

Universidade de Brasília
Faculdade UnB Planaltina - FUP
Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em
Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua

DÉRCIO ALVES PEREIRA

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO DE JANEIRO NO OESTE DA BAHIA

Planaltina - DF
2023

Universidade de Brasília
Faculdade UnB Planaltina - FUP
Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em
Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua

DÉRCIO ALVES PEREIRA

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO DE JANEIRO NO OESTE DA BAHIA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Planaltina – UnB como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Dr. Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento
Orientador

Dr.^a Márcia Tereza Pantoja Gaspar
Co-orientadora

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

AP436a Alves Pereira, Dércio
AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DE JANEIRO NO OESTE DA BAHIA /
Dércio Alves Pereira; orientador Carlos Tadeu Carvalho do
Nascimento ; co-orientador Márcia Tereza Pantoja Gaspar .
- Brasília, 2023.
180 p.

Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em
Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) -- Universidade de
Brasília, 2023.

1. . I. Carvalho do Nascimento , Carlos Tadeu , orient.
II. Pantoja Gaspar , Márcia Tereza , co-orient. III. Título.

DÉRCIO ALVES PEREIRA

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO DE JANEIRO NO OESTE DA BAHIA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos em Rede Nacional (ProfÁgua) da Universidade de Brasília (UnB) como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento (UnB)

Orientador

Dra. Márcia Tereza Pantoja Gaspar (ANA)

Coorientadora

Prof. Dr. Rômulo José da Costa Ribeiro (UnB)

Examinador Interno

Dr. Fabricio Bueno da Fonseca Cardoso (ANA)

Examinador Externo

Prof. Dr. Alexandre Nascimento de Almeida (UnB)

Suplente

DEDICATÓRIA

Primeiramente, dedico a Deus por ter me permitido chegar até aqui, a minha família, especialmente a minha mãe (*in memória*).

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus por estar sempre me acompanhando e me conceder saúde e força para continuar sempre em frente.

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento e minha co-orientadora a Dr.^a Márcia Tereza Pantoja Gaspar pela amizade, paciência e oportunidade de compartilhar seus conhecimentos.

Aos meus pais João e Maria (*in memória*), aos meus irmãos, minha namorada e toda a minha família.

À UnB Planaltina e ao programa ProfÁgua, ANA e demais entidades envolvidas no processo, agradeço a oportunidade de chegar até aqui.

Também agradeço a todos os meus colegas da turma do curso, pelo compartilhamento dos conhecimentos, estímulo e motivação sempre prestados.

Aos colegas do INEMA-Barreiras, como também aos colegas do INEMA-Salvador à técnica Patrícia do geoprocessamento do INEMA.

Enfim, a todos meus amigos que me auxiliam e alegram, tornando a jornada mais leve e prazerosa.

A todos os professores da UnB Planaltina e os técnicos e professores da ANA que fazem parte do programa ProfÁgua que nos acompanharam.

A todos meu muito obrigado.

*“Se eu enxerguei mais longe, foi por estar
de pé sobre ombros de gigantes”.*

Sir Isaac Newton

RESUMO

A região Oeste da Bahia se destaca como uma das principais fronteiras agrícolas do país, na prática de uma agricultura de alta tecnologia para produção de grãos, com destaque para a soja e o milho. Esse cenário é influenciado pela disponibilidade dos recursos hídricos na região, proporcionado pelo Sistema Aquífero Urucuia, de onde se explora vazões da ordem de 500 m³/hora, para suprir a irrigação. Nesse contexto a Bacia Hidrográfica do Rio de Janeiro (BHRJ) recebe grande pressão pelo uso da água, especialmente as águas subterrâneas, com a exploração por poços de alta vazão. Para uma sustentabilidade hídrica da bacia, faz-se necessária adoção de medidas para uma gestão eficiente dos recursos hídricos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a sustentabilidade hídrica subterrânea da bacia, obtida por meio da estimativa do saldo hídrico, ou seja, a diferença entre a disponibilidade hídrica e o uso. Adotou-se como disponibilidade hídrica subterrânea a estimativa da reserva potencial explorável (RPE). O uso das águas subterrâneas foi calculado a partir dos dados de exploração dos poços cadastrados. A recarga do aquífero Urucuia na BHRJ foi obtida a partir da utilização de três métodos: o método da recarga potencial direta (RPD), curva de recessão e variação do nível d'água (VNA). Utilizou-se nas análises dados de monitoramento climatológico do INPE; dados hidrogeológicos da Rede Integrada de Monitoramento (RIMAS/CPRM) e dados de vazões diárias do rio de Janeiro e afluentes. A precipitação média estimada na bacia foi de 1.200 mm/ano para o período de 1980-2020; a RPD foi de 20,18 m³/s e a RPE de 4,05 m³/s. Os resultados da aplicação do método de variação do nível d'água demonstraram para o período de 2011-2020 uma precipitação média total de 1.101 mm e uma recarga de 160 mm representando 15% da precipitação. Os resultados do estudo mostram que ao longo dos anos observados, verificam-se uma ocorrência significativa no aumento da precipitação no final do período monitorado, porém, a vazão do rio continua em declínio ao longo dos anos hidrológicos, fato que pode estar associado à crescente utilização da água para a irrigação. As análises realizadas mostram ser importantes ferramentas para a ampliação do conhecimento da bacia, o que permitiu propor melhorias na gestão dos recursos hídricos na BHRJ. O conhecimento é base para a proposição e implementar políticas públicas para a gestão integrada e um planejamento mais sustentável.

Palavras-chave: Sistema Aquífero Urucuia, Oeste da Bahia, Bacia do Rio de Janeiro, Sustentabilidade das Águas Subterrâneas.

ABSTRACT

The West region of Bahia stands out as one of the main agricultural frontiers in the country, in the practice of high-tech agriculture for the production of grains, with emphasis on soy and corn. This scenario is influenced by the availability of water resources in the region, provided by the Urucuia Aquifer System, from which flows of around 500 m³/hour are exploited to supply irrigation. In this context, the river January Watershed (BHRJ) receives great pressure due to the use of water, especially groundwater, with exploitation by high-flow wells. For water sustainability in the basin, it is necessary to adopt measures for efficient management of water resources. The objective of this work was to evaluate the groundwater sustainability of the basin, obtained by estimating the water balance, that is, the difference between water availability and use. The estimate of the potential exploitable reserve (RPE) was adopted as groundwater availability. The use of groundwater was calculated from data on the exploitation of registered wells. The recharge of the Urucuia aquifer at BHRJ was obtained using three methods: the direct potential recharge (RPD) method, recession curve and water-table-fluctuation (WTF) . Climatic monitoring data from INPE were used in the analyses; hydrogeological data, from the Integrated Monitoring Network, RIMAS/CPRM and daily flow data from Rio de Janeiro and its tributaries. The estimated average precipitation in the basin was 1,200 mm/year for the period 1980-2020; the RPD was 20.18 m³/s and the RPE 4.05 m³/s. The results of applying the water-table-fluctuation (WTF) method showed for the period 2011-2020 a total average precipitation of 1,101 mm and a recharge of 160 mm representing 15% of the precipitation. The results of the study show that over the years observed, there is a significant increase in precipitation at the end of the monitored period, however, the river flow continues to decline over the hydrological years, a fact that may be associated with the increasing use of water for irrigation. The analyzes carried out show that they are important tools for expanding knowledge of the basin, which allowed proposing improvements in the management of water resources at BHRJ. Knowledge is the basis for proposing and implementing public policies for integrated management and more sustainable planning.

