140,0 | Automática |
| 01345011 | 05/05/15 | 05/05/15 | 42,4 | 4,4 | Automática |
| | 29/11/15 | 29/11/15 | 11,8 | 0,0 | Automática |

| CÓDIGO | INÍCIO | FIM | VALOR ORIGINAL | VALOR CONSISTIDO | OBS |
|----------|----------|----------|----------------|------------------|--------------|
| | 06/02/16 | 06/02/16 | 0,4 | - | Automática |
| | Fev/17 | Mar/17 | - | 278,8; 105,3 | Total mensal |
| | 01/04/18 | 30/04/18 | 0,0 | - | duvidoso |
| | Abr/18 | Abr/18 | - | 53,3 | Total mensal |
| | 14/11/18 | 14/11/18 | 40,0 | 4,0 | Vírgula |
| | 01/12/18 | 01/12/18 | 35,0 | 3,5 | Vírgula |
| | 29/12/18 | 30/12/18 | 10,0; 10,0 | 1,0; 1,0 | Vírgula |
| | 09/02/19 | 09/02/19 | 0,0 | 14,2 | Automática |
| | 11/04/19 | 11/04/19 | 0,0 | 15,2 | Automática |
| 01444022 | 19/01/16 | 19/01/16 | 106,3 | 166,3 | Automática |
| | 19/11/17 | 19/11/17 | 14,7 | 44,7 | Automática |
| | 29/01/18 | 29/01/18 | 42,1 | 4,1 | Automática |
| | 04/02/18 | 04/02/18 | 63,9 | 6,9 | Automática |
| | 08/03/18 | 08/03/18 | 20,8 | 2,8 | Automática |
| 01444023 | 24/04/17 | 24/04/17 | 0,0 | 13,8 | Automática |
| | Out/17 | Nov/17 | - | 23,4; 185,0 | Total mensal |
| | 30/11/17 | 30/11/17 | 87,3 | 21,6 | Automática |
| | 01/12/17 | 02/12/17 | 0,0; 4,6 | 11,6; 92,4 | Automática |
| | 06/12/17 | 08/12/17 | 9,0; 0,0; 0,0 | 18,4; 0,6; 5,8 | Automática |
| | 11/12/17 | 11/12/17 | 24,8 | 3,8 | Automática |
| | 15/12/17 | 15/12/17 | 106,4 | 58,5 | Automática |
| | 17/12/17 | 17/12/17 | 24,0 | 14,2 | Automática |
| | 28/01/18 | 28/01/18 | 82,9 | 14,8 | Automática |
| | 30/01/18 | 30/01/18 | 0,0 | 21,8 | Automática |
| | 01/02/18 | 01/02/18 | 0,0 | 20,4 | Automática |
| | 04/02/18 | 05/02/18 | 133,6; 195,7 | 63,0; 55,2 | Automática |
| | 24/02/18 | 24/02/18 | 29,2 | 0,0 | Automática |
| | 07/03/18 | 07/03/18 | 0,0 | 15,2 | Automática |
| | 09/04/18 | 09/04/18 | 13,0 | 1,3 | Vírgula |
| | 24/09/18 | 24/09/18 | 0,0 | 10,0 | Automática |
| | 12/11/18 | 12/11/18 | 0 | 15,0 | Automática |
| | 14/11/18 | 14/11/18 | 25,5 | 0,0 | Automática |
| | 27/01/19 | 27/01/19 | 0,0 | 25,2 | Automática |
| | 21/03/19 | 21/03/19 | 5,6 | 0,0 | Automática |
| | 26/03/19 | 26/03/19 | 14,0 | 0,0 | Automática |

Obs.: Vírgula – posicionamento da vírgula; Automática – dado do observador corrigido de acordo com dado da estação automática.

ANEXO V – COMPARAÇÃO ENTRE AS PRECIPITAÇÕES

Comparação entre a precipitação registrada nos equipamentos convencionais versus os equipamentos automáticos nas estações climatológicas e pluviométricas.

Estações climatológicas da RHUruçuia

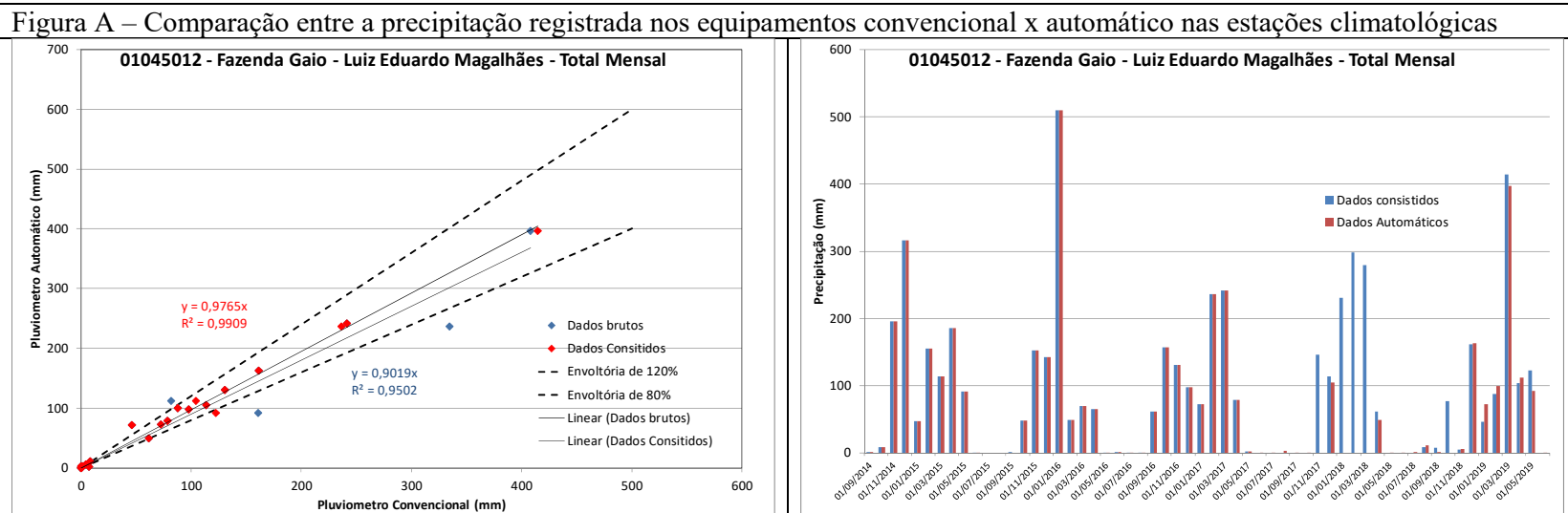


Figura A – Comparação entre a precipitação registrada nos equipamentos convencional x automático nas estações climatológicas

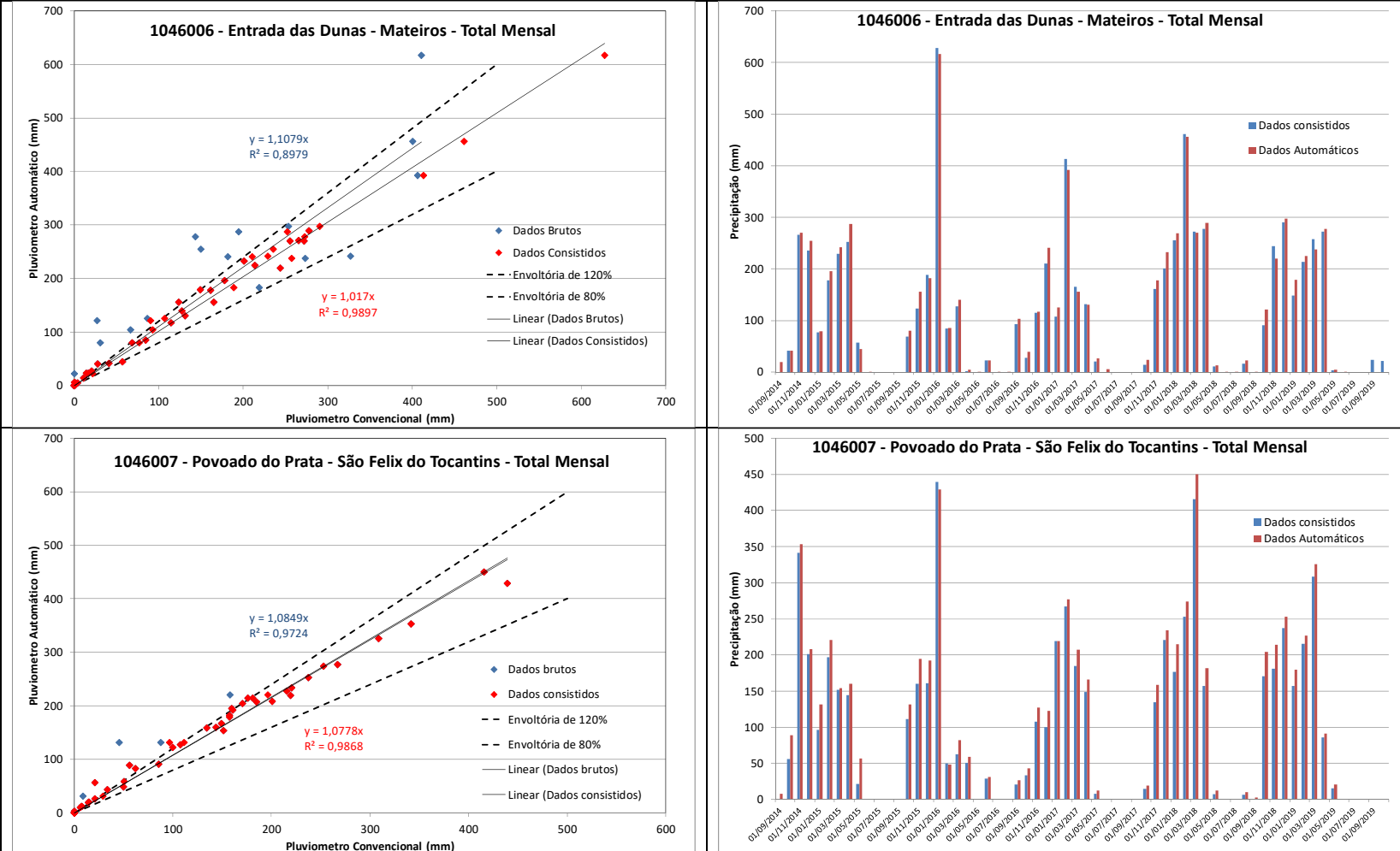


Figura A – Comparação entre a precipitação registrada nos equipamentos convencional x automático nas estações climatológicas

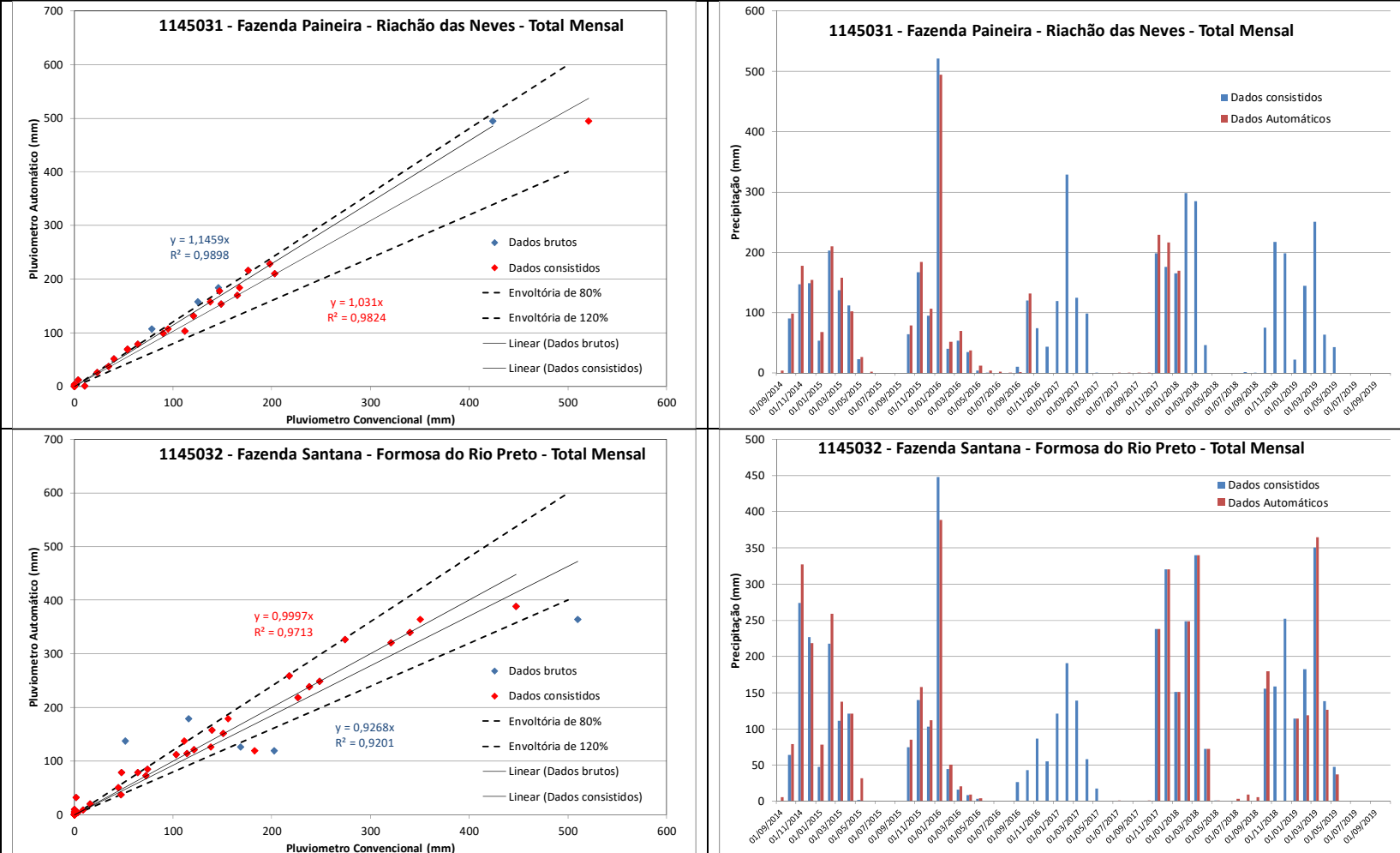


Figura A – Comparação entre a precipitação registrada nos equipamentos convencional x automático nas estações climatológicas

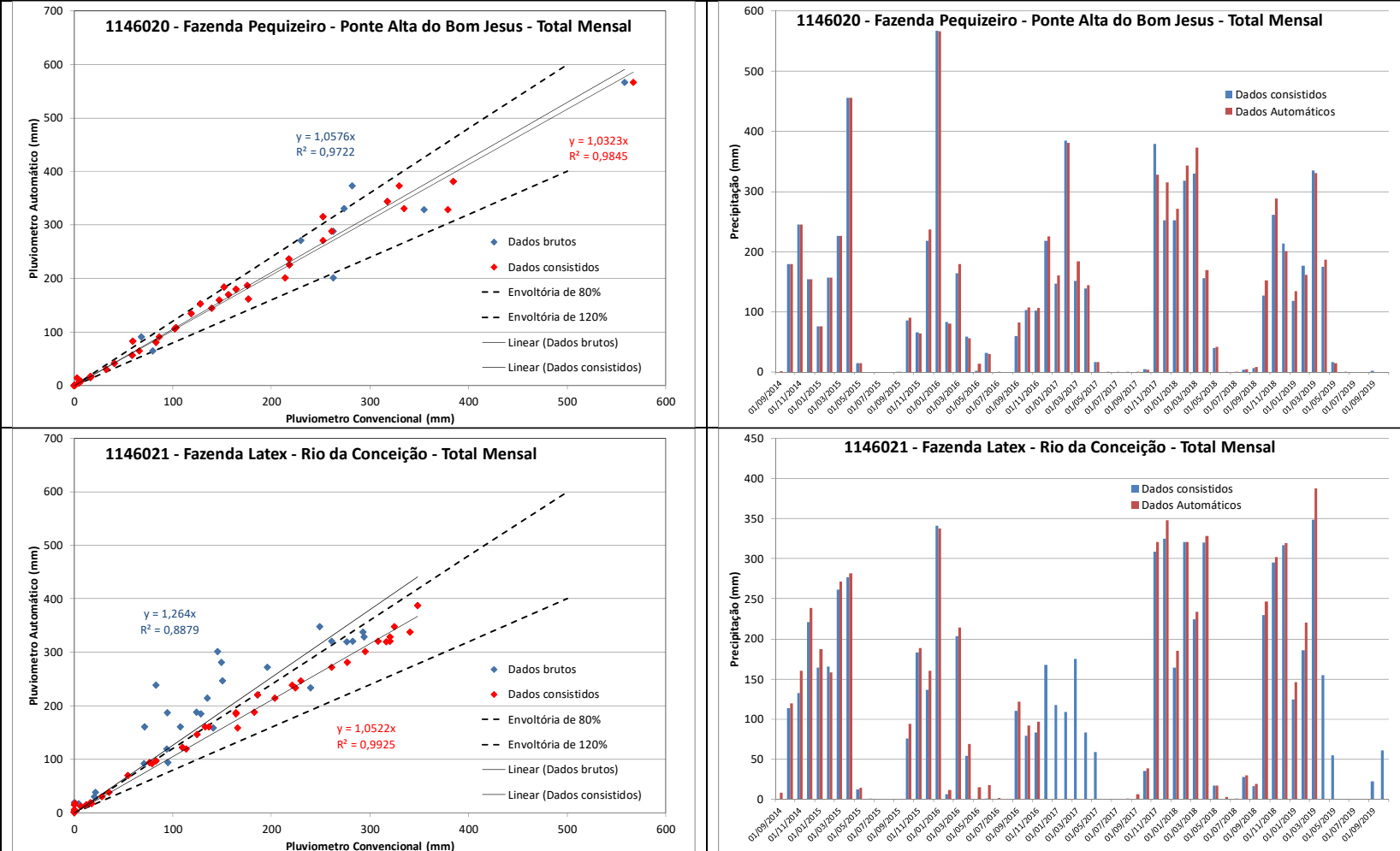


Figura A – Comparação entre a precipitação registrada nos equipamentos convencional x automático nas estações climatológicas

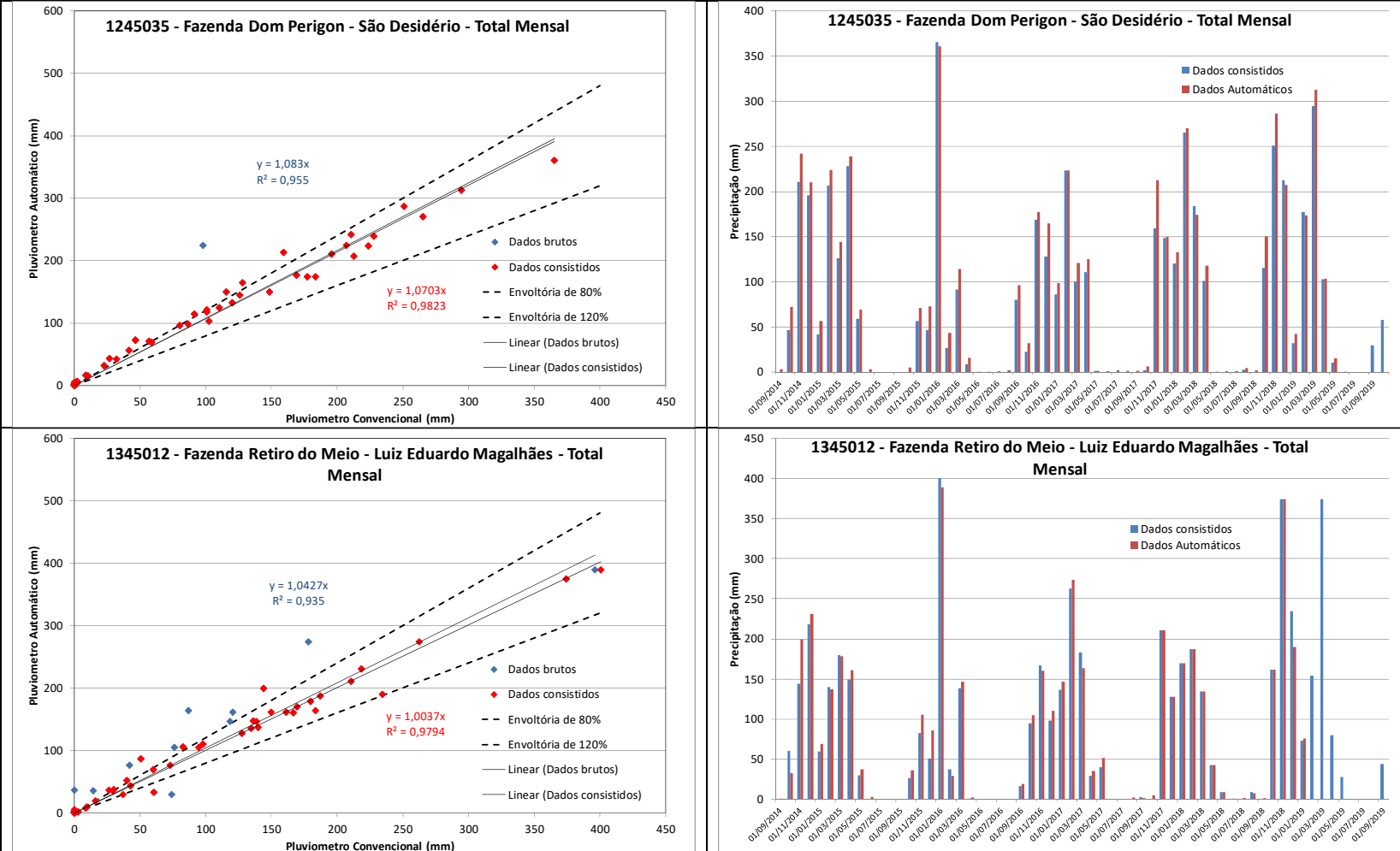


Figura A – Comparação entre a precipitação registrada nos equipamentos convencional x automático nas estações climatológicas