Keywords: Urucuia aquifer system, West of Bahia, Basin from river of January, Groundwater Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio de Janeiro (BHRJ).....	26
Figura 2 - Hidrógrafa hipotética de um poço de monitoramento de água subterrânea. Fonte: Carvalho <i>et al.</i> (2014).....	34
Figura 3 - Mapa de localização das estações pluviométricas e fluviométricas, utilizadas para calcular a curva de recessão.	38
Figura 4 - Exemplo de hidrograma com identificação do período de recessão do ano de 1978, na estação Ponte Sefrafim-Montante na bacia hidrográfica do rio de Janeiro.	39
Figura 5 - Mapa geológico simplificado da área de estudo. Fonte: Gaspar (2006).....	40
Figura 6 - Coluna estratigráfica da Bacia Sanfranciscana. Fonte: Campos & Dardenne (1997a).	42
Figura 7 - Mapa de unidades de relevo da área de estudo. Fonte: Gaspar (2006).....	45
Figura 8 - Rede de drenagem principal da região do oeste baiano. Margem esquerda do médio São Francisco. Fonte: Gaspar (2006).	49
Figura 9 - Regionalização de vazão por segmentos da bacia do rio Grande a partir da Q_{05} , com base na vazão específica. Fonte: Mantovani <i>et al.</i> (2019).	53
Figura 10 - Mapa de isoietas da região do SAU no período de 1970 a 2010. Fonte: ANA (2017).	54
Figura 11 - Contexto geográfico do Sistema Aquífero Urucuia. Fonte: ANA (2017).	55
Figura 12 - Espessura estimada do SAU das rochas do Grupo Urucuia, no oeste baiano, com base em dados geofísicos. Fonte: ANA (2017).....	58
Figura 13 - Mapa do eixo divisor de fluxo subterrâneo proposto para o SAU. Fonte: ANA (2017).	60
Figura 14 - Poços representativos da presença de arenitos do Grupo Urucuia sobre sistema Bambuí. Fonte: Gaspar (2006).	61
Figura 15 - Mapa geológico da área de estudo mostrando a predominância do Grupo Urucuia na bacia e afloramentos do Grupo Bambuí próximo a foz do rio.	65
Figura 16 - Mapa de classes de solos presentes na bacia do rio de Janeiro.....	70
Figura 17 - Gráfico unifilar de drenagem da bacia do rio de Janeiro.	72
Figura 18 - Mapa de drenagem e localização dos barramentos construídos nos afluentes do rio de Janeiro.....	73
Figura 19 - Mapa de localização das estações de monitoramento fluviométrico e pluviométrico na bacia. Fonte: ANA e INEMA.	77

Figura 20 - Mapa da precipitação média calculada pelo método dos Polígonos de Thiessen..	81
Figura 21 - Mapa do desvio padrão da média.	82
Figura 22 - Mapa de isoietas da bacia.....	83
Figura 23 - Gráfico com a porcentagem de finalidade de usos da água subterrânea na bacia.	87
Figura 24 - Mapa de poços outorgados na bacia mostrando a localização e a vazão média requerida em m ³ /h.	88
Figura 25 - Plataforma de informações do balanço da cultura em tempo real. Fonte: https://www.icrop.com.br/tecnologia	90
Figura 26 - Mapa de uso e ocupação solo na bacia, com a maior parte da área ocupada por culturas de sequeiro e seguida pela irrigação por pivô. Fonte: Base cartográfica a referência do Mantovani <i>et al.</i> (2021).	92
Figura 27 - Mapa de uso do solo no ano de 2020. Fonte: Base cartográfica a referência do Mantovani <i>et al.</i> (2021).	93
Figura 28 - Mapa de localização das áreas de conservação da bacia do rio de Janeiro. Fonte: Google Maps (2021).	95
Figura 29 - Mapa de distribuição da Reserva Potencial Direta – RPD (l/s/km ²) anual estimada para o aquífero Urucuia na bacia do rio de Janeiro.....	103
Figura 30 - Mapa de distribuição da Reserva Potencial Explotável – RPE (l/s/km ²) anual estimada para o aquífero Urucuia na bacia do rio de Janeiro.....	104
Figura 31 - Mapa de distribuição da Reserva Potencial Explotável – RPE (m ³ /h/km ²) anual estimada para o aquífero Urucuia na bacia do rio de Janeiro.....	105
Figura 32 - Mapa de exploração de água subterrânea para o aquífero Urucuia na bacia do rio de Janeiro, com cadastro de poços de 2020.	107
Figura 33 - Mapa do saldo hídrico do aquífero Urucuia na bacia do rio de Janeiro, com cadastro de poços de 2020.....	108
Figura 34 - Gráfico de Grant mostrando início do monitoramento dos poços da RIMAS/CPRM.....	109
Figura 35 - Mapa de poços da RIMAS/CPRM utilizados na avaliação do nível d'água subterrânea na bacia hidrográfica do rio de Janeiro.....	110
Figura 36 - Gráfico da variação da carga hidráulica acumulada do nível da água subterrânea, nos poços da bacia do rio de Janeiro e seu entorno.....	111
Figura 37 - Perfil construtivo e gráfico de evolução do nível d'água no poço de monitoramento Fazenda Savaí (2900020680). Fonte: RIMAS/CPRM (2022).	112