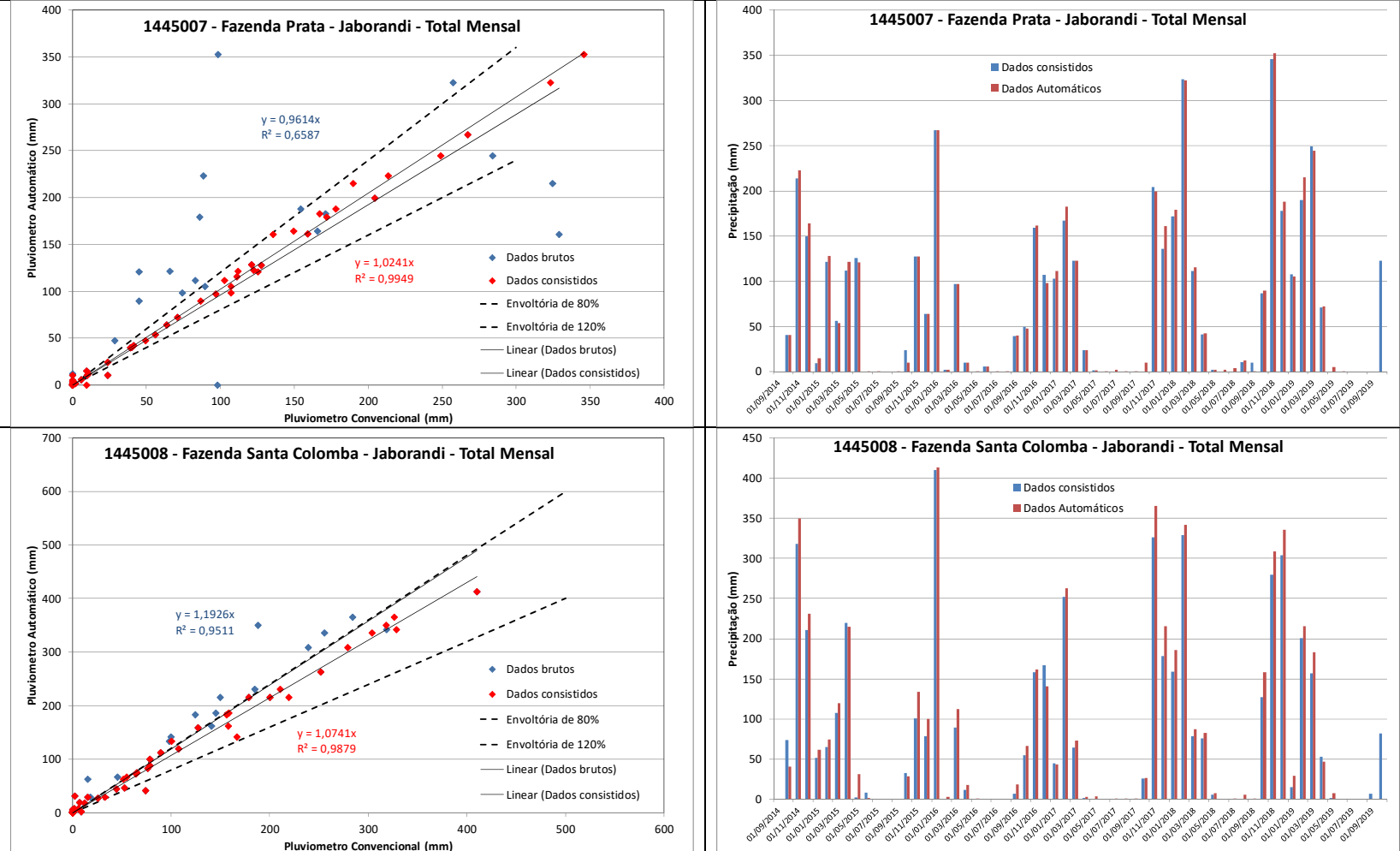


Figura A – Comparação entre a precipitação registrada nos equipamentos convencional x automático nas estações climatológicas

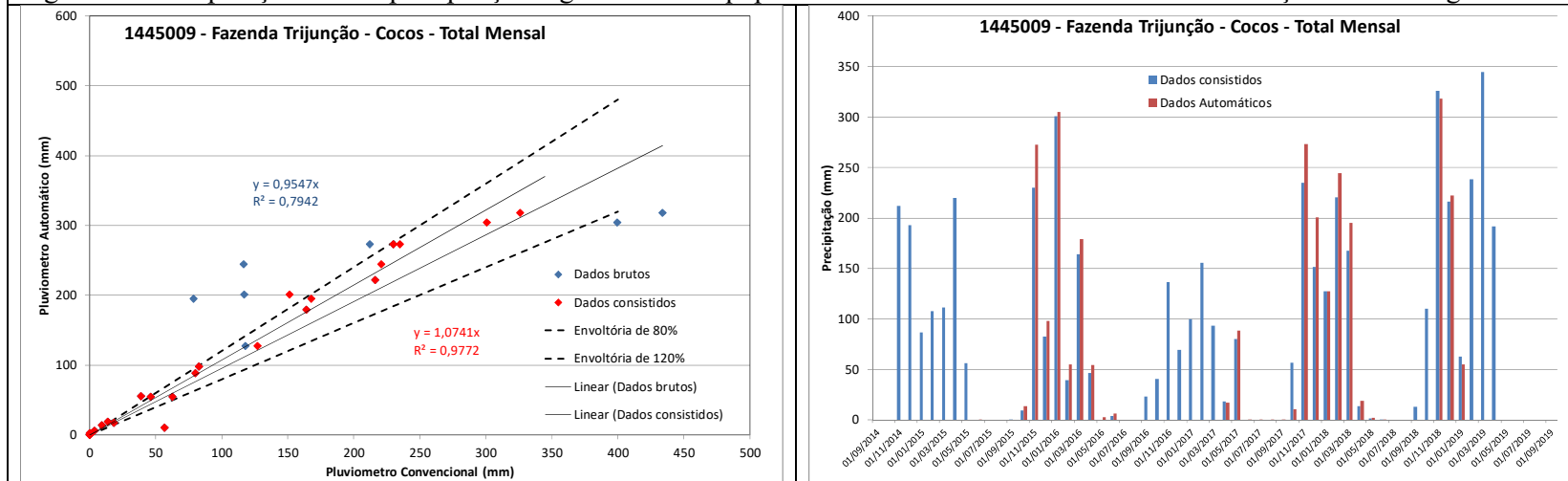


Figura B – Precipitação medida em equipamentos convencional x automático nas estações pluviométricas da RHUrucua

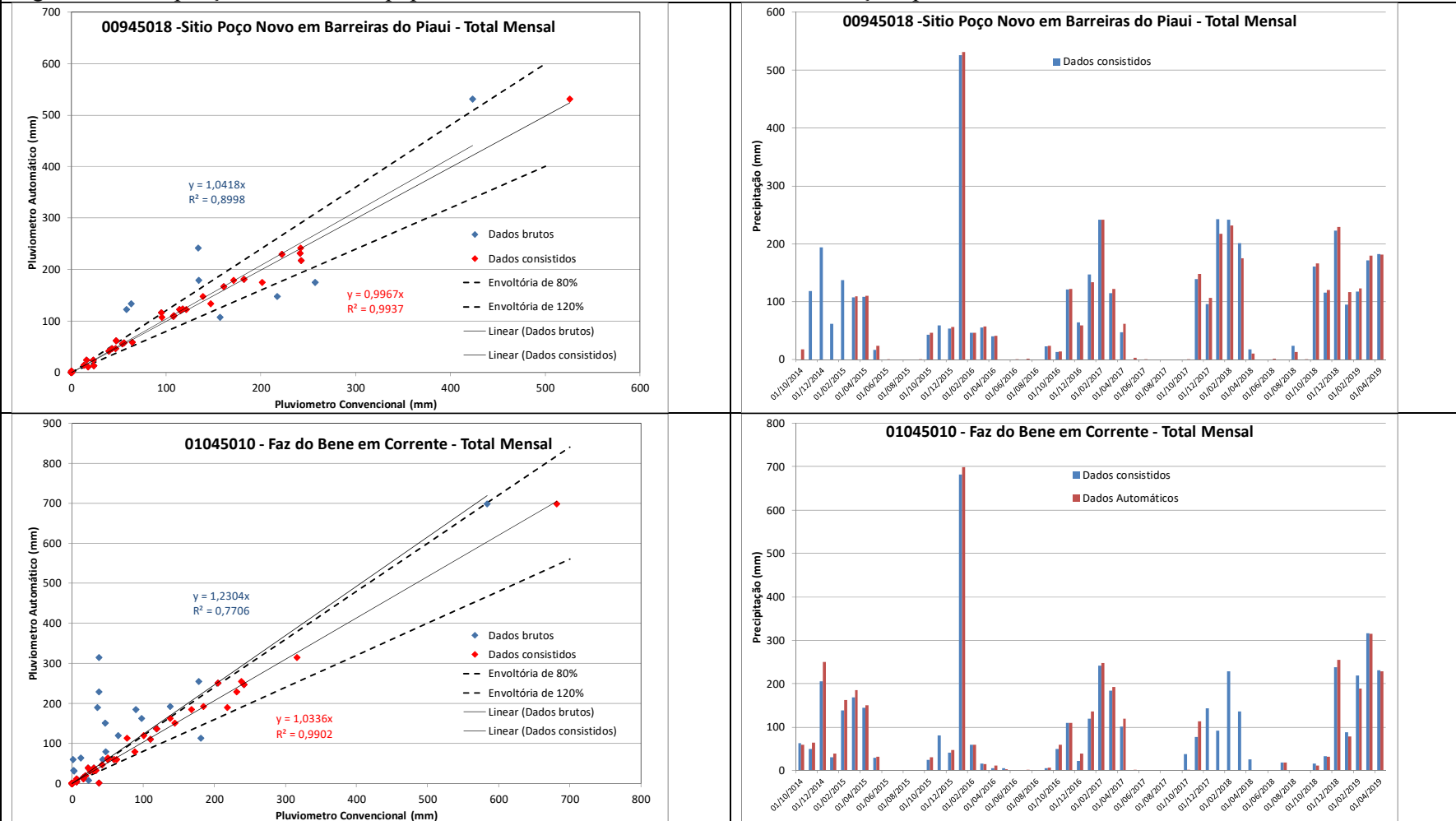


Figura B – Precipitação medida em equipamentos convencional x automático nas estações pluviométricas da RHUrucua

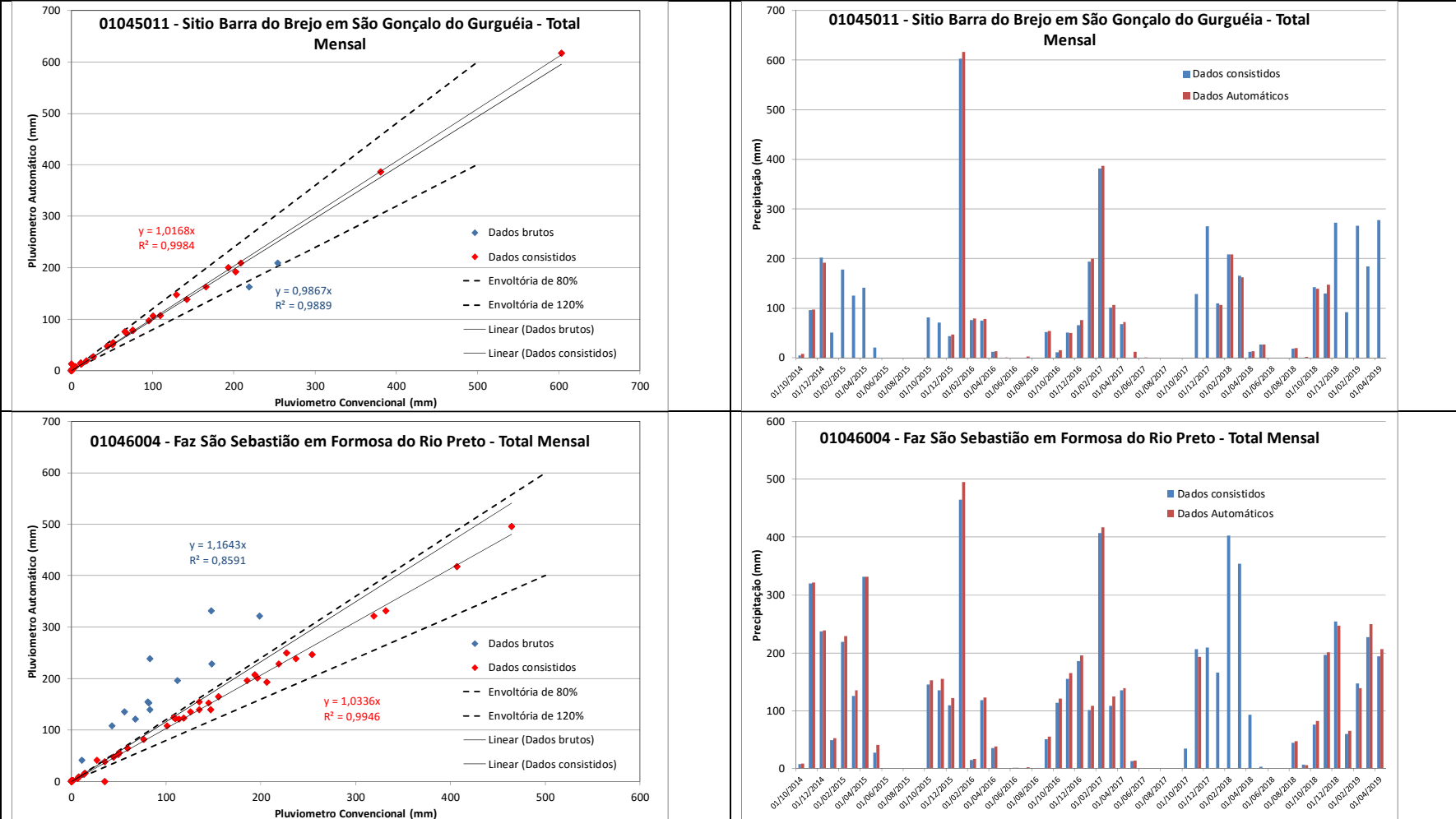


Figura B – Precipitação medida em equipamentos convencional x automático nas estações pluviométricas da RHUrucua

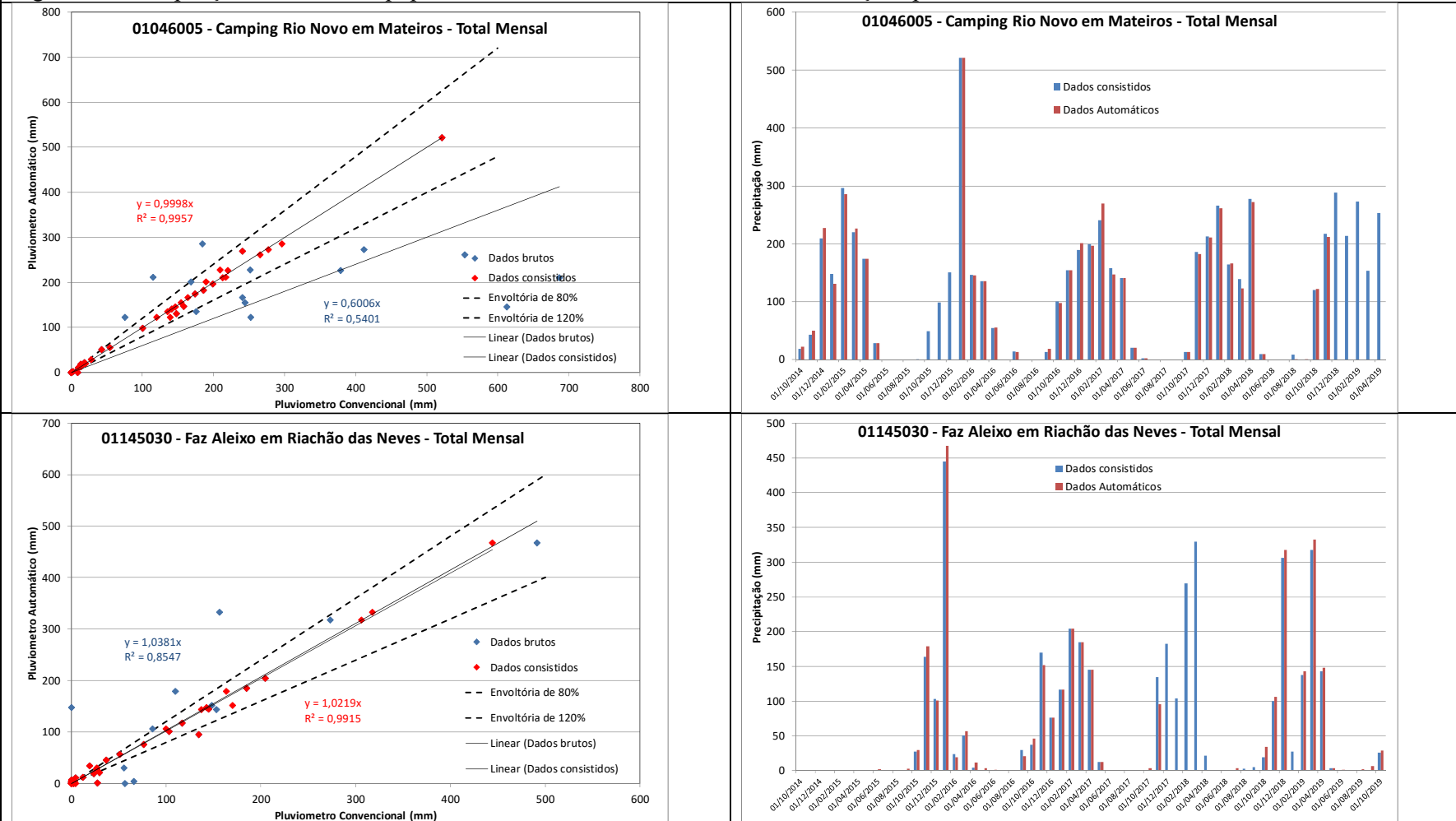


Figura B – Precipitação medida em equipamentos convencional x automático nas estações pluviométricas da RHUrucua

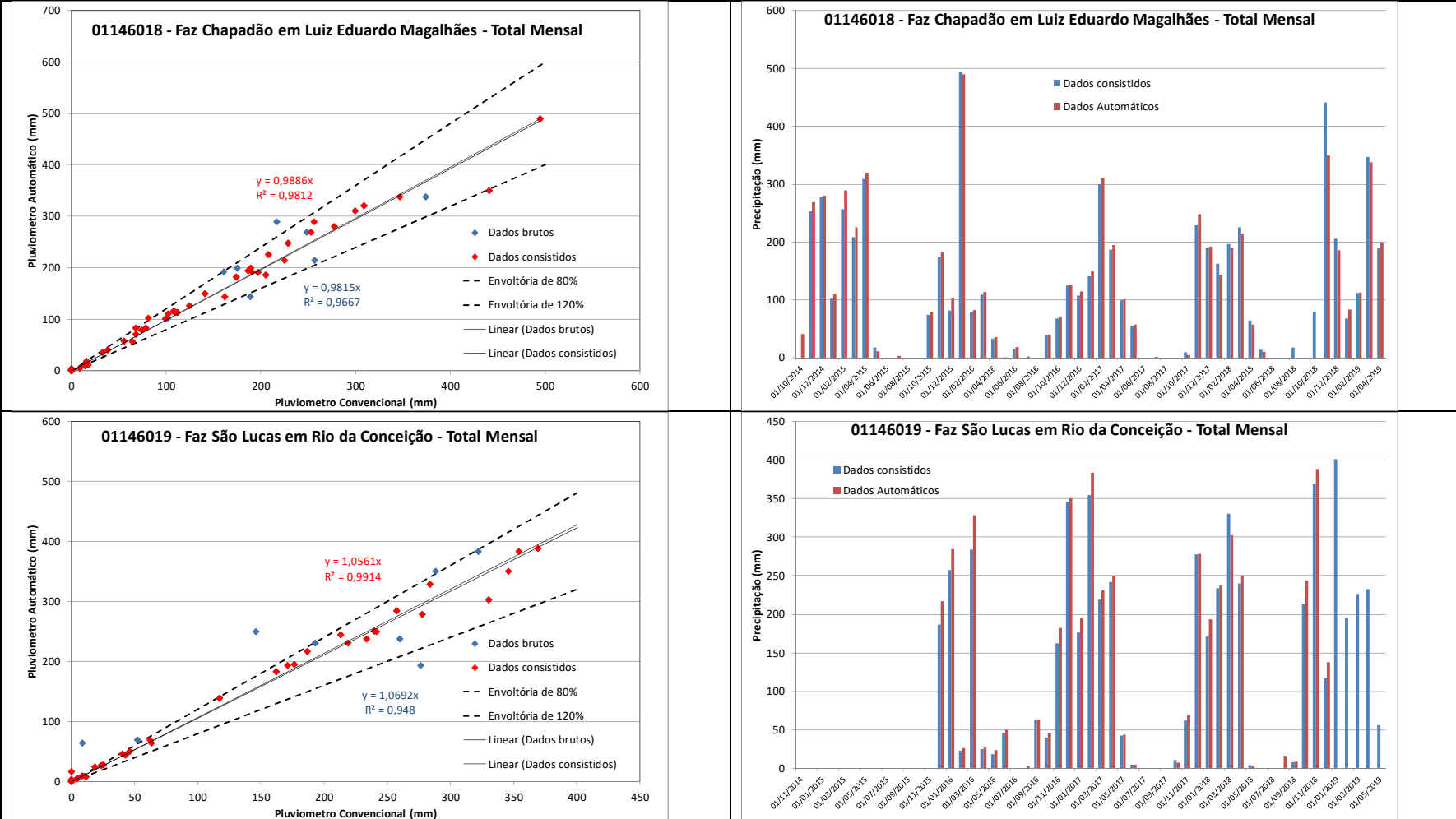


Figura B – Precipitação medida em equipamentos convencional x automático nas estações pluviométricas da RHUrucua

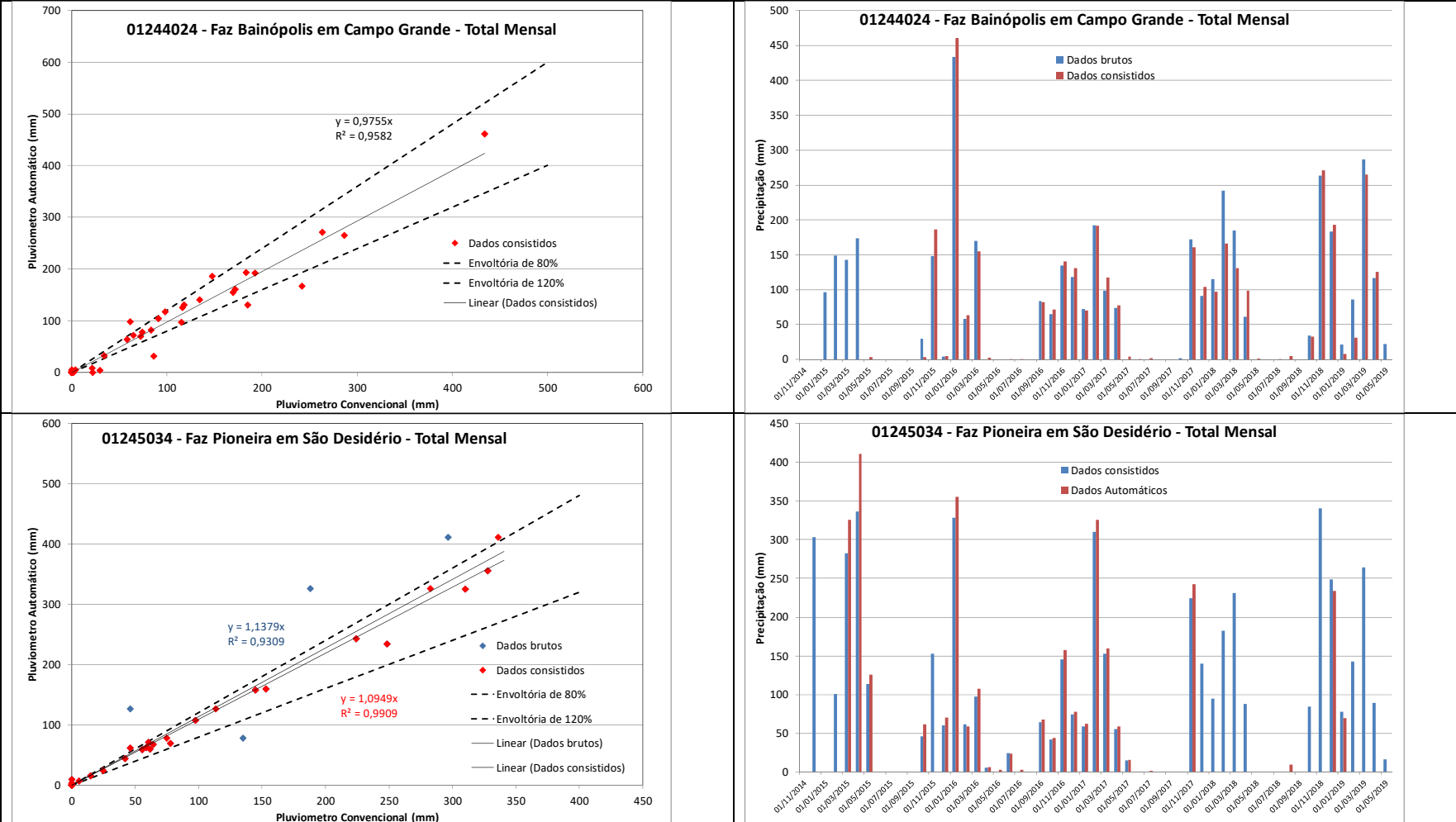


Figura B – Precipitação medida em equipamentos convencional x automático nas estações pluviométricas da RHUrucua

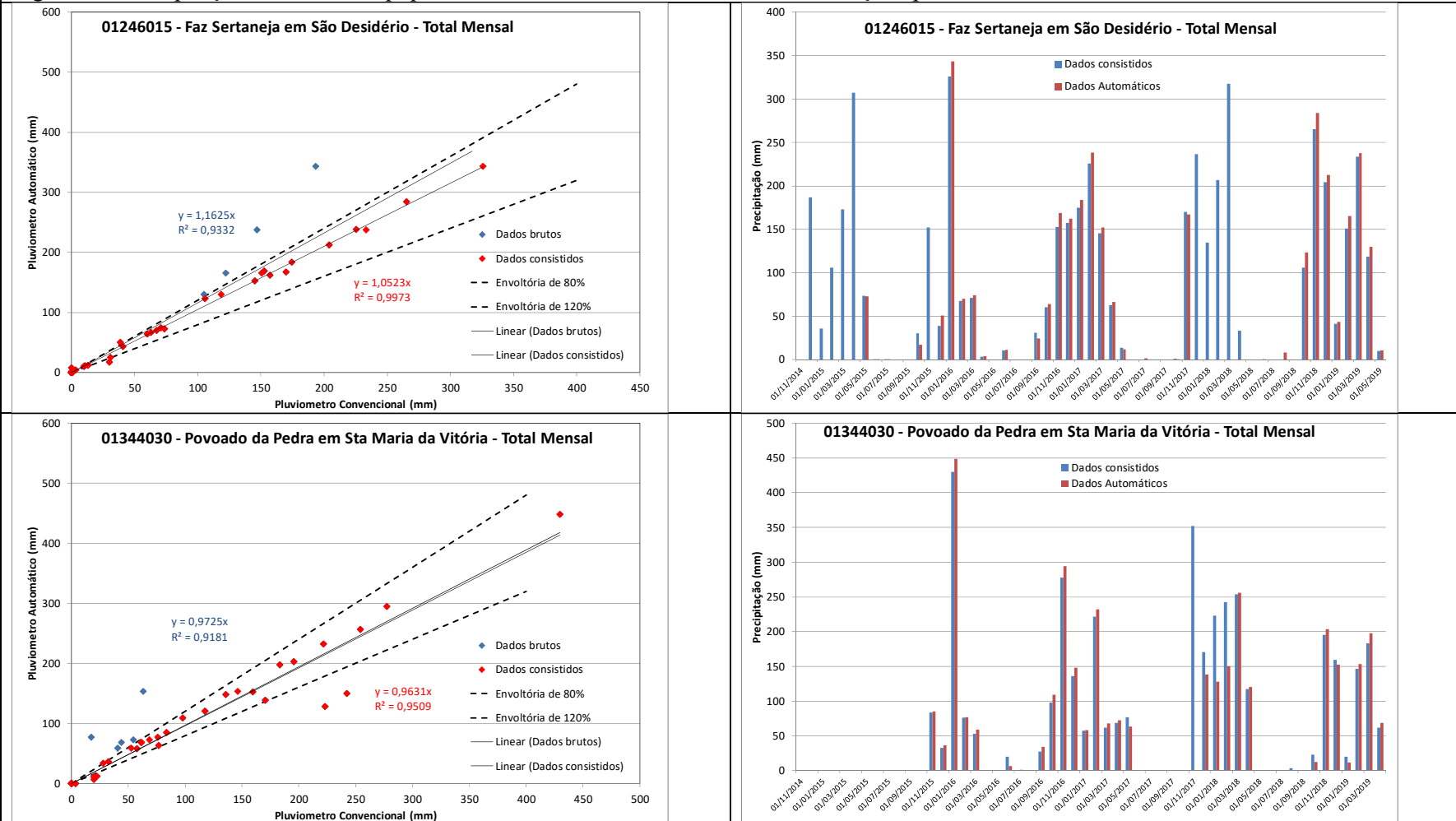


Figura B – Precipitação medida em equipamentos convencional x automático nas estações pluviométricas da RHUrucuaia

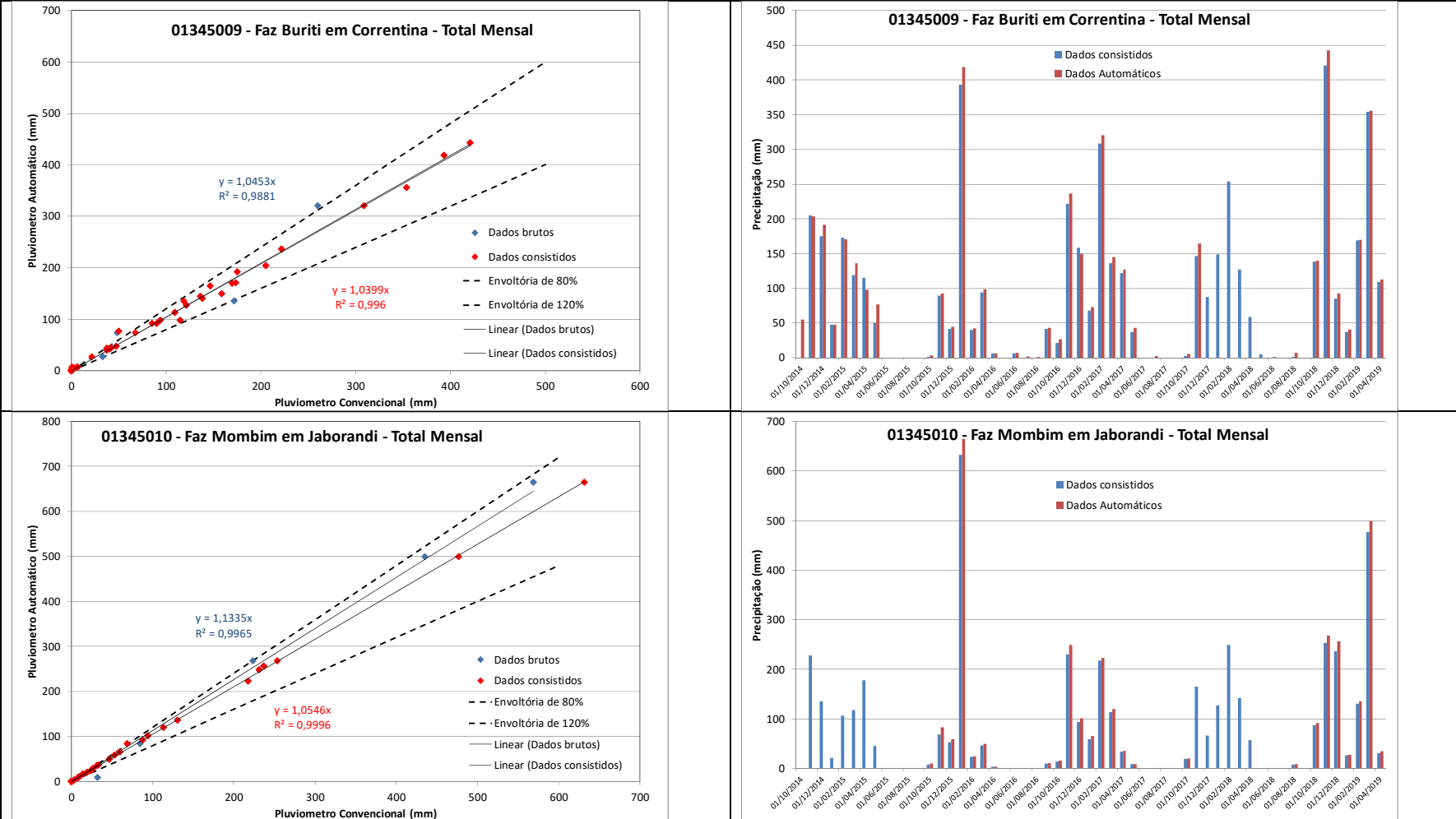


Figura B – Precipitação medida em equipamentos convencional x automático nas estações pluviométricas da RHUrucua

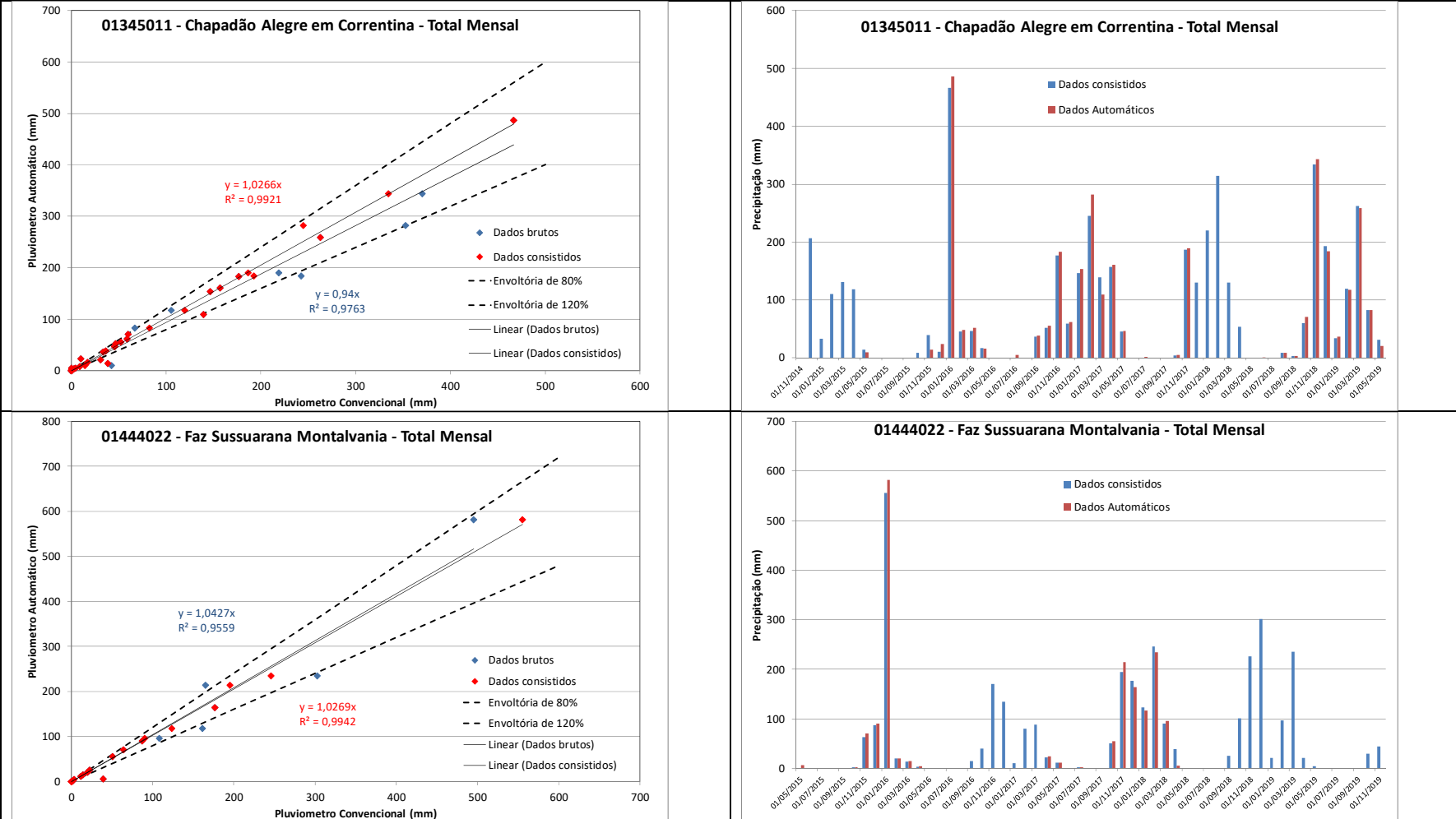
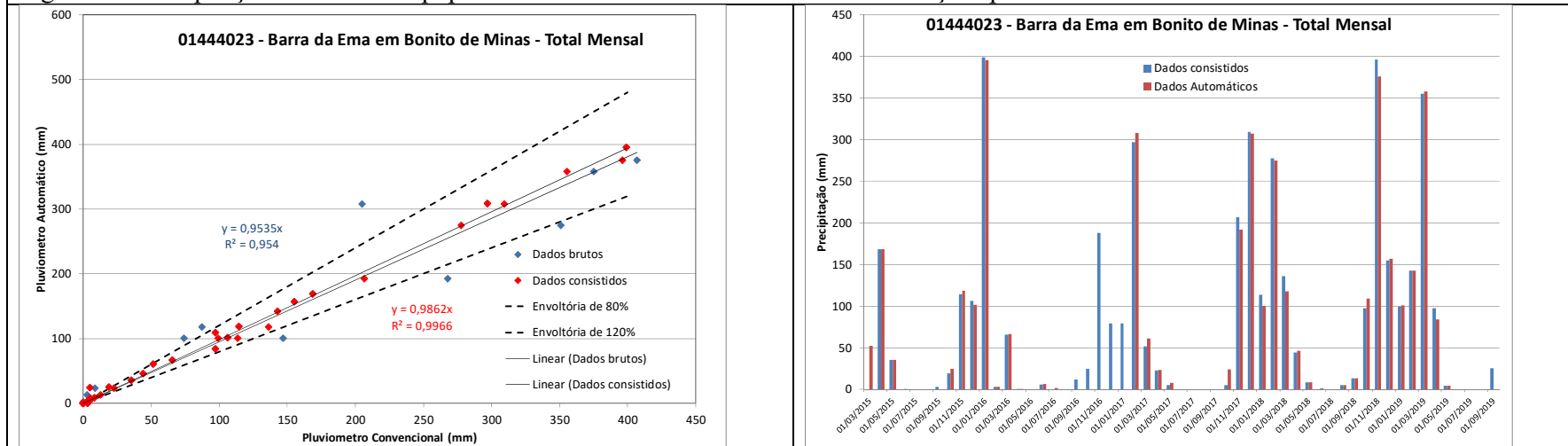


Figura B – Precipitação medida em equipamentos convencional x automático nas estações pluviométricas da RHUrucua