Figura 38 - Relação do registro da precipitação com a variação do nível da água subterrânea no poço Fazenda Savaí, no período de 2011 a 2021.	113
Figura 39 - Perfil construtivo e gráfico de evolução do nível d'água no poço de monitoramento Fazenda Jhoá (2900020677). Fonte: RIMAS/CPRM (2022).	114
Figura 40 - Relação do registro da precipitação com a variação do nível da água subterrânea do poço Fazenda Jhoá (2900020677), no período de 2013 a 2021.	115
Figura 41 - Perfil construtivo e evolução do nível d'água no poço de monitoramento Fazenda Agrobasso (2900024870). Fonte: RIMAS/CPRM (2022).	116
Figura 42 - Relação do registro da precipitação com a variação do nível da água subterrânea do poço Fazenda Agrobasso (2900024870), no período de 2012 a 2021.	118
Figura 43 - Perfil construtivo e gráfico de evolução do nível d'água no poço de monitoramento Fazenda Gretter II (2900026863). Fonte: RIMAS/CPRM (2022).	119
Figura 44 - Relação do registro da precipitação com a variação do nível da água subterrânea do poço Fazenda Gretter II (2900026863), no período de 2015 a 2021.	120
Figura 45 - Exemplo de gráfico da precipitação <i>versus</i> níveis estáticos diários, no período de 20/09/2011 a 14/09/2012, para o poço da Fazenda Savaí (2900020680).	122
Figura 46 - Gráfico da precipitação <i>versus</i> níveis estáticos diários, no ano hidrológico 2018-2019, para o poço Fazenda Savaí (2900020680).	123
Figura 47 - Gráfico da precipitação <i>versus</i> níveis estáticos diários, no período de 30/04/2013 a 23/08/2014, para o poço da Fazenda Johá.	124
Figura 48 - Gráfico da precipitação <i>versus</i> níveis estáticos diários, no período de 21/09/2018 a 01/09/2019, para o poço da Fazenda Johá.	125
Figura 49 - Gráfico da precipitação <i>versus</i> níveis estáticos diários entre 17/09/2014 a 06/06/2015.	126
Figura 50 - Gráfico da precipitação <i>versus</i> níveis estáticos diários, no período de 10/09/2019 a 05/09/2020, para o poço da Fazenda Agrobasso.	127
Figura 51 - Gráfico da precipitação <i>versus</i> níveis estáticos diários, no período de 02/10/2015 a 25/09/2016, para o poço da Fazenda Gretter II.	128
Figura 52 - Gráfico da precipitação <i>versus</i> níveis estáticos diários, no período de 17/09/2019 a 13/11/2020, para o poço da Fazenda Gretter II.	129
Figura 53 - Registro anual das vazões diárias do rio de Janeiro entre anos de 1980 a 2020, na estação fluviométrica Ponte Serafim-Montante (46570000).	130
Figura 54 - Vazões iniciais Q_0 (m^3/s) e finais Q (m^3/s) dos períodos de recessão analisados entre 1978 e 2020, estação fluviométrica Ponte Serafim-Montante (46570000).	131

Figura 55 - Vazões diárias do rio de Janeiro do período de recessão em 1978 (estação fluviométrica 46570000).....	132
Figura 56 - Vazões diárias registradas na estação fluviométrica Ponte Serafim-Montante na bacia do rio de Janeiro em 2012, com destaque para as vazões do início (Q0) e final (Q) do período de recessão.	133

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 1 - Túnel em Latossolo causado causado pela erosão (<i>piping</i>) subterrânea.....	47
Foto 2 - Processos erosivos (<i>piping</i>) na margem da BA-459, com abatimento do solo e gerando uma voçoroca que liga a vários túneis.....	47
Foto 3 – Imagens de Veículo Aéreo Não Tripulado (Vant – Drone) de abatimentos situados na Fazenda Orquídea. Processos erosivos provavelmente decorrentes da evolução de <i>piping</i> como <i>sinkhole</i> e <i>gully</i> já haviam sido instalados numa área adjacente a estrada. Fonte: Carvalho <i>et al.</i> (2022).	48
Foto 4 - Cachoeira do Acaba Vida, com uma queda de aproximadamente 70 metros. Fonte: Plano da BHRJ (2022).....	66
Foto 5 - Cachoeira do Redondo, próximo ao contato com as rochas do Grupo Bambuí. Fonte: Plano da BHRJ (2022).....	67
Foto 6 - Área de Latossolo Vermelho preparado para o plantio, entre os rios de Janeiro e o Ponta D' Água as margens da BA-459.	68
Foto 7 - Vista de área de Latossolo Amarelo pronto para o plantio, as margens da BA-459. .	68
Foto 8 - Área de Neossolo Quartzênico pronto para o plantio, as margens da BA-459.....	69
Foto 9 - Vista área do curso do rio de Janeiro próximo a sua foz.	71
Foto 10 - Curso do rio de Janeiro. Estação Faz. Campo Aberto (ANA 46570300).	74
Foto 11 - Curso alto do rio Limpo, próximo a sua confluência com o rio de Janeiro.	75
Foto 12 - Trecho do rio de Balsas, próximo à confluência com o rio de Janeiro. Estação fluviométrica INEMA GR-FR-21 e ANA 46569000.....	75
Foto 13 - Curso do rio Ponta D'Água, sob a ponte na BA-459, com estação fluviométrica INEMA GR-FR-09 e ANA 46561500.	76
Foto 14 - Régua de monitoramento fluviométrico da estação ANA-4657030.....	78
Foto 15 - Estação hidrológica de código INEMA GR-FR-23 com sistema de telemetria.	79
Foto 16 - Poço demonitoramento de nível da água subterranea da rede RIMAS/CPRM.	84
Foto 17 - Pivô central com área de irrigação de 100 ha, captando água do Rio de Janeiro.	85
Foto 18 - Poço tubular com vazão de 500 m ³ /h para irrigação via pivô central, onde a água é bombeada para o canal e captada pelo pivô para irrigar.	86
Foto 19 - Piscinão (reservatório) construído para armazenar água captada do poço tubular. ..	86
Foto 20 - Curso do Rio Ponta D'Água sem água, localizado sob a ponte na BA-459.....	90
Foto 21 - Uso e ocupação do solo na região da cachoeira do acaba vida. Fonte: Plano de Manejo da BHRJ.	91

Foto 22 - Processos erosivos em latossolos, com voçorocas atingindo profundidades de aproximadamente 2 m.	95
Foto 23 - Sistema de monitoramento dos usos da água superficial no rio de Janeiro, adequado à portaria INEMA-BA.....	96
Foto 24 - Plantio direto sobre a palhada de milho, onde é possível observar as linhas de plantio.....	97
Foto 25 - Irrigação por pivô central com sistema de plantio direto sobre a palhada de milho..	98

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução da área irrigada por pivô central no oeste da Bahia, no período de 1980 e 2018. Fonte: Mantovani <i>et al.</i> (2019).....	24
Gráfico 2 - Curvas de permanência no período de 1977 a 1990 e de 1990 a 2021- Estação fluviométrica Ponte Serafim-46570000. Fonte: ANA (2021).....	25
Gráfico 3 - Contribuição do SAU para a bacia do rio São Francisco – vazões médias mensais - período 01/10/1975 a 30/10/2005. Fonte: ANA (2017).....	51
Gráfico 4 - Curvas de Permanência das bacias hidrográficas dos rios Limpo, Balsas e Ponta D'Água. Fonte: CPRM (2019).....	52
Gráfico 5 - Gráfico do balanço hídrico climatológicos da estação meteorológica de Barreiras, para o período de 1980 a 2020.	101