ANEXO VI – INCONSISTÊNCIAS NOS DADOS FLUVIOMÉTRICOS

Inconsistências encontradas na análise dos dados fluviométricos

| CÓDIGO | TIPO | INÍCIO | FIM | VALOR ORIGINAL | VALOR CONSISTIDO | OBSERVAÇÃO |
|----------|------|----------|----------|------------------|------------------|------------------|
| 22560000 | C | 17/05/15 | 30/06/15 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 06/10/17 | 23/10/17 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 01/09/18 | 30/09/18 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 26/04/19 | 30/04/19 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 29/10/17 | 29/10/17 | 88 | 98 | DD alterado |
| | Q | 11/02/18 | 11/04/18 | - | - | Falha preenchida |
| 22662000 | C | 01/12/14 | 17/12/14 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 31/12/14 | 31/12/14 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 17/02/17 | 25/02/17 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 08/09/18 | 10/09/18 | 100, 100, 150 | 200 | EM alterado |
| | C | 08/11/18 | 08/11/18 | 299 | 229 | DD alterado |
| | C | 26/04/19 | 30/04/19 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 17/06/19 | 17/06/19 | 100 | 200 | EM alterado |
| | C | 07/08/19 | 07/08/19 | 105 | 192 | DD alterado |
| 22665000 | Q | 29/01/16 | 30/01/16 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 31/12/18 | 31/12/18 | - | - | Falha preenchida |
| 34001000 | Q | 20/01/16 | 20/01/16 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 08/02/15 | 20/03/15 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 02/04/15 | 09/07/15 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 19/10/15 | 21/10/15 | 240 | 250 | DD alterado |
| | C | 01/10/16 | 06/10/16 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 11/12/17 | 11/12/17 | 240 | 260 | DD alterado |
| | C | 18/05/18 | 31/05/18 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 14/09/19 | 14/09/19 | 139 | 252 | DD alterado |
| 34228000 | Q | 21/01/16 | 26/01/16 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 16/08/19 | 16/08/19 | 76 | 138 | DD alterado |
| | C | 19/07/19 | 20/07/19 | 130 | 140 | DD alterado |
| 45120000 | C | 23/07/19 | 23/07/19 | 130 | 140 | DD alterado |
| | C | 25/03/19 | 27/03/19 | 315, 303, 302 | 415, 403, 402 | EM alterado |
| 45125000 | C | 01/11/17 | 03/11/17 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 12/11/17 | 12/11/17 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 21/10/19 | 21/10/19 | 266 | 316 | EM alterado |
| 45155500 | C | 30/10/16 | 30/10/16 | 688 | 138 | DD alterado |
| | C | 09/11/19 | 09/11/19 | 72 | 127 | DD alterado |
| 45765000 | C | 01/04/17 | 02/04/17 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 02/03/18 | 04/03/18 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 01/08/18 | 12/08/18 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 31/08/18 | 30/09/18 | - | - | Falha preenchida |
| | C, Q | 01/10/18 | 30/04/18 | - | - | Falha |
| | C | 01/05/19 | 09/05/19 | - | - | Falha preenchida |

| CÓDIGO | TIPO | INÍCIO | FIM | VALOR ORIGINAL | VALOR CONSISTIDO | OBSERVAÇÃO |
|----------|----------|----------|----------|----------------|------------------|--------------------|
| | C | 25/02/17 | 28/02/17 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 07/02/17 | 13/02/17 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 01/09/16 | 31/10/16 | - | - | Falha preenchida |
| | C, Q | 01/11/16 | 31/01/17 | - | - | Falha |
| 46410000 | C | 01/07/14 | 31/07/14 | - | - | Dados deletados |
| | C | 31/12/16 | 31/12/16 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 28/01/17 | 28/01/17 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 31/01/17 | 31/01/17 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 31/03/17 | 31/03/17 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 27/04/19 | 30/04/19 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 07/04/18 | 08/04/18 | 385, 266 | 285, 316 | EM alterado |
| | C | 13/04/18 | 13/04/18 | 254 | 304 | EM alterado |
| 46438000 | C, Q | 18/07/17 | 06/11/17 | - | - | Falha |
| | C, Q | 01/09/17 | 22/04/18 | - | - | Falha |
| 46439000 | C | 01/09/14 | 28/09/14 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 01/10/14 | 31/10/14 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 01/11/14 | 17/11/14 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 02/05/15 | 03/05/15 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 01/08/15 | 31/10/15 | - | - | Falha preenchida |
| | Q | 01/11/15 | 07/01/16 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 06/03/16 | 11/03/16 | - | - | Falha preenchida |
| | C, Q | 21/04/16 | 06/02/17 | - | - | Falha |
| | C | 23/03/17 | 31/03/17 | - | - | Falha preenchida |
| | C, Q | 28/04/17 | 08/11/17 | - | - | Falha |
| | C | 30/03/19 | 30/03/19 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 15/03/19 | 16/03/19 | - | - | Falha preenchida |
| | C, Q | 11/11/17 | 07/12/17 | - | - | Falha |
| | C | 10/12/17 | 10/12/17 | - | - | Falha preenchida |
| | C, Q | 18/12/17 | 31/01/18 | - | - | Falha |
| | C | 01/03/18 | 04/03/18 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 31/03/18 | 31/03/18 | - | - | Falha preenchida |
| | C, Q | 14/05/18 | 27/11/18 | - | - | Falha |
| | C | 23/12/18 | 31/12/18 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 08/12/18 | 08/12/18 | 150 | 200 | EM alterado |
| 46470000 | C, Q | 08/01/19 | 11/02/19 | - | - | Falha |
| | C, Q | 01/04/19 | 31/12/19 | - | - | Falha |
| 46555800 | C, Q | - | - | - | - | Dados consistentes |
| | C | 29/10/18 | 29/10/18 | 252 | 202 | EM alterado |
| | C | 19/09/19 | 19/09/19 | 233 | 183 | EM alterado |
| 46572000 | Q | 20/01/16 | 22/01/16 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 29/03/18 | 31/03/18 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 05/02/19 | 05/02/19 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 16/02/19 | 17/02/19 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 04/03/19 | 04/03/19 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 13/03/19 | 15/03/19 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 22/03/19 | 22/03/19 | - | - | Falha preenchida |
| C | 02/05/19 | 09/05/19 | - | - | Falha preenchida | |

| CÓDIGO | TIPO | INÍCIO | FIM | VALOR ORIGINAL | VALOR CONSISTIDO | OBSERVAÇÃO |
|----------|------|----------|----------|----------------|------------------|------------------|
| 46780800 | C, Q | 25/01/18 | 31/03/18 | - | - | Falha |
| | C | 01/04/18 | 04/04/18 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 10/09/18 | 30/09/18 | - | - | Falha preenchida |
| | C, Q | 01/10/18 | 15/12/18 | - | - | Falha |
| | C | 27/01/19 | 27/01/19 | - | - | Falha preenchida |
| | C | 14/08/19 | 31/08/19 | - | - | Falha preenchida |

EM – Erro de Metro; DD – Dado Duvidoso.

ANEXO VII – MEDIÇÕES, CURVAS-CHAVE E PERFIS

Curvas-chave com medições de descarga líquida, perfis transversais, cotograma e hidrograma das estações da rede Hidrometeorológica do Aquífero Urucuia – RHUrucuia, para o período de 2014 a 2020.

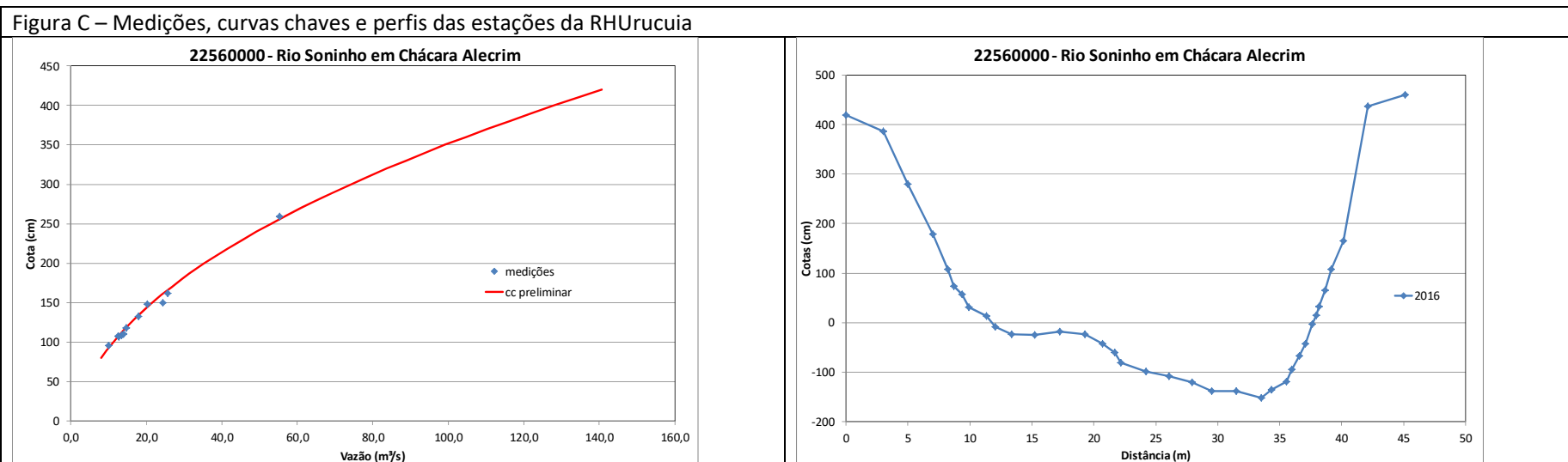


Figura C – Medições, curvas chaves e perfis das estações da RHUrucua

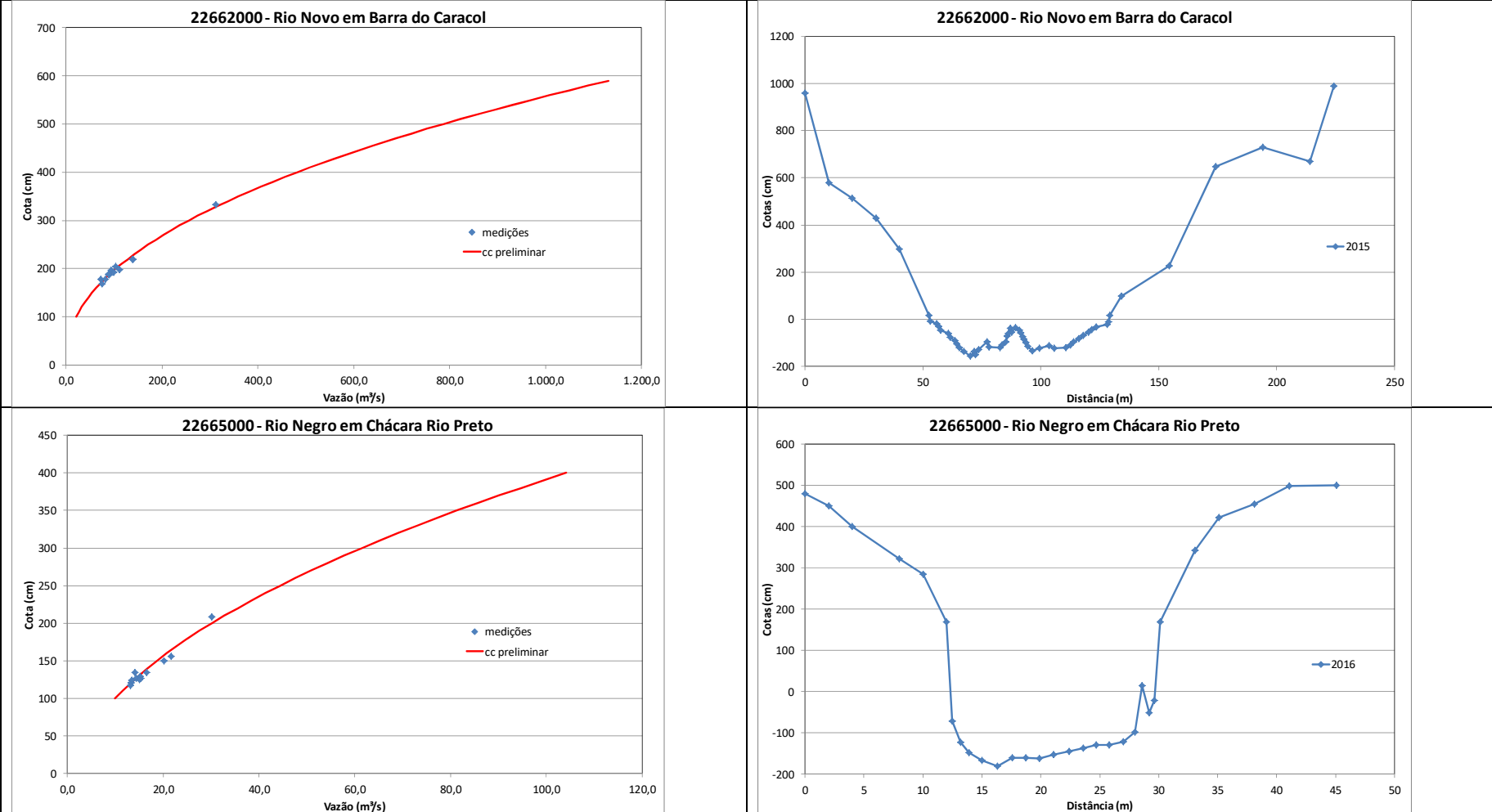


Figura C – Medições, curvas chaves e perfis das estações da RHUrucua

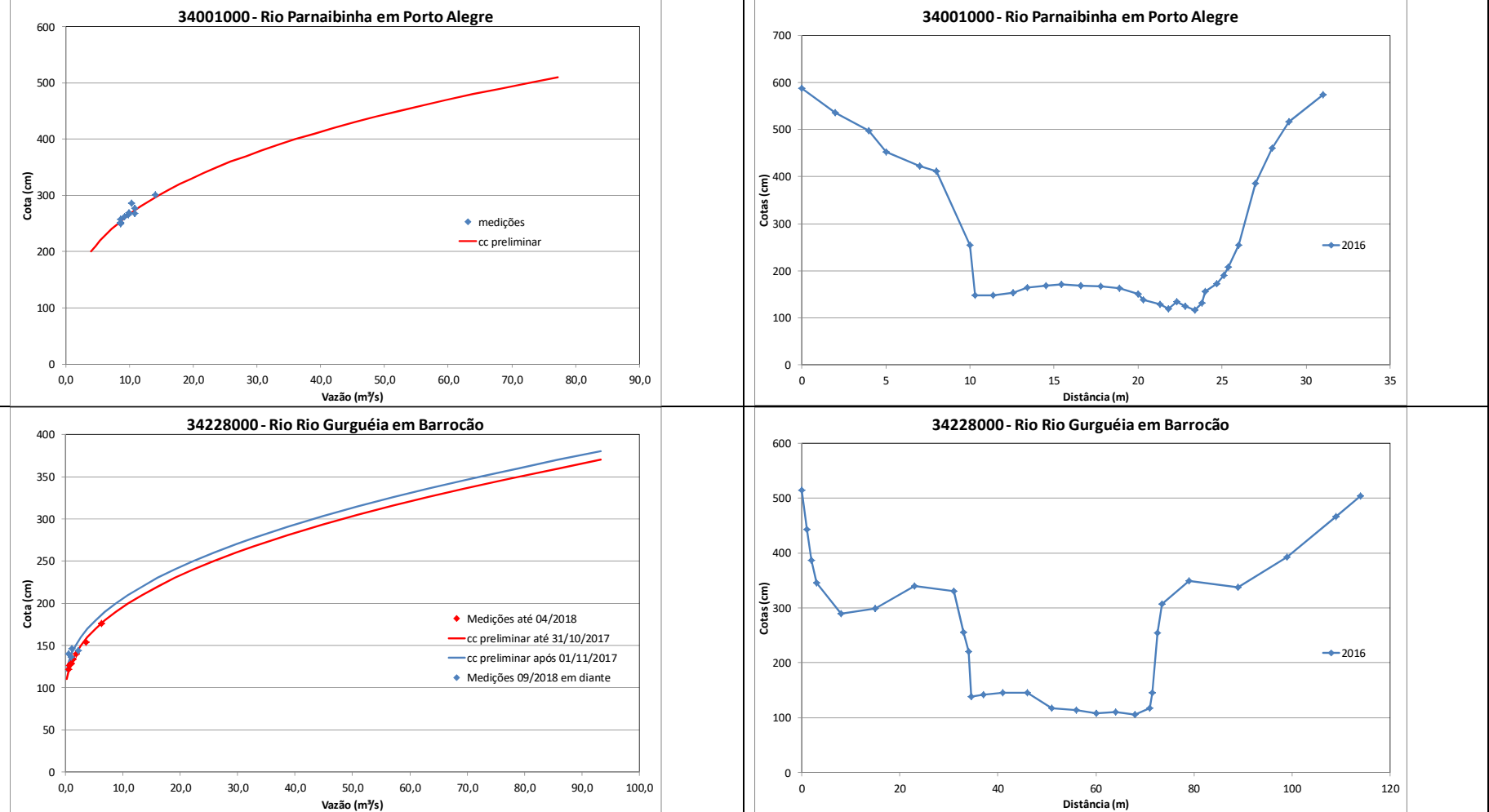


Figura C – Medições, curvas chaves e perfis das estações da RHUruçua

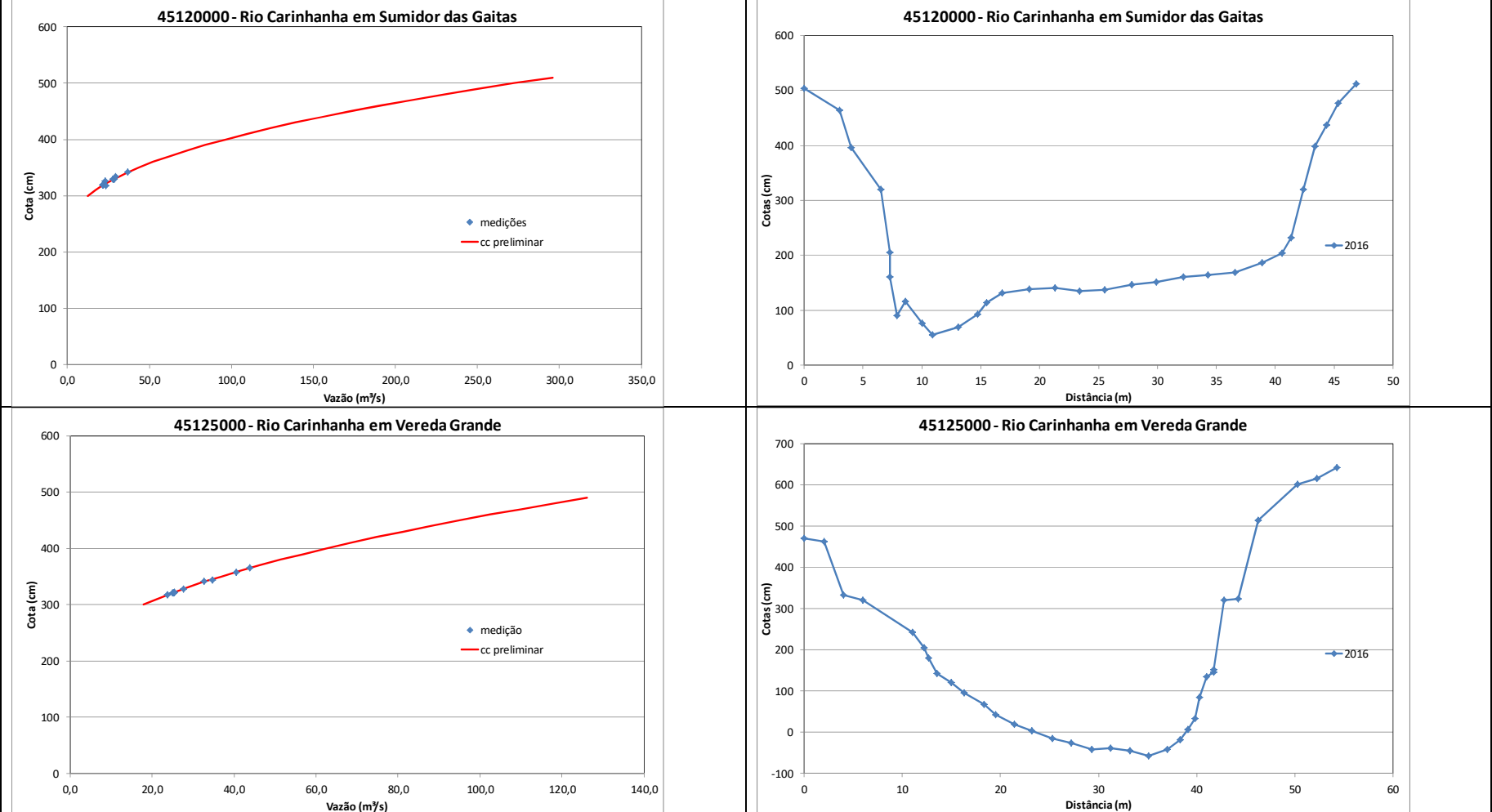


Figura C – Medições, curvas chaves e perfis das estações da RHUruçua

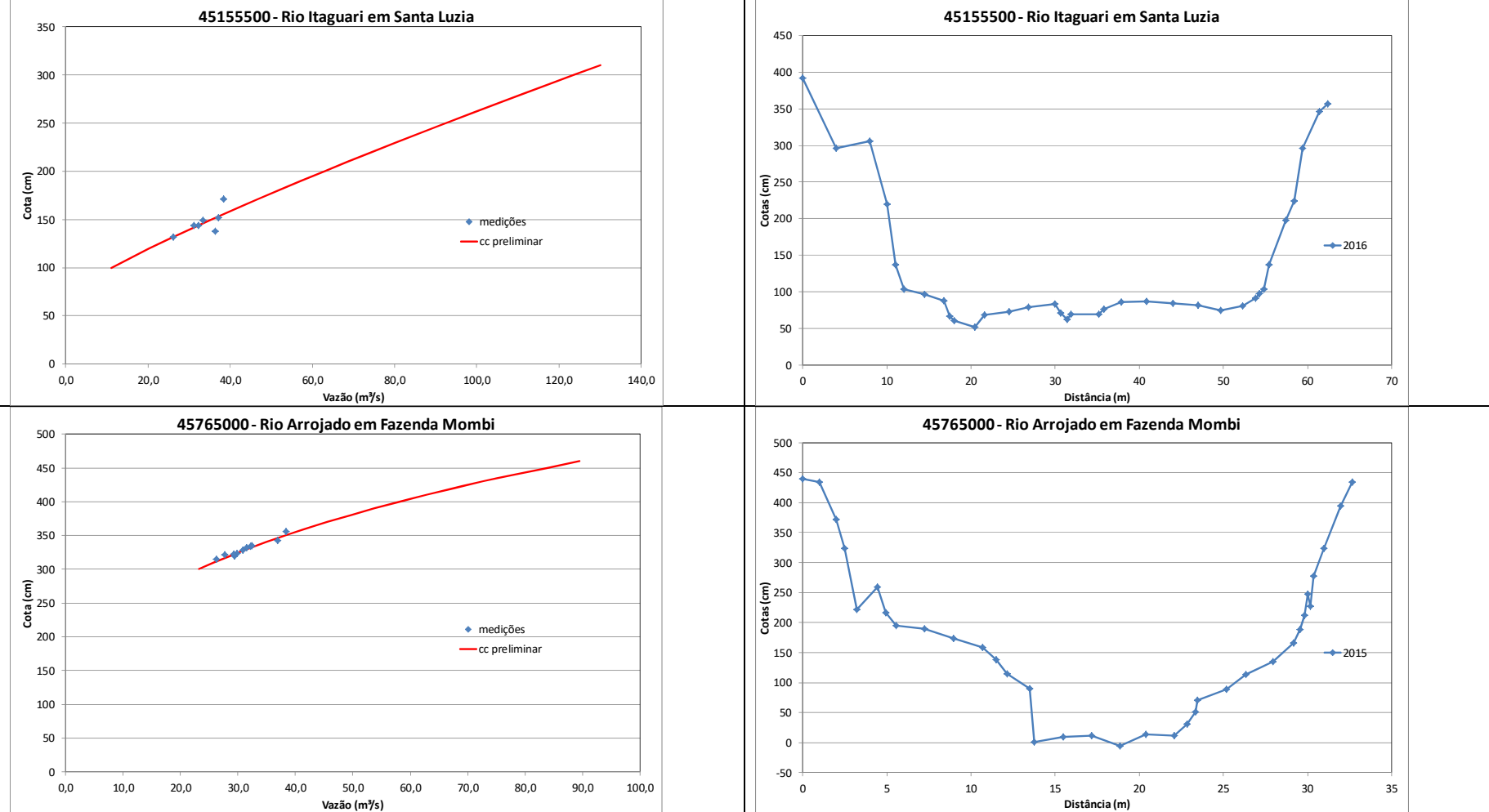


Figura C – Medições, curvas chaves e perfis das estações da RHUrucua

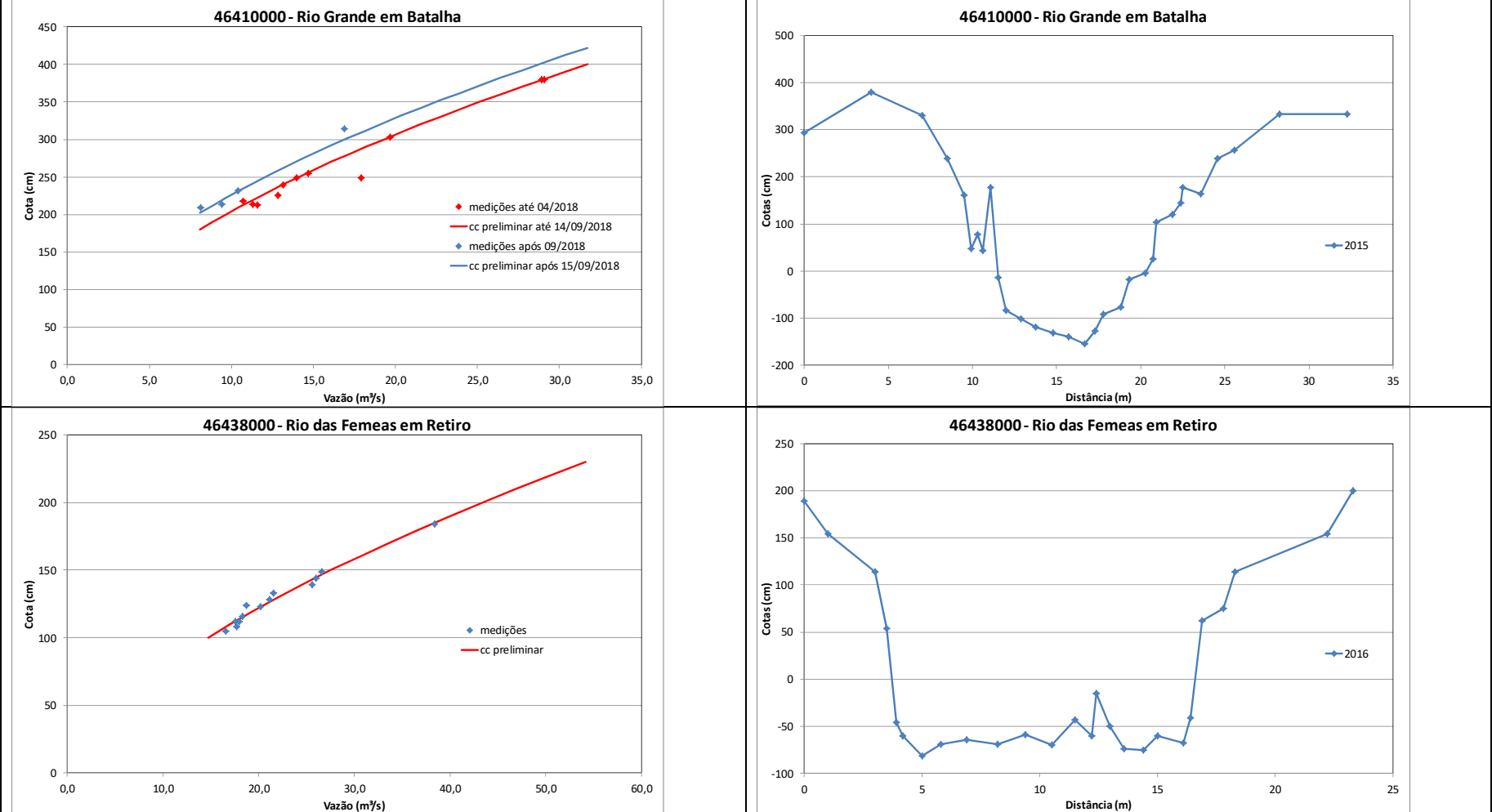


Figura C – Medições, curvas chaves e perfis das estações da RHUruçua

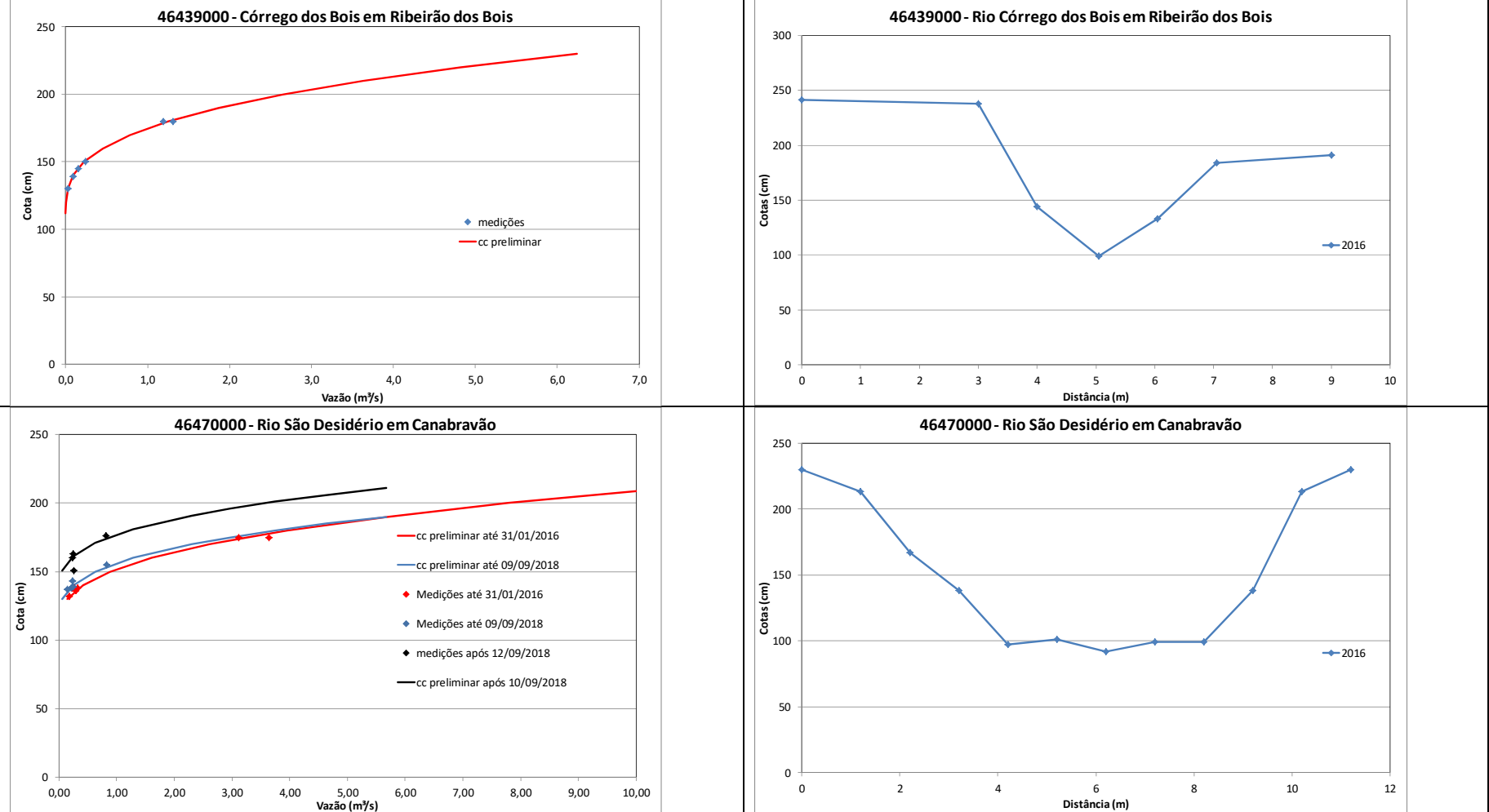


Figura C – Medições, curvas chaves e perfis das estações da RHUruçua

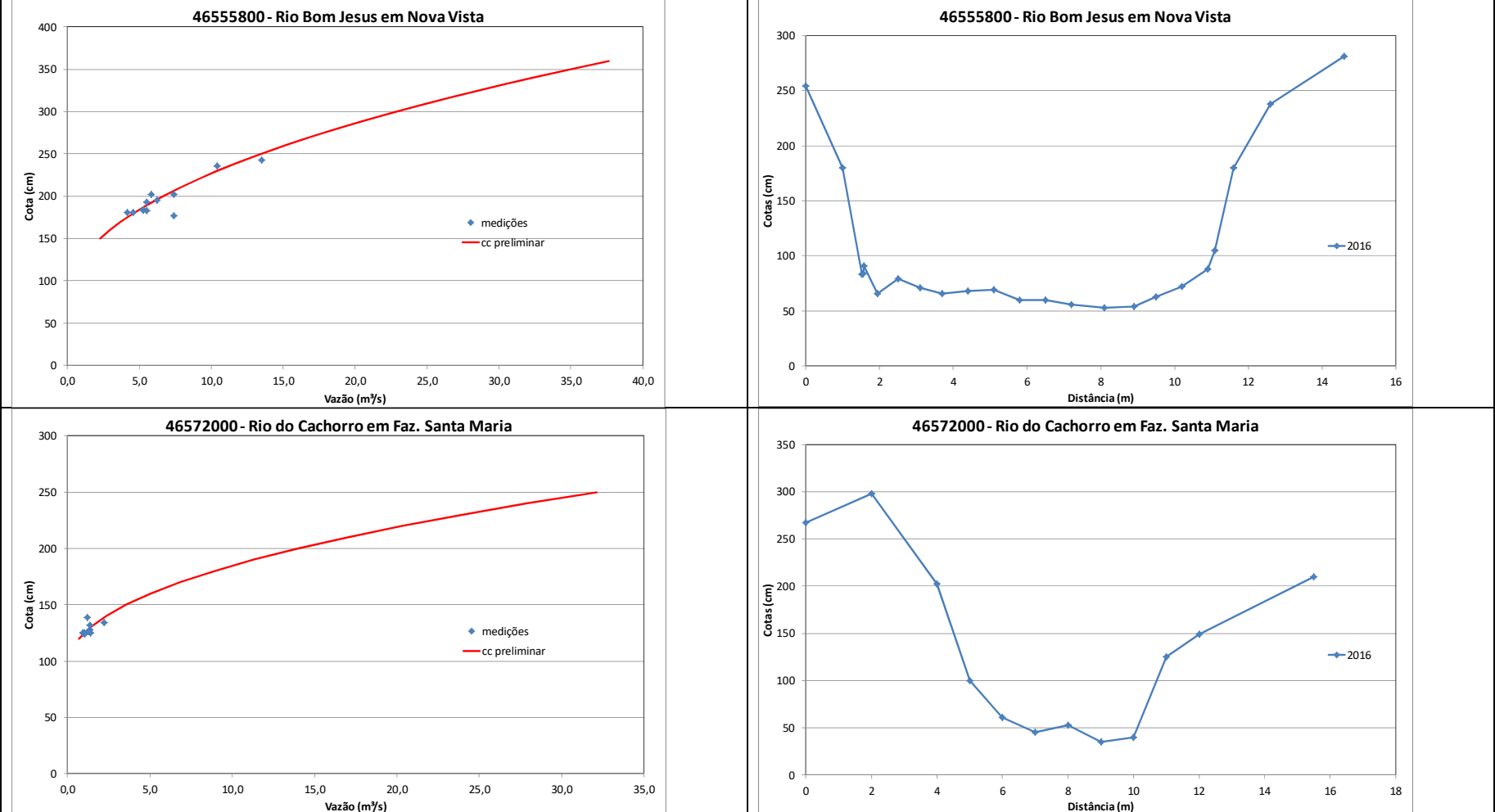
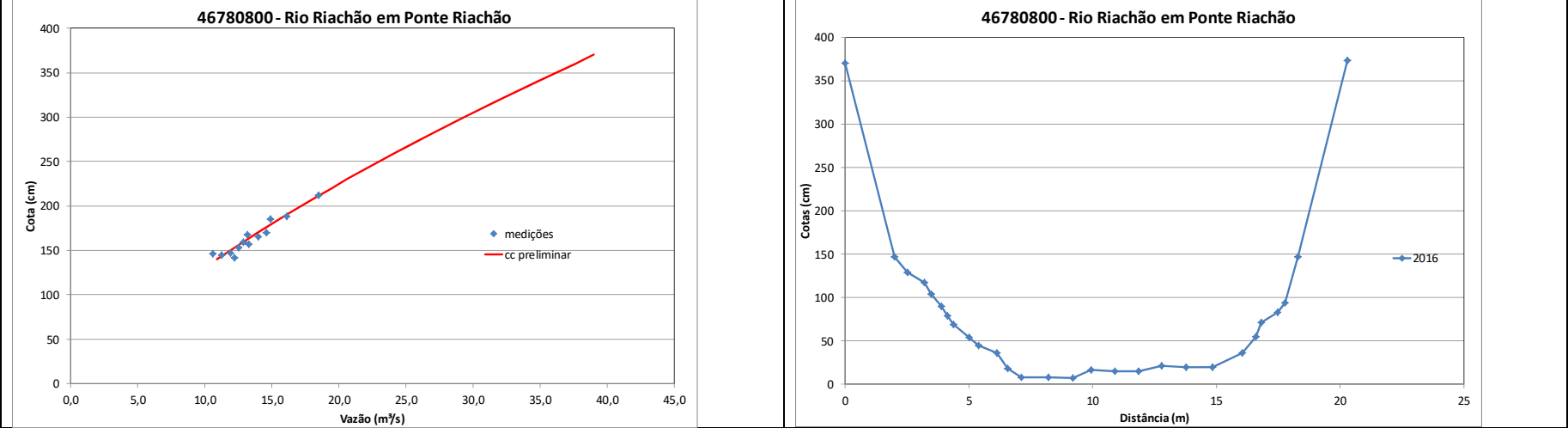


Figura C – Medições, curvas chaves e perfis das estações da RHUrucua



ANEXO VIII – VALORES CARACTERÍSTICOS DOS PARÂMETROS CLIMATOLÓGICOS MONITORADOS

| PRECIPITAÇÃO (MM) | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | ANUAL |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 00945018 | 219,8 | 173,9 | 128,6 | 81 | 10,1 | 0,5 | 0,3 | 2,7 | 5,2 | 62,7 | 124,8 | 152,9 | 962,4 |
| 01045010 | 192,8 | 131,8 | 141,5 | 102,2 | 11 | 0,2 | 5,1 | 0 | 15,2 | 36,7 | 76,6 | 119,7 | 832,8 |
| 01045011 | 240 | 197,8 | 151,4 | 45,3 | 15,3 | 0,4 | 0,6 | 4,8 | 14,2 | 71,9 | 79,6 | 103,7 | 924,8 |
| 01045012 | 181,2 | 165,3 | 223,9 | 99,1 | 43,3 | 0,2 | 0 | 2,2 | 14,3 | 58,2 | 126 | 166,3 | 1080 |
| 01046004 | 180,3 | 200,5 | 158,3 | 178,9 | 15,2 | 0,6 | 0,6 | 12 | 15,8 | 65,1 | 174,3 | 173,4 | 1174,8 |
| 01046005 | 277,6 | 284,2 | 194,7 | 160,7 | 14,5 | 5,3 | 0 | 0,1 | 6,2 | 63,7 | 149,7 | 163,5 | 1319,9 |
| 01046006 | 243,3 | 270,3 | 210,3 | 187,2 | 18,8 | 4,4 | 0 | 3,4 | 23,4 | 44,1 | 181,8 | 225,3 | 1412,3 |
| 01046007 | 217,8 | 196,6 | 224,6 | 117,4 | 10,3 | 5,8 | 0 | 1,2 | 4,2 | 77,3 | 184,9 | 183,9 | 1224 |
| 01145030 | 194,8 | 122,4 | 191,3 | 101,4 | 4,9 | 0,9 | 0,7 | 0,4 | 6 | 44,4 | 112,7 | 131,6 | 911,6 |
| 01145031 | 176,4 | 203 | 170,4 | 70,9 | 14,1 | 0,1 | 0 | 0,3 | 2,2 | 70 | 161 | 132,5 | 1001 |
| 01145032 | 176,5 | 176,8 | 191,5 | 79,9 | 14,3 | 0,2 | 0 | 0 | 6,7 | 67,5 | 179,6 | 191,7 | 1084,5 |
| 01146018 | 195,5 | 197,2 | 217,2 | 142,5 | 22,8 | 4,7 | 1,8 | 0 | 10,3 | 44,7 | 196,2 | 175,1 | 1208 |
| 01146019 | 168,1 | 162,1 | 215,5 | 131,8 | 18,1 | 13,8 | 0,2 | 6,8 | 24,4 | 74,4 | 134,6 | 196,6 | 1146,3 |
| 01146020 | 232,3 | 223,9 | 241,3 | 197,2 | 18,3 | 6,5 | 0 | 0,9 | 13,7 | 100,3 | 210,7 | 211,5 | 1456,5 |
| 01146021 | 182,4 | 157,5 | 242,7 | 178 | 28,7 | 0,2 | 0 | 5,6 | 29,9 | 99,3 | 200,5 | 233,4 | 1358,3 |
| 01244024 | 159 | 113,1 | 167 | 76 | 1,8 | 0,1 | 0,8 | 1,3 | 20,5 | 21,5 | 151,6 | 108,3 | 820,9 |
| 01245034 | 162,4 | 157,1 | 179,3 | 119 | 36,5 | 5 | 0,9 | 1,9 | 14 | 43,6 | 175,1 | 100,4 | 995,1 |
| 01245035 | 129,2 | 180 | 159,3 | 110,1 | 14,2 | 0 | 0 | 0,5 | 22 | 40,8 | 169,1 | 146,4 | 971,6 |
| 01246015 | 142,7 | 118,4 | 116,1 | 50 | 23,9 | 2,6 | 0,4 | 1,6 | 4,9 | 56,9 | 153,4 | 90,3 | 761,1 |
| 01344030 | 161,4 | 153,1 | 145,4 | 65,3 | 22,2 | 1,5 | 0,2 | 0 | 8,5 | 30,5 | 145,7 | 118,8 | 852,3 |
| 01345009 | 249,7 | 144 | 119,4 | 82,1 | 49,5 | 3 | 1,7 | 2,1 | 10,8 | 38,6 | 220,8 | 112,8 | 1034,2 |
| 01345010 | 280,4 | 165,4 | 335,9 | 91,7 | 12 | 0,1 | 0,3 | 2,3 | 3,1 | 33,6 | 192,5 | 200,9 | 1318,2 |
| 01345011 | 225,4 | 149,1 | 140 | 86,3 | 19,1 | 0,1 | 1,8 | 2,1 | 10,4 | 32,7 | 146,1 | 77,4 | 890,4 |
| 01345012 | 167,9 | 156,2 | 202,2 | 60,6 | 21,5 | 0 | 0 | 1,8 | 12,8 | 68,6 | 195,7 | 145,9 | 1033,2 |
| 01444022 | 349,8 | 127,7 | 44,8 | 11,9 | 3,9 | 0,2 | 1,3 | 0 | 0 | 29 | 142,4 | 127,5 | 838,5 |

| PRECIPITAÇÃO (MM) | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | ANUAL |
|-------------------|-------|-------|-------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|--------|
| 01444023 | 198,7 | 182,2 | 131,1 | 64,4 | 11,2 | 1,6 | 0,4 | 1,4 | 3,3 | 39,4 | 171,7 | 188,7 | 993,8 |
| 01445007 | 131,8 | 160,6 | 127,2 | 51,7 | 25,8 | 1,2 | 0 | 2,2 | 9,8 | 53,9 | 193,3 | 127 | 884,5 |
| 01445008 | 136,1 | 169,2 | 99,4 | 72,5 | 2,1 | 1,7 | 0 | 0 | 2,9 | 66,3 | 215,5 | 187,8 | 953,4 |
| 01445009 | 135,5 | 152,2 | 176,3 | 98 | 27,6 | 0,8 | 0 | 0 | 7,3 | 54,2 | 227,9 | 142,6 | 1022,4 |