LISTA DE SIGLAS

ANA- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

AIBA - Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia

APA - Área de Proteção Ambiental Estadual

ABAPA - Associação Baiana dos Produtores de Algodão

APP - Área de Preservação Permanente

ANP – Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis

BHC - Balanço Hídrico Climatológico

CERB - Companhia de Engenharia Rural da Bahia

CNARH – Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos

Ci - Coeficiente de infiltração

Cs - Coeficiente de Sustentabilidade;

SBG/CPRM - Serviço Geológico do Brasil

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INGÁ – BA Instituto de Gestão das Águas e Clima

INEMA – BA - Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

RL - Reserva Legal

RPE - Reserva Potencial Explotável;

RIMAS - Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas

RPD - Recarga Potencial Direta

SAU - Sistema Aquífero Urucuia

SEV - Sondagem Elétrica Vertical

SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

SIG - Sistemas de Informações Geográficas

SRH-BA - Secretaria de Recursos Hídricos da Bahia

SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission

SNIRH - Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos

UFBA - Universidade Federal da Bahia

VNA - Variação do Nível D'Água

WTF - Water Table Fluctuation

USGS Earth Explorer - United States Geological Survey

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	22
2. JUSTIFICATIVAS.....	23
3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	25
4. OBJETIVOS.....	27
4.1. Objetivos Gerais	27
4.1.1. Objetivos Específicos	27
5. MATERIAIS E MÉTODOS	27
5.1. Aspectos Gerais	27
5.2. Estimativas da Precipitação Média Anual na Bacia	28
5.3. Balanço Hídrico da Bacia	30
5.4. Métodos de Avaliação da Recarga.....	31
5.5. Disponibilidade Hídrica Subterrânea.....	35
5.6. Saldo Hídrico	36
5.7. Interação Rio/Aquífero – Curva de Recessão.....	36
6. CONTEXTO FISIAGRÁFICO REGIONAL	39
6.1. Geologia.....	39
6.2. Estratigrafia.....	41
6.3. Grupo Urucuia – Cretáceo Superior	43
6.3.1. Formação Posse	43
6.3.2. Formação Serra das Araras.....	44
6.4. Formação Chapadão – Cenozoico	44
6.5. Geomorfologia e Solos	45
6.6. Hidrologia	48
6.7. Aspectos Climatológicos	53
6.8. Hidrogeologia	55
6.9. Balanço Hídrico	62

6.10.	Avaliação da Recarga do SAU.....	62
6.11.	Reservas	63
6.12.	Disponibilidade	64
7.	RESULTADOS.....	64
7.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	64
7.1.1	Geologia	64
7.1.2	Solos	67
7.1.1.	Hidrologia.....	71
7.1.4.	Precipitação na Bacia.....	79
7.1.5.	Hidrogeologia.....	84
7.1.6.	Uso da Água	85
7.1.7.	Uso e Ocupação do Solo.....	91
8.	BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO	100
9.	RECARGA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA	101
9.1.	Saldo Hídrico	106
9.2.	Comportamento do Nível d'Água Subterrânea	109
9.2.1.	Poço RIMAS/CPRM 2900020680 (Fazenda Savaí)	111
9.2.2.	Poço RIMAS/CPRM 2900020677 (Fazenda Johá).....	114
9.2.3.	Poço RIMAS/CPRM 2900024870 (Fazenda Agrobasso)	116
9.2.4.	Poço RIMAS/CPRM 2900026863 (Fazenda Gretter II)	118
9.3.	Estimativa da Recarga com VNA	120
9.3.1.	Poço RIMAS/CPRM 2900020680 (Fazenda Savaí)	121
9.3.2.	Poço RIMAS/CPRM 2900020677 (Fazenda Johá).....	123
9.3.3.	Poço RIMAS/CPRM 2900020680 (Fazenda Agrobasso)	125
9.3.4.	Poço RIMAS/CPRM 2900026863 (Fazenda Gretter II)	127
9.4.	Análise da Interação Rio/Aquífero	129
10.	DISCUSSÕES.....	133

11. PROPOSTAS DE MELHORIAS NA GESTÃO.....	135
12. CONCLUSÕES.....	139
13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141
14. ANEXOS.....	146

1. INTRODUÇÃO

A região oeste da Bahia vem se destacando nos últimos anos como uma das principais fronteiras agrícolas do país, com a produção de grãos, em especial, a soja, o milho, além do algodão, nessa região pratica-se uma agricultura mecanizada moderna com o emprego de alta tecnologia e, irrigação permanente, responsável pelo destaque no mercado mundial de produção de *commodities*. A ocupação da região se deu por atrativos como relevo plano, baixos preços das terras, com solos espessos e localizados em área com disponibilidade hídrica.

Além da baixa declividade do relevo, a região do oeste baiano apresenta uma pluviosidade média acima 1.000 mm anuais distribuídos entre uma estação chuvosa (outubro a abril) e outra seca (maio a setembro). Outro fator importante na ocupação da região é a presença do Sistema Aquífero Urucuia (SAU), com grandes reservas de águas subterrâneas, explorado por poços profundos com alta produtividade e responsável pela perenização dos afluentes da margem esquerda do rio São Francisco.

As atividades agrícolas têm gerado uma grande demanda de água, captada diretamente nos cursos dos rios e por meio dos poços tubulares profundos. Em contrapartida, são observadas reduções dos volumes de chuvas anuais, no fluxo de base dos rios, desaparecimento de nascentes e o progressivo rebaixamento do nível da água subterrânea (NA) em poços que monitoram o Sistema Aquífero Urucuia (SAU). Populações tradicionais reclamam da diminuição da vazão dos rios. Na bacia já se observa o recuo das nascentes e trechos secos de rios que antes eram perenes.

A Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, instituída pela Lei 9.433/97, estabelece entre seus objetivos, fundamentos e diretrizes, a implementação da gestão integrada de recursos hídricos. O seu Art. 3º define que as ações de planejamento e articulação na gestão dos recursos hídricos devem ser realizadas junto com os setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional, mas quanto às águas subterrâneas a gestão ficou a cargo dos estados, não se manifestando quanto aos aquíferos que ultrapassam os limites estaduais, como é o caso do aquífero Urucuia, que está presente em seis estados, onde a gestão deveria ser compartilhada.

Os estudos realizados por Luz *et al.* (2009), para avaliar as condições de exploração dos poços e a dinâmica de fluxo do aquífero, mostraram que o Sistema Aquífero Urucuia é um reservatório promissor, comparável com outros sistemas regionais no Brasil. Para a

CPRM (2019) o SAU é um reservatório de grande potencial subterrâneo, que contribui significativamente para a manutenção das vazões do rio São Francisco, no período seco. Destaca-se que é um dos únicos aquíferos com regulamentação específica de uso estabelecida no país, a partir das instruções normativas editadas pelo Estado da Bahia.