Os valores em negrito representam as estações que possuem valores característicos mais elevados de cada parâmetro monitorado

| PRESSÃO ATM (HPA) | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | ANUAL |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 01045012 | 924,4 | 924,1 | 924,1 | 924,3 | 924,9 | 926,4 | 927,5 | - | 924,7 | 923,5 | 922,5 | 923,3 | 924,4 |
| 01145031 | 927,4 | 927,3 | 927,5 | 927,8 | 928,9 | 930,5 | 931,1 | 929,7 | 928,3 | 926,8 | 926,0 | 927,0 | 928,1 |
| 01145032 | 925,6 | 925,5 | 925,7 | 926,0 | 927,2 | 928,8 | 929,6 | 928,3 | 927,0 | 925,7 | 925,0 | 925,3 | 926,5 |
| 01046006 | 959,3 | 959,2 | 959,4 | 959,5 | 960,3 | 961,8 | 962,5 | 960,8 | 959,5 | 958,2 | 957,7 | 958,8 | 959,6 |
| 01046007 | 951,8 | 951,7 | 951,9 | 952,0 | 952,9 | 954,4 | 955,1 | 953,5 | 952,3 | 951,0 | 950,4 | 951,4 | 952,2 |
| 01146020 | 943,0 | 943,0 | 943,1 | 943,4 | 944,5 | 946,1 | 947,4 | 945,6 | 943,8 | 942,0 | 941,3 | 942,2 | 943,6 |
| 01146021 | 948,1 | 948,2 | 948,5 | 948,5 | 949,6 | 951,1 | 951,7 | 950,0 | 948,6 | 947,3 | 946,8 | 947,9 | 948,6 |
| 01245035 | 928,2 | 928,3 | 928,4 | 928,8 | 930,0 | 931,7 | 932,4 | 930,7 | 929,4 | 927,8 | 927,1 | 928,0 | 929,0 |
| 01345012 | 924,9 | 924,9 | 924,9 | 925,7 | 927,3 | 928,9 | 929,6 | 927,9 | 926,6 | 924,9 | 923,8 | 924,6 | 925,9 |
| 01445007 | 922,5 | 922,5 | 922,6 | 923,3 | 924,7 | 926,2 | 927,0 | 925,7 | 923,7 | 922,2 | 921,4 | 922,2 | 923,6 |
| 01445008 | 921,5 | 921,4 | 921,6 | 922,3 | 923,7 | 925,2 | 925,9 | 924,6 | 922,6 | 921,3 | 920,4 | 921,1 | 922,5 |
| 01445009 | 916,7 | 917,1 | 917,3 | 917,9 | 919,4 | 920,9 | 921,9 | 919,1 | 919,5 | 916,9 | 915,4 | 916,7 | 918,0 |

Os valores em negrito representam as estações que possuem valores característicos mais elevados de cada parâmetro monitorado

| TEMPERATURA (C) | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | ANUAL |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 00945018 | 25,4 | 24,9 | 25,3 | 25,3 | 25,4 | 24,8 | 24,7 | 26,4 | 28,4 | 28,9 | 27,1 | 26,2 | 26,1 |
| 01045010 | 26 | 25,2 | 25,7 | 25,8 | 26,1 | 25,7 | 25,7 | 27,7 | 29,4 | 29,8 | 28,2 | 26,7 | 26,9 |
| 01045011 | 25,2 | 24,6 | 24,9 | 25 | 25,2 | 24,5 | 24 | 26,1 | 27,9 | 28,5 | 27,1 | 25,8 | 25,8 |
| 01045012 | 22,7 | 21,1 | 22 | 22,3 | 22,7 | 20,6 | 19,6 | 22,7 | 21,9 | 25,5 | 25,1 | 23,6 | 22,4 |
| 01046004 | 23,5 | 23,2 | 23,6 | 24,1 | 24,5 | 23,1 | 22,8 | 24,7 | 26,2 | 26,2 | 24,6 | 23,1 | 24,2 |
| 01046005 | 25,1 | 25 | 25,3 | 25,6 | 25,3 | 23,7 | 22,8 | 24,9 | 26,7 | 26,9 | 26 | 25,3 | 25,2 |
| 01046006 | 25,4 | 25,4 | 25,5 | 26,3 | 27 | 26,5 | 26,3 | 28,1 | 29,1 | 28,9 | 26,9 | 26,1 | 26,7 |
| 01046007 | 25,1 | 25 | 25,1 | 25,7 | 26,4 | 25,5 | 25,1 | 27,3 | 28,2 | 28 | 26,4 | 25,7 | 26,1 |
| 01145030 | 23,9 | 23,6 | 23,9 | 23,3 | 22,5 | 21,3 | 19,7 | 21,7 | 24,1 | 25,8 | 25,2 | 24,2 | 23,2 |
| 01145031 | 23,9 | 23,6 | 23,9 | 24 | 23,7 | 22,2 | 21,1 | 23,5 | 25,2 | 26,3 | 24,8 | 24,1 | 23,9 |
| 01145032 | 24,7 | 24,1 | 24,7 | 25 | 25,3 | 24,5 | 24,6 | 26,6 | 27 | 27,4 | 25,7 | 25,5 | 25,4 |
| 01146018 | 23 | 22,6 | 23,1 | 23,4 | 22,8 | 21,8 | 20,9 | 22,5 | 24,4 | 25,8 | 24,3 | 23,5 | 23,3 |
| 01146019 | 23,8 | 23,9 | 24 | 24,5 | 24,7 | 23,7 | 23,3 | 25,2 | 26,8 | 26,8 | 24,8 | 24,3 | 24,8 |
| 01146020 | 24,5 | 24,3 | 24,4 | 24,7 | 24,8 | 24,2 | 24 | 25,5 | 27,5 | 27,7 | 25,7 | 24,9 | 25,2 |
| 01146021 | 24,8 | 24,7 | 24,5 | 25,5 | 25,7 | 24,9 | 24,4 | 26,6 | 27,7 | 27,8 | 26 | 25 | 25,6 |
| 01245034 | 23,9 | 23,6 | 23,8 | 23,7 | 22,7 | 20,6 | 20 | 21,8 | 23,8 | 25,4 | 24,9 | 23,8 | 23,1 |
| 01245035 | 24,3 | 23,8 | 24 | 24,2 | 23,4 | 21,9 | 21 | 23,6 | 25 | 26,3 | 25,1 | 24,5 | 24,1 |
| 01246015 | 23 | 22,9 | 23,3 | 23,9 | 23 | 21,1 | 20,7 | 22,5 | 24,4 | 25,6 | 24,4 | 23,4 | 23,2 |
| 01344030 | 24,7 | 24,3 | 24,3 | 23,5 | 22,3 | 20,7 | 19,6 | 23,4 | 25,7 | 26,8 | 25,1 | 24,7 | 23,6 |
| 01345009 | 24,3 | 23,5 | 23,8 | 23,6 | 22,4 | 20,5 | 20,1 | 22,1 | 24,3 | 25,6 | 24,3 | 23,8 | 23,3 |
| 01345010 | 24,5 | 24,7 | 25,2 | 24,9 | 23,5 | 22,2 | 21,4 | 23,2 | 25,1 | 26,5 | 24,9 | 25,7 | 24,2 |
| 01345011 | 24,6 | 24,6 | 24,6 | 24,4 | 23,5 | 21,8 | 20,7 | 23 | 24,3 | 26 | 24,7 | 24,5 | 23,8 |
| 01345012 | 24,1 | 23,9 | 24 | 23,7 | 22,7 | 21,3 | 20,4 | 22,9 | 24,6 | 25,8 | 24,5 | 24,1 | 23,7 |
| 01444022 | 24,3 | 24,3 | 26 | 23,8 | 22,5 | 20,9 | 18,2 | 21,2 | 23,3 | 26,3 | 25,6 | 25,2 | 23,5 |
| 01444023 | 23,8 | 23,7 | 23,8 | 23 | 21,3 | 19,4 | 18,6 | 20,3 | 22,7 | 25 | 24,2 | 23,9 | 22,3 |
| 01445007 | 24,3 | 23,8 | 24,1 | 23,6 | 22,6 | 21,4 | 20,4 | 22,3 | 25,3 | 26,2 | 24,5 | 24,3 | 23,6 |
| 01445008 | 24,4 | 23,8 | 24,1 | 23,7 | 22,5 | 21,4 | 20,2 | 21,9 | 24,7 | 25,8 | 24,1 | 23,9 | 23,4 |
| 01445009 | 23,1 | 23 | 23,3 | 22,6 | 21,1 | 19,5 | 18,8 | 21,1 | 22,4 | 25,1 | 23,3 | 23,3 | 22,3 |

Os valores em negrito representam as estações que possuem valores característicos mais elevados de cada parâmetro monitorado

| UMIDADE RELATIVA (%) | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | ANUAL |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 00945018 | 78,8 | 82,8 | 83,8 | 80,5 | 69,9 | 58,6 | 50 | 43 | 39,5 | 48,7 | 67,4 | 72,3 | 64,4 |
| 01045010 | 75,7 | 82,3 | 82,3 | 78,6 | 68 | 56,9 | 48,9 | 41,4 | 38 | 46,7 | 61,5 | 69,6 | 62,2 |
| 01045011 | 77,8 | 83 | 84 | 79,1 | 69,1 | 61,6 | 55,5 | 48,2 | 44,8 | 51,1 | 66,8 | 69,8 | 65,3 |
| 01045012 | 72,1 | 74 | 74,7 | 67,7 | 61,9 | 53,5 | 46,8 | 42,8 | 43,1 | 48,7 | 60,9 | 65 | 61,9 |
| 01046004 | 79,9 | 81,8 | 82,9 | 77,2 | 65,8 | 57 | 50,5 | 43,8 | 41,9 | 55,7 | 72,4 | 79,3 | 64,6 |
| 01046005 | 83,4 | 85 | 86,6 | 83,6 | 78,5 | 72,1 | 66,3 | 60,1 | 56,7 | 68,7 | 79,2 | 81,2 | 75,8 |
| 01046006 | 69,6 | 70,2 | 73,2 | 66,3 | 54,8 | 46,1 | 37,2 | 35,2 | 37,2 | 45,6 | 61,9 | 64,9 | 56,9 |
| 01046007 | 70,7 | 70,9 | 73,3 | 67,7 | 56,5 | 49,8 | 39,5 | 35,8 | 38,9 | 48,5 | 64 | 66,4 | 58,9 |
| 01145030 | 80 | 82,8 | 83,2 | 81,6 | 76,7 | 70,8 | 67,9 | 60,2 | 51,7 | 55,8 | 70,3 | 76,6 | 69,6 |
| 01145031 | 69,9 | 72,4 | 73,3 | 69,2 | 62,4 | 58,9 | 51 | 43,9 | 39,3 | 46,3 | 65,8 | 68,1 | 61,4 |
| 01145032 | 66,7 | 70,4 | 69,6 | 64,8 | 55,3 | 48,8 | 38,6 | 34,4 | 35,6 | 42,5 | 60,4 | 61,2 | 55,6 |
| 01146018 | 80,9 | 83,7 | 82,8 | 77,5 | 71,5 | 62,3 | 55,2 | 46,9 | 43,9 | 50,8 | 72,3 | 76,1 | 68,1 |
| 01146019 | 86,4 | 85 | 88,3 | 82,7 | 73,1 | 63 | 53,1 | 47,3 | 45,7 | 61,1 | 78,9 | 73,9 | 69 |
| 01146020 | 71,4 | 73,1 | 75,5 | 71 | 60,8 | 51,5 | 42,1 | 40,7 | 36,8 | 47 | 65 | 67,8 | 60,2 |
| 01146021 | 70,8 | 70,8 | 75,2 | 69,3 | 57,1 | 47,4 | 39,8 | 36,4 | 38,1 | 47,4 | 64,6 | 69,1 | 59,2 |
| 01244024 | 71,4 | 77,2 | 78,4 | 73,3 | 66,7 | 60,9 | 55 | 47,7 | 42,6 | 47,4 | 68,1 | 69,3 | 63,2 |
| 01245034 | 79,3 | 82 | 82,4 | 79,2 | 74,3 | 68,9 | 62,5 | 56,4 | 51,5 | 58,6 | 72,5 | 78 | 69,1 |
| 01245035 | 67,4 | 72,1 | 72,9 | 67,3 | 61 | 55,2 | 48,7 | 42,2 | 40,2 | 44,7 | 63,1 | 65,9 | 59,7 |
| 01246015 | 81,4 | 82,7 | 81,9 | 72,8 | 68,6 | 62,5 | 55,2 | 47,8 | 44,1 | 53,3 | 71,2 | 76,1 | 64,6 |
| 01344030 | 74,6 | 78,7 | 80,3 | 77,7 | 74,1 | 71,2 | 65,4 | 51,5 | 45,2 | 50,6 | 69,5 | 72,2 | 68,9 |
| 01345009 | 70,3 | 76,4 | 76,2 | 73,9 | 70,3 | 63,5 | 58,7 | 51,1 | 44,9 | 52,8 | 71,4 | 73,8 | 64,6 |
| 01345010 | 73,3 | 73,5 | 73,1 | 69 | 65,1 | 58,7 | 54,6 | 48,2 | 45,3 | 51,6 | 68,3 | 67,6 | 61,4 |
| 01345011 | 71,3 | 73,3 | 74,4 | 70,8 | 67,3 | 60,7 | 55,6 | 49 | 46,7 | 51,7 | 69,7 | 71 | 63,7 |
| 01345012 | 67,6 | 69,9 | 71,8 | 68,2 | 62,7 | 57,1 | 50,5 | 44 | 40,5 | 45,7 | 66,1 | 68,5 | 60,3 |
| 01444022 | 78,2 | 76,1 | 69 | 71,3 | 67,6 | 66 | 56,5 | 50,3 | 47,6 | 44,9 | 65,2 | 69,7 | 65,4 |
| 01444023 | 78,5 | 79,6 | 79,8 | 79,4 | 77 | 74,1 | 67,8 | 61,2 | 56,2 | 59,4 | 74,9 | 77,6 | 74,3 |
| 01445007 | 63,3 | 68 | 68,5 | 66,9 | 62,1 | 56,6 | 51,6 | 44,3 | 37,9 | 43,8 | 63,8 | 64,3 | 58,3 |
| 01445008 | 63,3 | 68,4 | 68,9 | 66,7 | 62,9 | 57,1 | 53,5 | 46,9 | 40,6 | 46,5 | 66,2 | 67,1 | 59,7 |

| UMIDADE RELATIVA (%) | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | ANUAL |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 01445009 | 70,7 | 69,9 | 70,9 | 66,8 | 65 | 63,3 | 56 | 49,2 | 44 | 46,3 | 70,2 | 68,3 | 63,4 |

Os valores em negrito representam as estações que possuem valores característicos mais elevados de cada parâmetro monitorado

| RADIAÇÃO SOLAR (W/M ²) | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | ANUAL |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 01045012 | 246,4 | 228,2 | 219,5 | 215,0 | 213,1 | 202,7 | 235,1 | 266,8 | 263,2 | 268,1 | 235,3 | 242,2 | 233,1 |
| 01145031 | 233,4 | 227,6 | 207,2 | 207,1 | 209,6 | 203,6 | 228,1 | 248,6 | 264,4 | 255,3 | 226,3 | 224,3 | 226,2 |
| 01145032 | 234,2 | 235,0 | 217,1 | 209,0 | 209,7 | 213,3 | 242,3 | 253,6 | 264,6 | 254,5 | 224,5 | 235,2 | 231,3 |
| 01046006 | 214,4 | 216,2 | 204,7 | 206,3 | 209,1 | 210,3 | 238,6 | 248,0 | 252,2 | 248,8 | 221,6 | 229,7 | 223,2 |
| 01046007 | 212,6 | 212,8 | 206,6 | 214,7 | 225,5 | 205,3 | 224,1 | 256,1 | 261,5 | 254,3 | 227,5 | 227,3 | 226,6 |
| 01146020 | 228,3 | 210,4 | 200,6 | 205,8 | 216,1 | 221,7 | 250,5 | 252,4 | 251,9 | 248,3 | 221,7 | 222,0 | 225,3 |
| 01146021 | 211,4 | 208,4 | 186,4 | 207,1 | 204,4 | 204,1 | 227,9 | 236,2 | 246,1 | 239,6 | 212,0 | 204,2 | 214,3 |
| 01245035 | 252,0 | 232,4 | 230,8 | 217,2 | 215,3 | 213,5 | 232,0 | 249,6 | 262,9 | 261,0 | 227,9 | 242,6 | 236,0 |
| 01345012 | 256,0 | 247,5 | 246,9 | 226,9 | 209,7 | 206,9 | 220,5 | 239,5 | 264,8 | 260,7 | 231,8 | 242,0 | 239,0 |
| 01445007 | 258,1 | 245,3 | 241,4 | 225,8 | 211,6 | 204,0 | 222,9 | 245,6 | 286,8 | 263,3 | 229,5 | 247,5 | 239,5 |
| 01445008 | 263,6 | 244,9 | 235,9 | 205,8 | 194,8 | 184,7 | 198,6 | 218,5 | 247,5 | 253,6 | 229,5 | 248,1 | 227,4 |
| 01445009 | 231,6 | 240,3 | 224,4 | 216,0 | 205,6 | 155,0 | 210,0 | 233,6 | 262,5 | 272,1 | 200,2 | 235,4 | 221,0 |

Os valores em negrito representam as estações que possuem valores característicos mais elevados de cada parâmetro monitorado

| VELOCIDADE DO VENTO (M/S) | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | ANUAL |
|------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 01045012 | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 2,4 | 2,9 | 3,1 | 3,4 | 3,4 | 2,8 | 3,4 | 3,0 | 2,9 | 2,7 |
| 01145031 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 1,9 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,8 | 1,7 |
| 01145032 | 1,7 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,9 | 2,4 | 2,6 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 1,9 | 2,1 | 1,9 |
| 01046006 | 1,6 | 1,6 | 1,4 | 1,6 | 2,1 | 2,7 | 2,9 | 2,5 | 2,5 | 2,3 | 1,8 | 1,8 | 2,0 |
| 01046007 | 1,2 | 1,3 | 1,2 | 1,3 | 1,7 | 1,9 | 2,1 | 2,2 | 2,0 | 1,7 | 1,3 | 1,3 | 1,5 |
| 01146020 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 1,3 | 1,4 | 1,3 | 1,6 | 1,6 | 1,2 | 1,1 | 1,1 |
| 01146021 | 1,5 | 1,5 | 1,2 | 1,3 | 1,6 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,1 | 1,7 | 1,5 | 1,7 |
| 01245035 | 1,9 | 1,7 | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 2,7 | 3,0 | 2,6 | 2,8 | 2,8 | 2,6 | 2,3 | 2,3 |
| 01345012 | 1,3 | 1,2 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 1,1 | 1,4 | 1,5 | 2,0 | 2,3 | 1,9 | 1,4 | 1,4 |
| 01445007 | 1,8 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 2,1 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,0 | 1,9 | 1,8 |
| 01445008 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,3 |
| 01445009 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,5 | 1,8 | 1,9 | 1,6 | 1,5 | 1,5 |

Os valores em negrito representam as estações que possuem valores característicos mais elevados de cada parâmetro monitorado

| Direção do Vento | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Anual |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| 1045012 | N | N | N | N | S | S | S | SE | N | N | N | N | N |
| 1145031 | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE |
| 1145032 | SE | SE | S | S | SE | SE | S | SE | SE | SE | SE | SE | SE |
| 1046006 | NE | NE | NE | NE | SE | SE | SE | SE | SE | NE | NE | NE | NE/SE |
| 1046007 | E | E | E | E | E | E | SE | E | E | E | E | E | E |
| 1146020 | E | NE | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 1146021 | NE | NE | NE | NE | NE | E | NE | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| 1245035 | SE | SE | SO | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE |
| 1345012 | SO | E | SO | SO | S | S | S | S | S | SE | S | NE | S |
| 1445007 | E | E | E | E | E | E | E | E | NE | NE | NE | NE | E |
| 1445008 | SO | S | O | SO | O | SO | SO | SO | SO | SO | S | S | SO |
| 1445009 | NO | NO | NO | NO | NO | N | NO | S | S | NO | NO | N | NO |

ANEXO IX – DADOS DE MÉDIA PRECIPITAÇÃO MENSAL E ANUAL

Dados de precipitação média mensal (mm) das estações convencionais da rede Hidrometeorológica do Aquífero Urucuia – RHUrucuia, para o período de 2014 a 2020.

| CÓDIGO | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | ANUAL |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 00945018 | 219 | 152 | 136 | 81 | 6 | 0 | 0 | 4 | 7 | 52 | 113 | 104 | 850 |
| 01045010 | 203 | 185 | 202 | 107 | 8 | 0 | 3 | 0 | 10 | 32 | 76 | 115 | 919 |
| 01045011 | 212 | 214 | 130 | 101 | 13 | 0 | 0 | 4 | 10 | 69 | 138 | 170 | 947 |
| 01045012 | 176 | 152 | 236 | 89 | 37 | 0 | 0 | 2 | 13 | 58 | 133 | 145 | 991 |
| 01046004 | 168 | 222 | 231 | 155 | 12 | 0 | 0 | 8 | 10 | 78 | 203 | 199 | 1.085 |
| 01046005 | 284 | 197 | 177 | 168 | 16 | 3 | 0 | 2 | 3 | 93 | 193 | 210 | 1.268 |
| 01046006 | 265 | 254 | 217 | 176 | 41 | 4 | 0 | 3 | 20 | 46 | 206 | 205 | 1.387 |
| 01046007 | 240 | 211 | 230 | 123 | 12 | 5 | 0 | 1 | 6 | 69 | 172 | 170 | 1.197 |
| 01145030 | 174 | 159 | 221 | 78 | 3 | 0 | 0 | 1 | 7 | 30 | 142 | 167 | 665 |
| 01145031 | 193 | 193 | 178 | 74 | 30 | 0 | 1 | 0 | 3 | 65 | 146 | 125 | 973 |
| 01145032 | 176 | 177 | 191 | 80 | 14 | 0 | 0 | 0 | 7 | 68 | 180 | 192 | 970 |
| 01146018 | 224 | 191 | 210 | 148 | 28 | 3 | 0 | 3 | 8 | 58 | 244 | 177 | 1.115 |
| 01146019 | 205 | 169 | 213 | 151 | 36 | 9 | 0 | 0 | 12 | 90 | 159 | 181 | 1.069 |
| 01146020 | 232 | 224 | 241 | 197 | 18 | 6 | 0 | 1 | 14 | 100 | 211 | 212 | 1.341 |
| 01146021 | 239 | 153 | 261 | 188 | 29 | 1 | 0 | 5 | 25 | 99 | 213 | 210 | 1.344 |
| 01244024 | 159 | 139 | 200 | 100 | 11 | 0 | 0 | 0 | 18 | 41 | 180 | 90 | 952 |
| 01245034 | 147 | 160 | 220 | 129 | 35 | 5 | 0 | 0 | 11 | 59 | 179 | 165 | 1.061 |
| 01245035 | 136 | 173 | 163 | 149 | 14 | 0 | 0 | 0 | 33 | 41 | 162 | 143 | 1.013 |
| 01246015 | 159 | 167 | 210 | 140 | 32 | 2 | 0 | 0 | 8 | 54 | 186 | 165 | 993 |
| 01344030 | 147 | 123 | 152 | 79 | 18 | 3 | 0 | 1 | 8 | 54 | 211 | 112 | 946 |
| 01345009 | 139 | 189 | 166 | 82 | 19 | 1 | 0 | 0 | 7 | 53 | 217 | 110 | 757 |
| 01345010 | 187 | 141 | 198 | 96 | 16 | 0 | 0 | 1 | 4 | 32 | 204 | 111 | 1.017 |
| 01345011 | 174 | 193 | 148 | 118 | 19 | 0 | 0 | 1 | 7 | 47 | 184 | 104 | 892 |
| 01345012 | 144 | 145 | 198 | 60 | 28 | 0 | 0 | 1 | 11 | 86 | 163 | 139 | 906 |
| 01444022 | 178 | 111 | 107 | 22 | 4 | 0 | 0 | 0 | 8 | 45 | 140 | 175 | 671 |
| 01444023 | 173 | 180 | 152 | 67 | 11 | 1 | 0 | 1 | 11 | 38 | 185 | 162 | 848 |
| 01445007 | 132 | 174 | 186 | 101 | 45 | 1 | 0 | 2 | 8 | 69 | 193 | 117 | 968 |
| 01445008 | 136 | 169 | 99 | 73 | 2 | 2 | 0 | 0 | 3 | 65 | 215 | 188 | 889 |
| 01445009 | 175 | 149 | 203 | 120 | 34 | 1 | 0 | 0 | 6 | 54 | 208 | 134 | 1.007 |

ANEXO X – DADOS DE VAZÃO MÉDIA MENSAL E ANUAL

Dados de vazão média mensal (m³/s) das estações convencionais da rede Hidrometeorológica do Aquífero Urucuia – RHUrucuia, para o período de 2014 a 2020.

| CÓDIGO | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | ANUAL |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 22560000 | 26,1 | 27,5 | 31,5 | 27,5 | 20,9 | 17,0 | 14,4 | 13,5 | 12,7 | 13,3 | 17,3 | 19,9 | 20,1 |
| 22662000 | 180 | 177 | 186 | 165 | 126 | 105 | 97,8 | 92,0 | 87,4 | 92,6 | 115 | 127 | 129 |
| 22665000 | 23,0 | 26,3 | 24,3 | 22,8 | 16,5 | 15,5 | 14,9 | 14,4 | 13,9 | 14,9 | 17,6 | 20,5 | 18,5 |
| 34001000 | 13,2 | 14,3 | 15,6 | 12,8 | 10,3 | 9,6 | 9,2 | 9,0 | 9,0 | 9,7 | 10,9 | 12,0 | 11,3 |
| 34228000 | 3,6 | 3,7 | 3,5 | 3,1 | 1,5 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 1,3 | 1,7 | 2,0 | 2,0 |
| 45120000 | 36,4 | 41,3 | 39,8 | 36,5 | 30,9 | 25,2 | 24,3 | 23,2 | 21,4 | 22,0 | 31,2 | 38,6 | 30,9 |
| 45125000 | 37,7 | 41,0 | 39,6 | 37,0 | 31,3 | 27,8 | 26,7 | 25,7 | 24,4 | 24,7 | 33,9 | 39,1 | 32,4 |
| 45155500 | 36,5 | 37,7 | 39,5 | 36,6 | 32,4 | 29,7 | 28,0 | 27,5 | 26,8 | 27,5 | 35,3 | 35,6 | 33,1 |
| 45765000 | 37,9 | 38,2 | 35,4 | 33,5 | 32,5 | 29,9 | 29,4 | 28,7 | 27,9 | 28,3 | 31,2 | 34,3 | 32,0 |
| 46410000 | 16,1 | 20,0 | 19,0 | 20,1 | 13,2 | 11,5 | 11,8 | 11,3 | 10,8 | 11,4 | 14,8 | 17,4 | 14,8 |
| 46438000 | 24,0 | 26,7 | 25,9 | 25,6 | 22,4 | 19,3 | 18,6 | 18,6 | 18,3 | 18,8 | 23,0 | 24,9 | 22,0 |
| 46439000 | 0,2 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 0,2 |
| 46470000 | 1,0 | 1,1 | 0,9 | 0,7 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,5 |
| 46555800 | 7,4 | 7,3 | 7,8 | 6,7 | 5,5 | 5,0 | 5,0 | 4,9 | 4,7 | 4,9 | 6,0 | 7,2 | 6,0 |
| 46572000 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,2 |
| 46780800 | 15,2 | 15,4 | 15,1 | 14,8 | 13,5 | 12,5 | 12,3 | 12,1 | 12,0 | 12,2 | 14,0 | 14,4 | 13,6 |

ANEXO XI – DADOS DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA

Curvas de Permanência para séries de vazões das estações fluviométricas da rede Hidrometeorológica do Aquífero Urucuia – RHUrucuia (2014 a 2020).

| SÉRIE | 22560000 | 22662000 | 22665000 | 34001000 | 34228000 | 45120000 | 45125000 | 45155500 |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 5% | 41 | 225 | 32,8 | 18,5 | 5,89 | 54,5 | 53,3 | 48,6 |
| 10% | 32,9 | 184 | 25,3 | 14,4 | 3,14 | 45,1 | 44,1 | 41,3 |
| 15% | 28,5 | 165 | 22,1 | 13,2 | 2,4 | 41,4 | 40,7 | 39 |
| 20% | 25,3 | 150 | 20,2 | 12,4 | 2,02 | 37,1 | 37,7 | 37,3 |
| 25% | 23 | 141 | 19 | 11,7 | 1,76 | 34,1 | 35,3 | 35,7 |
| 30% | 21,5 | 134 | 18 | 11,2 | 1,6 | 32,3 | 33,8 | 34,7 |
| 35% | 20,4 | 127 | 17,2 | 10,9 | 1,45 | 30,2 | 31,9 | 33,6 |
| 40% | 19,4 | 120 | 16,8 | 10,6 | 1,34 | 28,5 | 30,5 | 32,6 |
| 45% | 18,5 | 115 | 16,2 | 10,2 | 1,27 | 27,5 | 29,3 | 31,6 |
| 50% | 17,4 | 111 | 15,8 | 9,96 | 1,2 | 26,9 | 28,5 | 30,5 |
| 55% | 16,3 | 107 | 15,5 | 9,78 | 1,13 | 25,9 | 28,1 | 30 |
| 60% | 15,5 | 104 | 15,3 | 9,61 | 1,1 | 25,3 | 27,3 | 29,5 |
| 65% | 14,9 | 101 | 14,9 | 9,49 | 1,07 | 24,7 | 26,9 | 29 |
| 70% | 14,4 | 97,7 | 14,8 | 9,37 | 1,04 | 23,5 | 26,4 | 29 |
| 75% | 13,9 | 93,8 | 14,6 | 9,26 | 0,977 | 22,9 | 25,8 | 28,2 |
| 80% | 13,5 | 90,6 | 14,2 | 9,04 | 0,977 | 22,3 | 25,4 | 28 |
| 85% | 12,9 | 87,3 | 14,2 | 8,81 | 0,89 | 22,3 | 24,7 | 27 |
| 90% | 12,6 | 84,6 | 13,9 | 8,6 | 0,807 | 21,2 | 24,3 | 26,5 |
| 95% | 12 | 80,1 | 13,4 | 8,38 | 0,704 | 20,1 | 23,6 | 25,5 |
| 100% | 10,5 | 70,3 | 12,5 | 7,37 | 0,44 | 18 | 21,9 | 22,5 |

ANEXO XI – DADOS DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA – Continuação.

Curvas de Permanência para séries de vazões das estações fluviométricas da rede Hidrometeorológica do Aquífero Urucuia – RHUrucuia (2014 a 2020).

| Série | 45765000 | 46410000 | 46438000 | 46439000 | 46470000 | 46555800 | 46572000 | 46780800 |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 5% | 43,3 | 25 | 30,7 | 0,74 | 1,6 | 9,72 | 2 | 17 |
| 10% | 38,7 | 23,3 | 28,8 | 0,386 | 1,02 | 7,84 | 1,49 | 16,3 |
| 15% | 36,4 | 22 | 27,4 | 0,267 | 0,792 | 7,02 | 1,37 | 15,7 |
| 20% | 34,9 | 20,4 | 25,7 | 0,179 | 0,652 | 6,51 | 1,28 | 15,1 |
| 25% | 33,6 | 18,6 | 24,3 | 0,114 | 0,593 | 6,18 | 1,25 | 14,7 |
| 30% | 32,6 | 16,6 | 23,3 | 0,063 | 0,507 | 5,97 | 1,21 | 14,3 |
| 35% | 31,7 | 15,2 | 22,4 | 0,03 | 0,464 | 5,76 | 1,21 | 13,8 |
| 40% | 31,4 | 14,3 | 21,6 | 0 | 0,386 | 5,55 | 1,21 | 13,6 |
| 45% | 30,6 | 13,2 | 21,1 | 0 | 0,327 | 5,35 | 1,13 | 13,1 |
| 50% | 30,2 | 12,4 | 20,6 | 0 | 0,316 | 5,35 | 1,1 | 12,9 |
| 55% | 29,9 | 11,8 | 20,1 | 0 | 0,285 | 5,15 | 1,06 | 12,7 |
| 60% | 29,6 | 11,5 | 19,8 | 0 | 0,255 | 5,15 | 1,06 | 12,5 |
| 65% | 29,3 | 11,3 | 19,1 | 0 | 0,228 | 5,01 | 1,06 | 12,4 |
| 70% | 29 | 11 | 18,8 | 0 | 0,203 | 4,96 | 1,02 | 12,3 |
| 75% | 28,7 | 10,9 | 18,6 | 0 | 0,203 | 4,87 | 0,989 | 12,1 |
| 80% | 28,4 | 10,6 | 18,1 | 0 | 0,203 | 4,77 | 0,922 | 12 |
| 85% | 28,1 | 10,4 | 17,9 | 0 | 0,18 | 4,72 | 0,922 | 11,8 |
| 90% | 27,5 | 10,1 | 17,5 | 0 | 0,077 | 4,58 | 0,922 | 11,6 |
| 95% | 27 | 9,69 | 17,1 | 0 | 0,036 | 4,4 | 0,889 | 11,5 |
| 100% | 25,6 | 7,68 | 15,3 | 0 | 0 | 4,05 | 0,735 | 11,1 |

ANEXO XII – GRÁFICOS DE PRECIPITAÇÃO, EVT REAL E VAZÃO

Nas figuras abaixo são apresentados os gráficos de precipitação, evapotranspiração real, vazão e vazão de base das 16 estações fluviométricas da rede Hidrometeorológica do Aquífero Urucua – RHUrucua, bem como a localização de suas respectivas áreas de contribuição.

Figura D6 – Precipitação (mm), Evapotranspiração Real (mm), Vazão e Vazão de base (m³/s) na estação fluviométrica 22560000 – Chácara Alecrim.

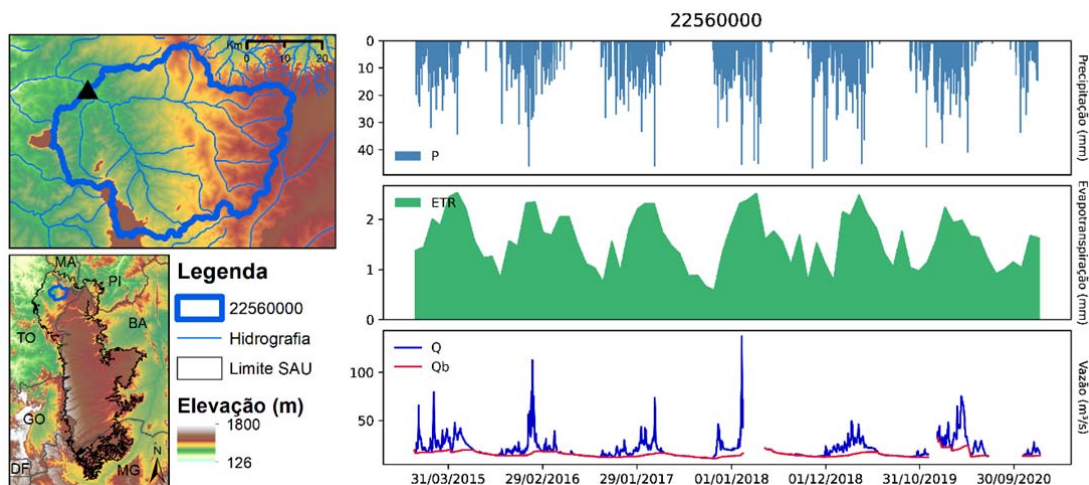


Figura D2 – Precipitação (mm), Evapotranspiração Real (mm), Vazão e Vazão de base (m³/s) na estação fluviométrica 22662000 – Barra do Caracol.

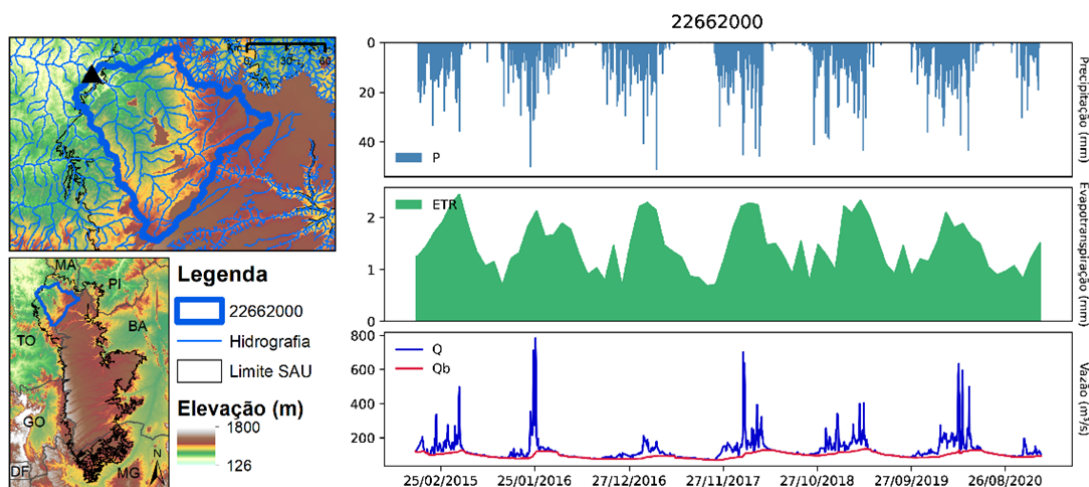


Figura D3 – Precipitação (mm), Evapotranspiração Real (mm), Vazão e Vazão de base (m³/s) na estação fluviométrica 22665000 – Chácara Rio Preto.

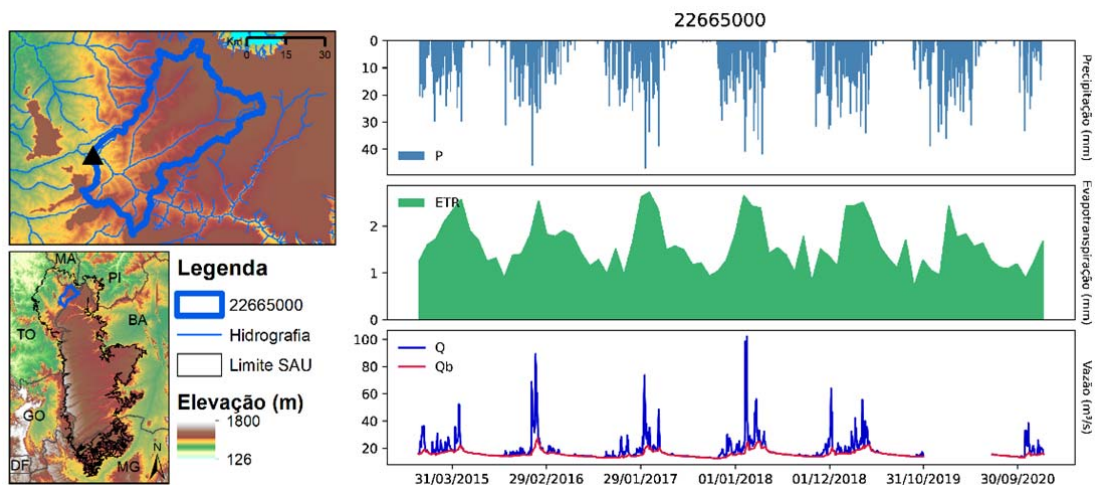


Figura D4 – Precipitação (mm), Evapotranspiração Real (mm), Vazão e Vazão de base (m³/s) na estação fluviométrica 34001000 – Porto Alegre.

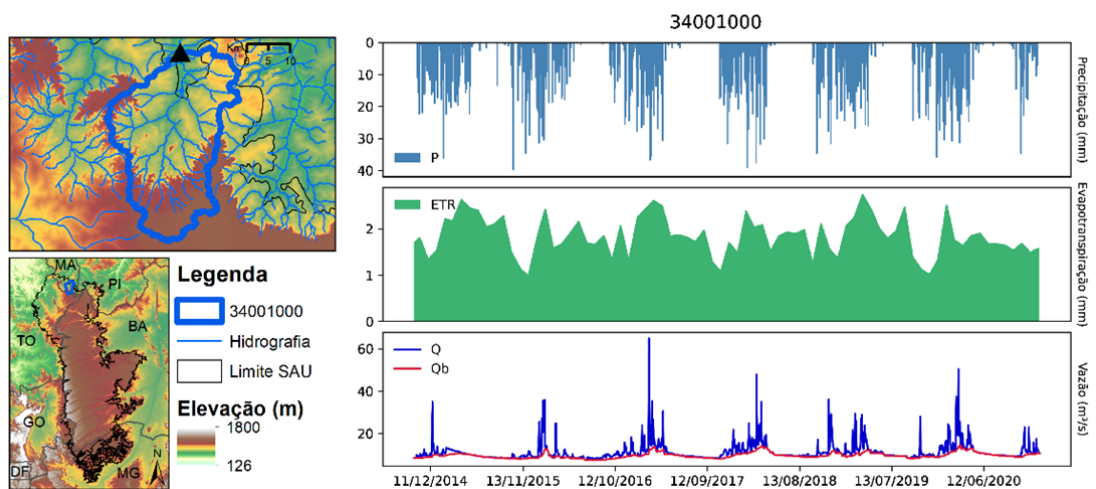


Figura D5 – Precipitação (mm), Evapotranspiração Real (mm), Vazão e Vazão de base (m^3/s) na estação fluviométrica 34228000 - Barrocoão.

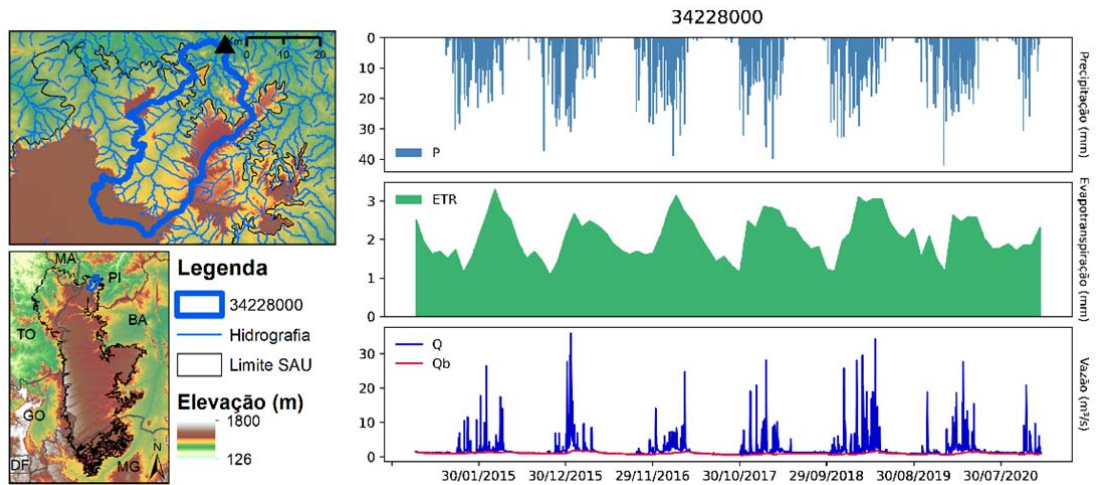


Figura D6 – Precipitação (mm), Evapotranspiração Real (mm), Vazão e Vazão de base (m^3/s) na estação fluviométrica 45120000 – Sumidor das Gaitas.