No entanto, a pressão imposta pelas crescentes demandas por água sobre esse manancial desperta um alerta, já apontado por diversos pesquisadores, sobre a importância da avaliação integrada rio/aquífero, bem como sua implementação efetiva.

A gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos e seu gerenciamento racional demanda, entre outros aspectos, o conhecimento da hidrogeologia, do uso e ocupação do solo, da vulnerabilidade natural dos aquíferos e aquisição de parâmetros hidráulicos, com um programa de monitoramento ininterrupto dos componentes do ciclo hidrológico, de forma a possibilitar a obtenção de informações de suporte à sustentabilidade do desenvolvimento regional a médio e longo prazo (ANA, 2017).

A sustentabilidade do desenvolvimento regional, no entanto, começa pelas ações locais implementadas em nível de sub-bacias. Assim, destaca-se como fundamental o desenvolvimento de avaliações locais, como esta pesquisa, para estudar a bacia hidrográfica do rio de Janeiro.

2. JUSTIFICATIVAS

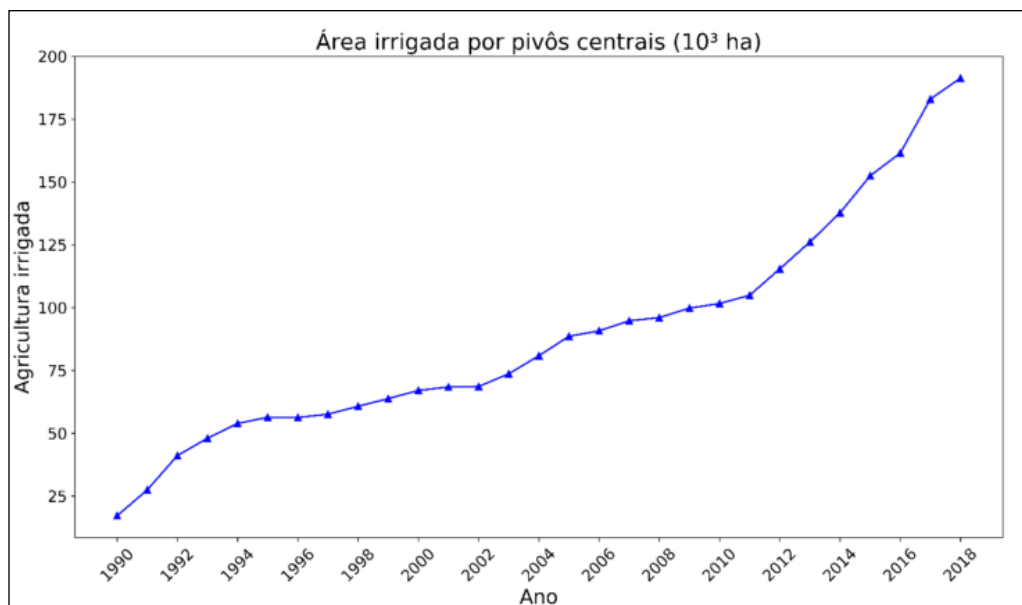
A gestão dos recursos hídricos como um bem econômico é uma importante ferramenta para se atingir eficiência e equidade no seu uso e promover sua conservação. No Brasil, a gestão dos recursos hídricos teve grande impulso a partir da aprovação da Lei Federal nº 9.433/97 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Em atendimento a esta Lei, alguns Estados brasileiros estabeleceram Políticas Estaduais numa tentativa de disciplinar a gestão e garantir o planejamento do uso da água em suas diferentes fases do ciclo hidrológico.

Nesse sentido, o Estado da Bahia criou a Lei nº 6.855, de 12 de maio de 1995, que dispõe sobre a Política, o Gerenciamento e o Plano Estadual de Recursos Hídricos. No tocante a gestão das águas subterrâneas, estabeleceu em 2010 a Instrução Normativa nº 15, editada pelo então Instituto de Gestão das Águas e Clima – INGÁ, órgão gestor de recursos hídricos do estado à época. A IN 15/2010 foi estabelecida especificamente para orientar as regras de uso do Sistema Aquífero Urucuia, com base no conhecimento do manancial, dada sua

importância do ponto vista ambiental e econômico. Mais recentemente a IN 15/2010 foi revogada pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA - atual órgão gestor de recursos hídricos da Bahia - a partir da publicação da Instrução Normativa nº 3 de junho de 2022, que atualizou as regras de uso e exploração do SAU com base em novos estudos desenvolvidos na região.

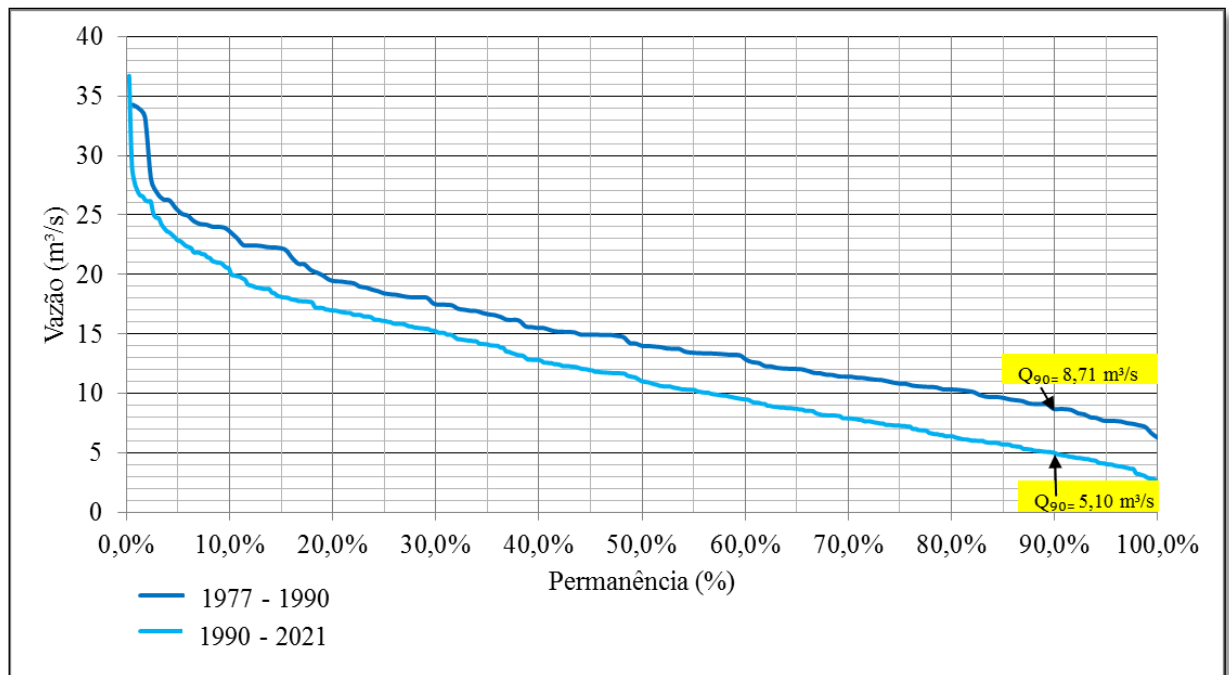
Segundo esses estudos mais recentes, Mantovani *et al.* (2019), indicaram que na parte sul da bacia do rio Grande área de ocorrência do SAU a irrigação evoluiu de 187 pivôs centrais, ocupando uma área de 16.431 ha em 1990, para 1.745 pivôs em 2018 e ocupando uma área irrigada de 190.900 ha, com uma taxa de crescimento da ordem de 9,2% ao ano (Gráfico 1). Os autores observaram que na bacia hidrográfica do Rio de Janeiro, objeto desta pesquisa, passou de 1300 ha irrigados em 1990 para 12200 ha no ano de 2018, que representa um aumento de mais de 838,46% em quase 30 anos.