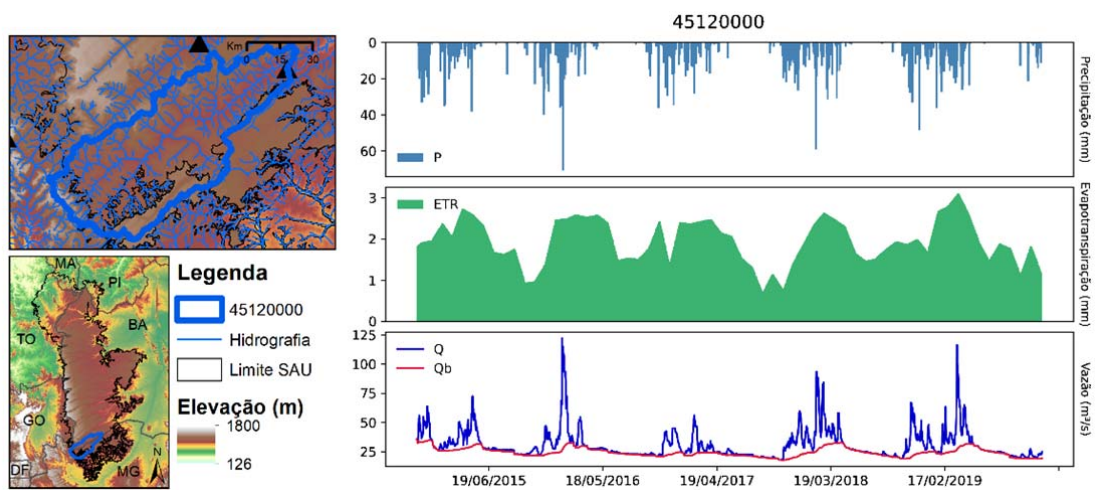


Figura D7 – Precipitação (mm), Evapotranspiração Real (mm), Vazão e Vazão de base (m³/s) na estação fluviométrica 45125000 – Vereda Grande.

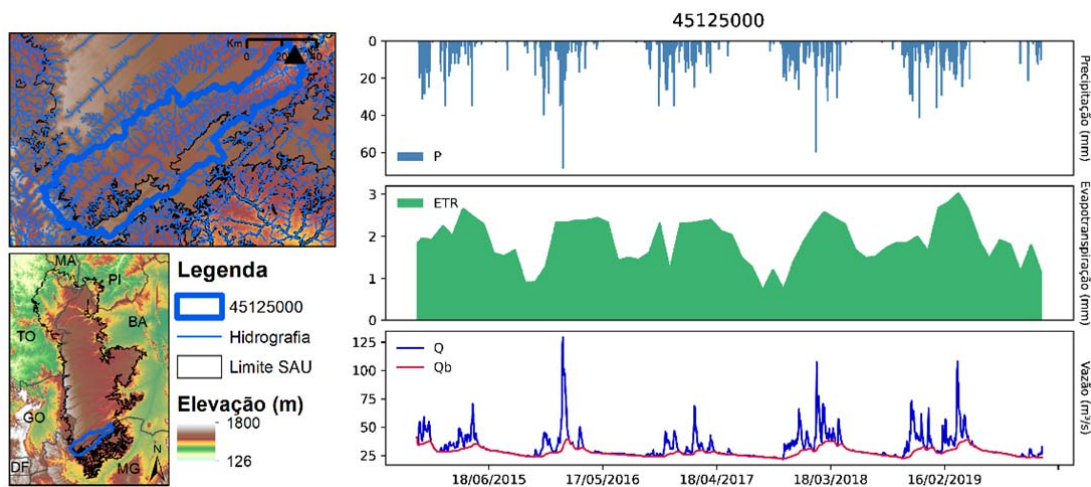


Figura D8 – Precipitação (mm), Evapotranspiração Real (mm), Vazão e Vazão de base (m³/s) na estação fluviométrica 45155500 – Santa Luzia.

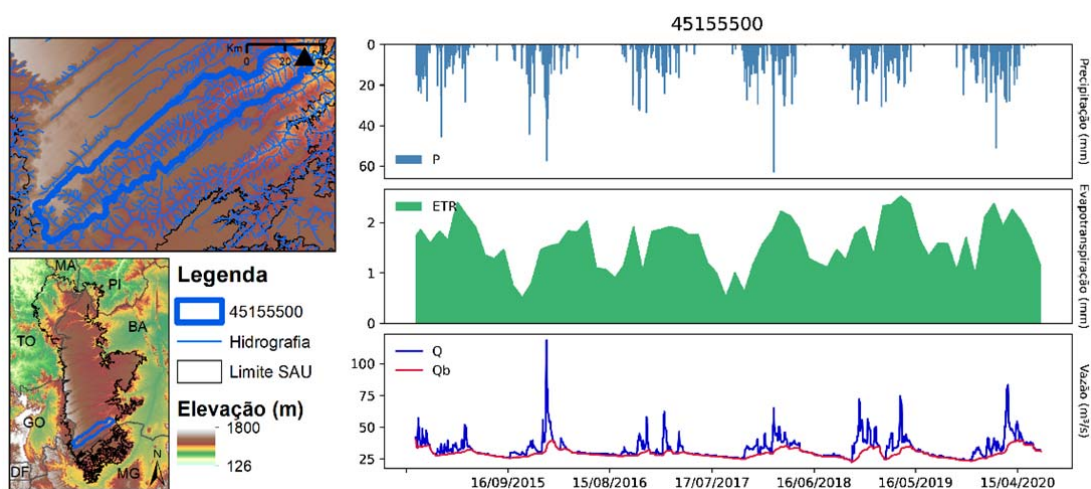


Figura D9 – Precipitação (mm), Evapotranspiração Real (mm), Vazão e Vazão de base (m³/s) na estação fluviométrica 45765000 – Fazenda Mombim.

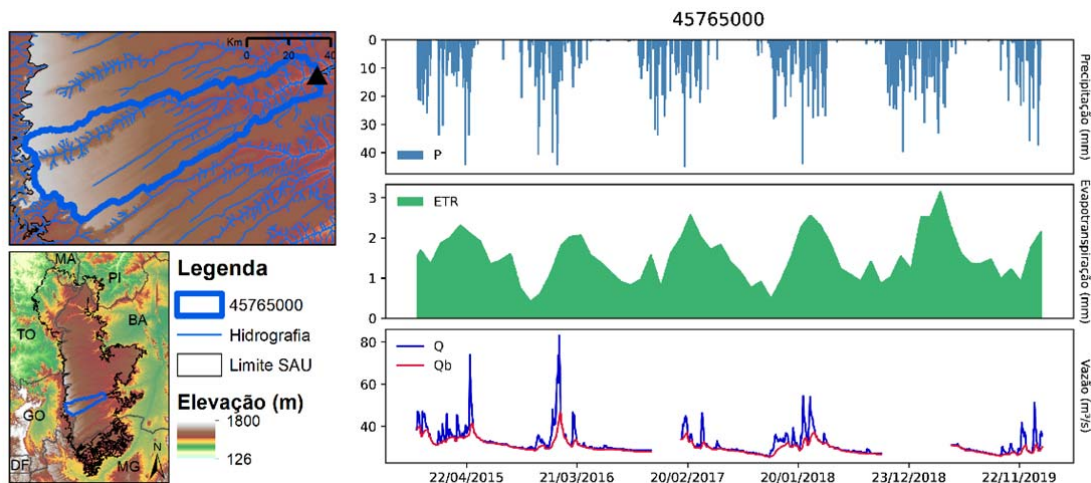


Figura D10 – Precipitação (mm), Evapotranspiração Real (mm), Vazão e Vazão de base (m³/s) na estação fluviométrica 46410000 - Batalha.

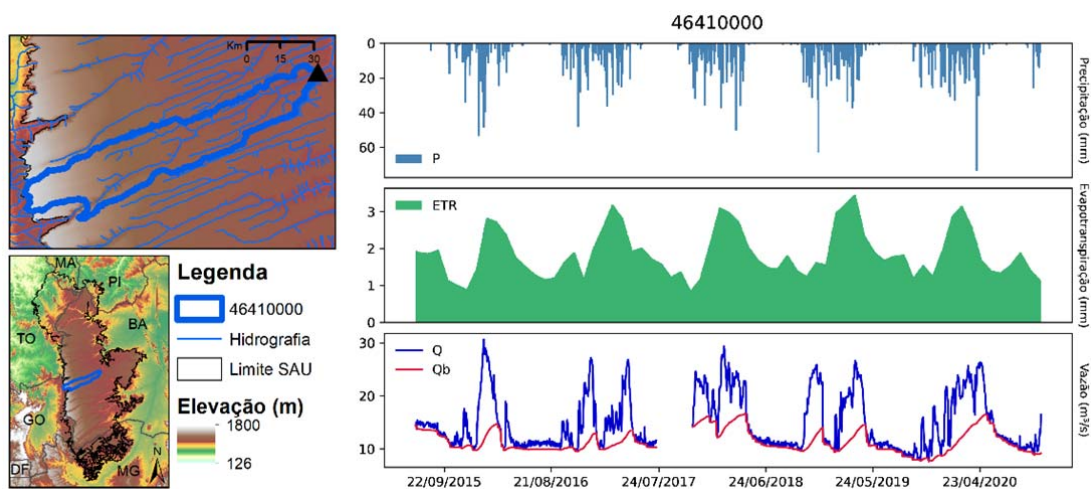


Figura D11 – Precipitação (mm), Evapotranspiração Real (mm), Vazão e Vazão de base (m^3/s) na estação fluviométrica 46438000 - Retiro.

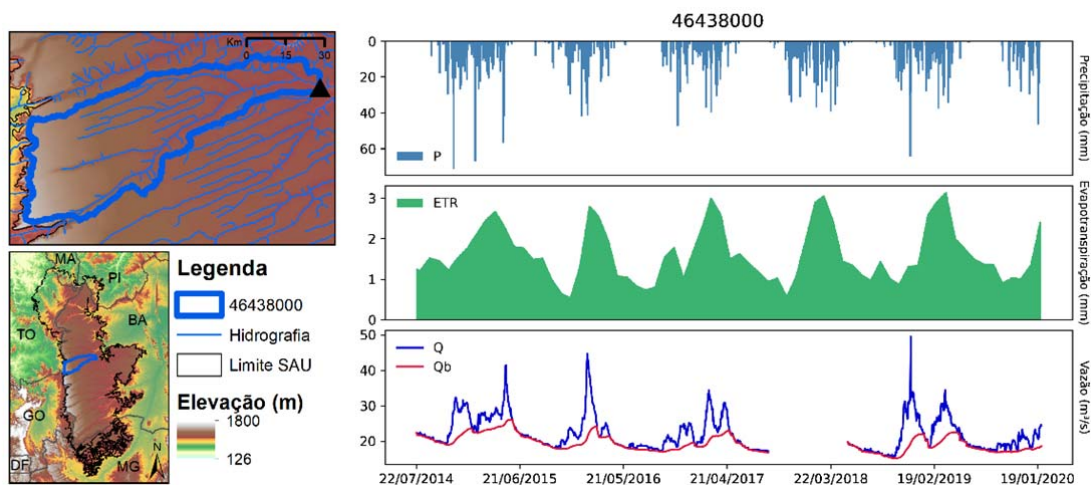


Figura D12 – Precipitação (mm), Evapotranspiração Real (mm), Vazão e Vazão de base (m^3/s) na estação fluviométrica 46439000 – Ribeirão dos Bois.

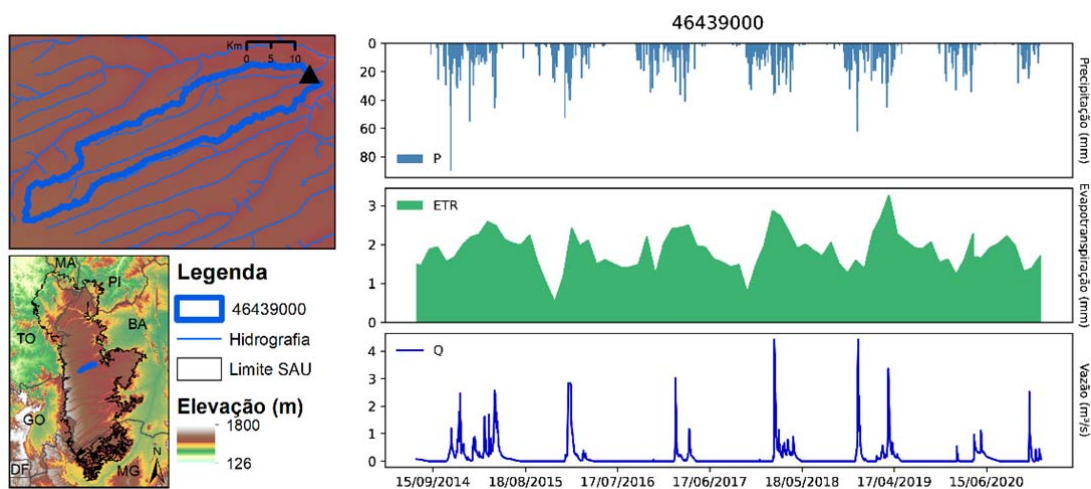


Figura D13 – Precipitação (mm), Evapotranspiração Real (mm), Vazão e Vazão de base (m^3/s) na estação fluviométrica 46470000 - Canabravão.

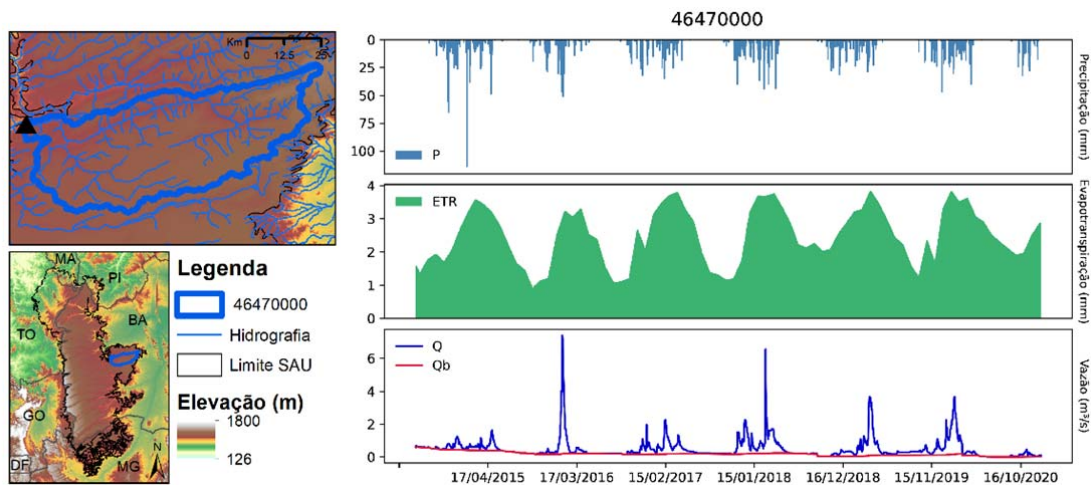


Figura D14 – Precipitação (mm), Evapotranspiração Real (mm), Vazão e Vazão de base (m^3/s) na estação fluviométrica 46555800 – Nova Vista.

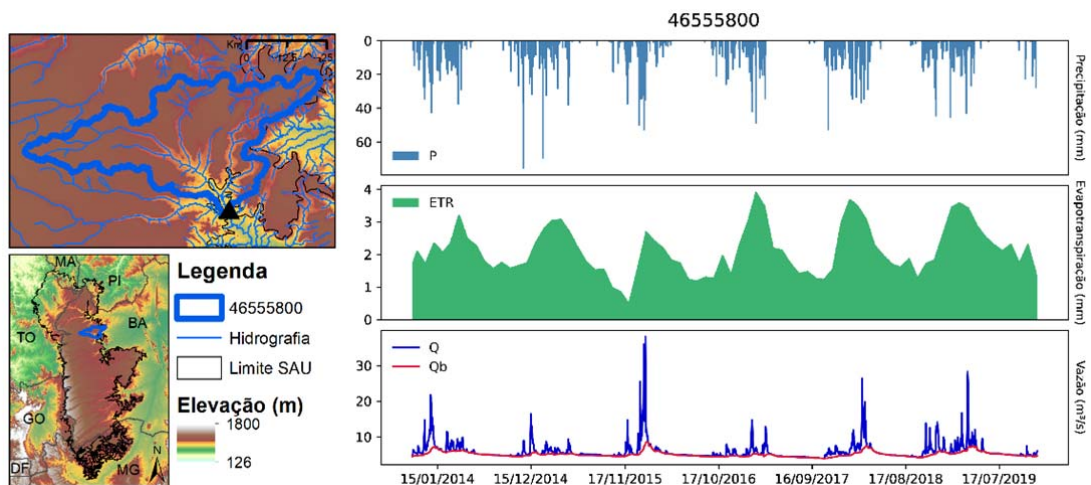


Figura D15 – Precipitação (mm), Evapotranspiração Real (mm), Vazão e Vazão de base (m^3/s) na estação fluviométrica 46572000 – Fazenda Santa Maria.

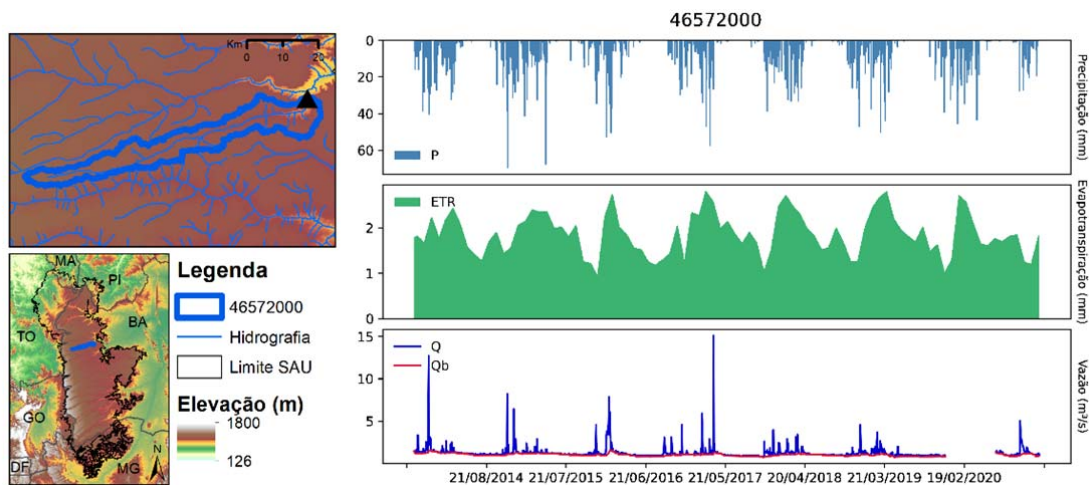
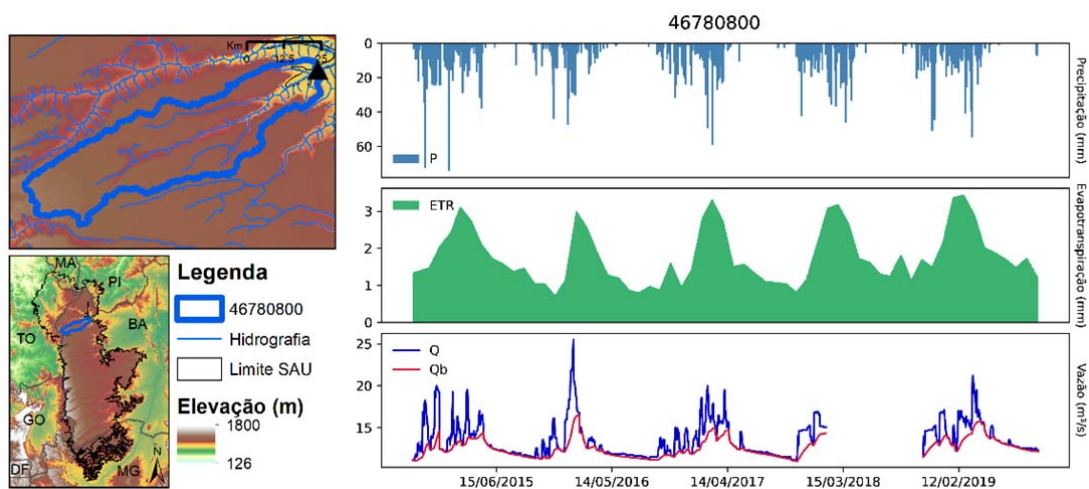


Figura D16 – Precipitação (mm), Evapotranspiração Real (mm), Vazão e Vazão de base (m^3/s) na estação fluviométrica 46780800 – Ponte Riachão.



APÊNDICES

APÊNDICE A - Gráficos de acompanhamento da evolução dos níveis de água subterrânea no aquífero Urucuia, elaborados pelo Projeto RIMAS, relatório de atividades 2021. (Disponibilizado em arquivo digital separado)

APÊNDICE B - Relatórios técnicos de construção e as perfilagens óticas dos três poços estratigráficos perfurados pela CPRM. (Disponibilizado em arquivo digital separado)