Gráfico 1 - Evolução da área irrigada por pivô central no oeste da Bahia, no período de 1980 e 2018.
Fonte: Mantovani *et al.* (2019).



Outra especificidade importante em relação à bacia hidrográfica do rio de Janeiro refere-se aos dados de vazão, cujos valores históricos registrados indicam que a bacia vem passando por uma constante diminuição da vazão do rio ao longo dos anos. Na curva de permanência da estação Ponte Serafim - Código ANA 46570000, por exemplo, do período de 1977 a 1990, a Q_{90} - vazão de referência utilizada para a emissão de outorgas na Bahia, era de 8,71 m³/s, enquanto para o período de 1990 a 2021, essa vazão diminuiu para 5,10 m³/s (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Curvas de permanência no período de 1977 a 1990 e de 1990 a 2021 - Estação fluviométrica Ponte Serafim - 46570000. Fonte: ANA (2021).



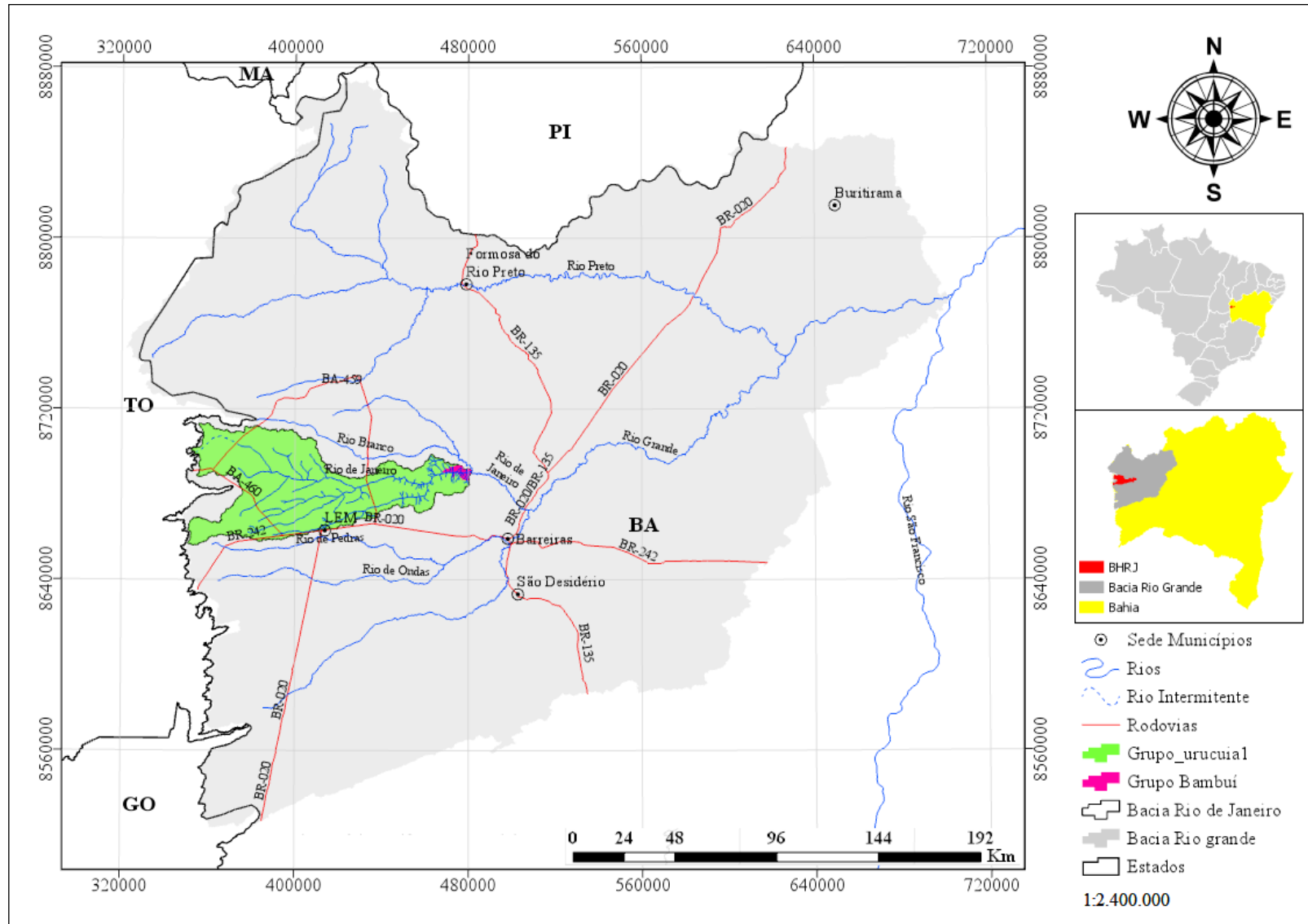
Assim, entende-se a importância do desenvolvimento deste estudo, para avaliar as condições de sustentabilidade do uso do Sistema Aquífero Urucua na bacia do rio de Janeiro, visto a relevância ambiental e socioeconômica desse manancial.

3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a bacia hidrográfica do rio de Janeiro (BHRJ), localizada na região oeste da Bahia. Faz parte da Bacia do rio Grande, afluente da margem esquerda do Médio rio São Francisco. A BHRJ tem uma área de 3.836 km², drena parcialmente dois municípios da região, Barreiras e Luís Eduardo Magalhães. Tem como seus principais afluentes os rios Balsas, Limpo, do Entrudo e o Ponta D'Água (Figura 01).

O acesso à área pode ser feito a partir da cidade de Barreiras pela rodovia BR- 020 e pela rodovia BA-459, conhecido como “Anel da Soja”. Pode também, ser acessada a partir da cidade de Luís Eduardo Magalhães pela BA-460.

Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio de Janeiro (BHRJ).



4. OBJETIVOS

4.1. Objetivos Gerais

Avaliar a sustentabilidade hídrica subterrânea da bacia hidrográfica do Rio de Janeiro com base na comparação entre a disponibilidade e a demanda atual, considerando a relação rio/aquífero.

4.1. Objetivos Específicos

- Estimar a disponibilidade hídrica subterrânea da bacia do rio de Janeiro;
- Analisar a exploração de poços, obtidos do órgão gestor de recursos hídricos da Bahia (INEMA);
- Estimar o saldo hídrico subterrâneo disponível na bacia hidrográfica do Rio de Janeiro;
- Analisar a relação rio/aquífero;
- Propor melhorias na gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio de Janeiro.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Aspectos Gerais

A metodologia proposta para realização e execução deste estudo se inicia com pesquisas bibliográficas e cartográficas, com o objetivo de contextualizar o estado da arte do conhecimento do meio físico da bacia hidrográfica do Rio de Janeiro. Os dados vetoriais de drenagem, geologia, hidrogeologia e geomorfologia, foram adquiridos das bases dos órgãos públicos responsáveis como a ANA, CPRM, IBGE, TOPODATA, INPE e USGS *Earth Explorer*. Os dados adquiridos em formato digital e arquivos de imagem foram processados no *software* ArcGis Pro, para realizar a vetorização dos pontos de interesse e confecção dos mapas da área de pesquisa utilizando técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica.

O cadastro de poços desta pesquisa foi composto a partir da base de dados dos poços cadastrados na CERB, pela base de poços do SIAGAS e RIMAS/CPRM e usuários regularizados, cedidos pelo INEMA. Para tanto realizou-se um processamento de avaliação de duplicidade de pontos entre os cadastros. Com o objetivo de verificar a real quantidade de água explorada na bacia e suas finalidades de usos, utilizaram-se dos dados desses cadastros, o qual também foi utilizado para quantificar as “saídas de água” na bacia hidrográfica do rio de Janeiro, a partir dos dados de vazões exploradas a partir dos poços.

5.2. Estimativas da Precipitação Média Anual na Bacia

Para a precipitação média da bacia hidrográfica do Rio de Janeiro, foram selecionadas 23 estações pluviométricas (Tabela 1), distribuídas no interior da bacia e no entorno. Os dados de precipitação foram obtidos através do banco de dados do Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (SNIRH), disponibilizado no *site* da Agência Nacional de Águas (ANA, 2020), no Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA do Estado da Bahia e dados utilizados para o cálculo das normais climatológicas obtidos na estação Barreiras do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (INMET, 2020), no período de 1980 a 2020, que foram utilizadas para fazer o mapa isoietas da precipitação na bacia, para calcular a precipitação média na bacia a partir do método dos polígonos de Thiessen e das isoietas.

Tabela 1: Estações pluviométricas de monitoramento, localizadas na bacia do rio de Janeiro e no Estado do Tocantins próxima a área de estudo, no período de 1980 a 2020.

Estação	Precipitação Média	Código ANA
Barra do Tapuio	1.139,0	01045008
Fazenda Vereda Nova	943,2	01345007
Fazenda Algoçel	1.351,8	01146010
Fazenda Diamantina	938,6	01246009
Fazenda Dona Izeta	1.067,1	01245022
Fazenda Evandro	1.069,1	01045007
Fazenda Mingore	1.085,4	01146007
Faz. Novo Horizonte	1.026,3	01245020
Fazendo Poletto	1.226,2	01245019
Fazenda Procafe	1.209,1	01245023
Faz. Santa Rita de Cassia	1.097,6	01145026
Fazenda São Roque	1.205,6	01145023
Fazenda Vila Verde	1.327,9	01246005
Garganta	1.271,2	01146008
Limoeiro	974,4	01245029
Restaurante Anel da Soja	1.132,7	01146009
Rio Limpo	1.076,8	1145024
Caripare	1.009,8	1145019
Nova Vida Montante	1.002,7	1145014
Ponte Serafim - Montante	1.022,3	1145013
Aurora do Norte - TO	1.639,4	1246001
Ponte Alta do Bom Jesus - TO	1.998,2	1246000
Taguatinga - TO	1.596,1	1246003

Os cálculos das precipitações médias foram realizados em planilha eletrônica do Programa Microsoft Office Excel 10. Para isso, foi criada uma planilha com dados de latitude e longitude, código de cada estação pluviométrica e a respectiva média de precipitação. Essa planilha foi importada para o ArcGIS Pro, onde se organizou um arquivo do tipo *shapefile* com os dados de precipitação de todas as estações selecionadas.

A partir desses dados, o cálculo da precipitação média da bacia do rio de Janeiro foi feito com a aplicação do método dos polígonos de Thiessen e de isoietas.

No emprego do método de Thiessen, a precipitação média foi calculada utilizando os dados vetoriais gerados a partir das estações pluviométricas existentes na bacia e seu entorno, a partir do fundamento básico desse método que consiste em traçar linhas perpendiculares sobre a mediatriz das linhas que ligam as estações e prolongar as linhas perpendiculares até encontrar outra mediatriz. Com esse procedimento, realizado neste estudo, de forma automatizada no ArcGis Pro, definiram-se as áreas de influência de cada estação (Equação 1), que são os polígonos de Thiessen. O cálculo da precipitação média anual da bacia pelos polígonos de Thiessen baseia-se na ponderação entre a área de influência de uma dada estação, calculada conforme a Equação 2.

$$W_i = \frac{A_i}{A} \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

Wi: fator de peso;

Ai: área de influência da estação;

A: área total da bacia hidrográfica.

$$P_m = \sum \frac{A_i \cdot P_i}{A} \text{ (Equação 2)}$$

Onde:

Pm: precipitação média na bacia (mm);

Pi: precipitação na estação (mm);

Ai: área de influência da estação;

A: área total da bacia.

A estimativa da precipitação pelo método das isoietas, por sua vez, foi utilizada para compor o cálculo da recarga potencial direta, apresentado adiante. Com a espacialização dos

pontos na bacia hidrográfica, pelo método da interpolação por IDW (*Inverse Distance Weighted* – Ponderação do Inverso da Distância) geraram-se as isoietas em ambiente SIG, utilizando a ferramenta *Contour*. As isoietas são curvas que unem pontos cujo volume de precipitação é igual (MARCUIZZO *et al.*, 2011).

5.3. Balanço Hídrico da Bacia

Os métodos de balanços hídricos são os mais utilizados e aplicados para estimar a recarga. O método do balanço de umidade de solo (*Soil Moistures Budgets*) utiliza dados meteorológicos disponíveis em uma estação, fórmulas empíricas de evaporação e outras, tais como capacidade de campo, ponto de murcha e espessura da zona de raízes para estabelecer um modelo numérico baseado em um algoritmo iterativo para cada intervalo de tempo Δt .

O método da análise de hidrograma de uma estação fluviométrica (*River Baseflow Method*) é baseado na pressuposição de que o fluxo basal separado do hidrograma do rio representa o fluxo efluente do aquífero ou a recarga R, sem considerar uma taxa possível de escoamento subterrâneo que sai do aquífero sem fluir ao rio. A condição necessária é que o perímetro do aquífero seja aproximadamente igual à área de drenagem da bacia. A recarga é encontrada subtraindo-se da precipitação a água liberada por evapotranspiração e escoamento superficial.

O método da Precipitação-Recarga (*Rainfall-Recharge Relationship*) expressa a quantidade da recarga como uma porcentagem da taxa de precipitação, onde é considerada relação linear entre chuva e infiltração, sendo possível estimar uma taxa de recarga.

O método da análise da curva de recessão do rio ou nascente (*Spring or River Flow Recession Curves*) interpreta a curva exponencial da depleção, na qual a constante associada com o tempo de depleção será determinada. Junto com o conhecimento estimado do volume armazenado do aquífero drenado, a constante de recessão permite uma estimativa da recarga.

Para o cálculo do balanço hídrico da bacia do rio de Janeiro foram coletados dados de série histórica da precipitação pluviométrica (P) e temperatura do ar (T) média mensal referente ao período de 1980 a 2020 (40 anos de dados), da estação meteorológica convencional Barreiras do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para o cálculo do balanço hídrico foi utilizado o método de estimativa de Thornthwaite & Matter (1955), que é uma das várias maneiras de se monitorar a variação da disponibilidade hídrica para a recarga de aquíferos e leva em consideração o suprimento

natural de água para o solo, a demanda atmosférica e a quantidade de água disponível para a recarga de aquíferos. Esse método permite compreender os ganhos e as perdas constantes no ciclo hidrológico, uma vez que as chuvas influenciam diretamente o volume de infiltração e, por conseguinte, a recarga direta do sistema aquífero.

O balanço hídrico pelo método de Thornthwaite & Matter (1955) fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água no solo (ARM), podendo ser elaborado desde a escala diária até a mensal (CAMARGO, 1971).

Utilizou-se de planilhas do Microsoft Excel 10 visando estimar o balanço hídrico, por meio da contabilização do suprimento natural de água ao solo, pela chuva (P), e da demanda atmosférica, pela evapotranspiração potencial (ETP), e com um nível máximo de armazenamento ou capacidade de água disponível (CAD) apropriada ao estudo em questão.

Conforme esta metodologia, a evapotranspiração se traduz em perda de umidade do solo e a precipitação representa ganho, calcularam-se ainda as médias de excesso hídrico (S) e a deficiência hídrica no solo (D). De acordo com o método adotado, determinou-se uma capacidade de armazenamento de água disponível no solo (CAD).

A partir dos dados de precipitações e temperatura e utilizando a planilha em Excel elaborada e disponibilizada por Rolim *et. al.* (1998), foram gerados gráficos contendo as informações referentes às variáveis climáticas e ao balanço hídrico da bacia do Rio de Janeiro, onde na estimativa do balanço hídrico normal foram computadas as médias mensais dos dados obtidos.

5.4. Métodos de Avaliação da Recarga

A recarga do sistema aquífero Urucuia na bacia do rio de Janeiro foi estimada a partir do emprego de dois métodos: a recarga potencial direta – RPD (ANA, 2013) e pela variação do nível d'água – VNA.

Segundo a ANA (2013), a Recarga Potencial Direta corresponde à parcela do volume de chuva anual que infiltra no solo e alcança os aquíferos livres. Essa estimativa é feita com base nos dados de “entrada” (precipitação e coeficiente de infiltração) da água no aquífero, e pode ser obtida conforme a Equação 3:

$$RPD = A \cdot C_i \cdot P \text{ (Equação 3)}$$

Onde:

RPD: Recarga Potencial Direta;

A: área da bacia hidrográfica do Rio de Janeiro;

C_i: coeficiente de infiltração do Sistema Aquífero Urucuia;

P: precipitação média na bacia.

A RPD inclui em seu cômputo o fluxo de base - parcela do escoamento superficial alimentada por água subterrânea (Q_b) e a extração atual de águas subterrâneas por poços tubulares (Q_p). Em razão de sua simplicidade e flexibilidade de aplicação, e existência de dados, para a estimativa da recarga da bacia, foi adotado como base nos cálculos o Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos (ANA, 2013).

Para esta pesquisa considerou-se um coeficiente de infiltração (C_i) de 14,0%, obtido nos estudos realizado pela ANA (2017) no aquífero Urucuia. A precipitação utilizada foi o valor médio da série histórica da bacia no período de 1980 a 2020, através da utilização do método das isoietas, já que os valores de precipitação são variáveis na área da bacia.

A estimativa da RPD foi calculada a partir da imagem Raster de precipitação média anual, transformada em *shapefile* desse parâmetro; em seguida, realizou-se o processamento com interseção com os *shapefile* de delimitação da bacia e o mapa do aquífero Urucuia delimitado na bacia de estudo.

No *software* ArcGis Pro, utilizando a ferramenta de interseção entre o *shapefile* de aquíferos, o *shapefile* de precipitação anual e a área da bacia, obteve-se a Recarga Potencial Direta – RPD do aquífero Urucuia para a área de estudo.

A estimativa da recarga também foi feita com a aplicação do método da variação do Nível d'Água – VNA. Uma das principais vantagens do uso da estimativa de recarga por variação do nível d'água é que, devido a sua simplicidade, pode-se desconsiderar, por exemplo, a existência de caminhos preferenciais de fluxo, uma vez que os mecanismos de transporte que regulam a passagem de água na zona não saturada não se configuram como algo essencial para a análise (HEALY; COOK, 2002).

O método só pode ser utilizado em aquíferos não confinados e requer o coeficiente do rendimento específico do solo e das variações nos níveis d'água ao longo do tempo (FARIAS,

2011). Tal método já foi utilizado para séries de curta e/ou longa duração de dados. Este método utiliza flutuações de níveis de água subterrânea ao longo do tempo para estimar recarga em aquíferos livres (HEALY, 2010).

O método VNA também é conhecido como da variação da superfície livre do aquífero, em inglês *Water Table Fluctuation* - WTF e baseia-se na hipótese de que a variação de volume do aquífero livre é inteiramente atribuída à elevação do seu nível freático, Δh , correspondente à variação do armazenamento de água (MANZIONE, 2015). Os cálculos foram realizados conforme a Equação 4 (HEALY; COOK, 2002):

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

R: recarga;

Sy: rendimento específico;

Δh = variação da altura da superfície freática devido a um evento de recarga;

Δt = tempo de duração do evento de recarga.

dh = variação da altura

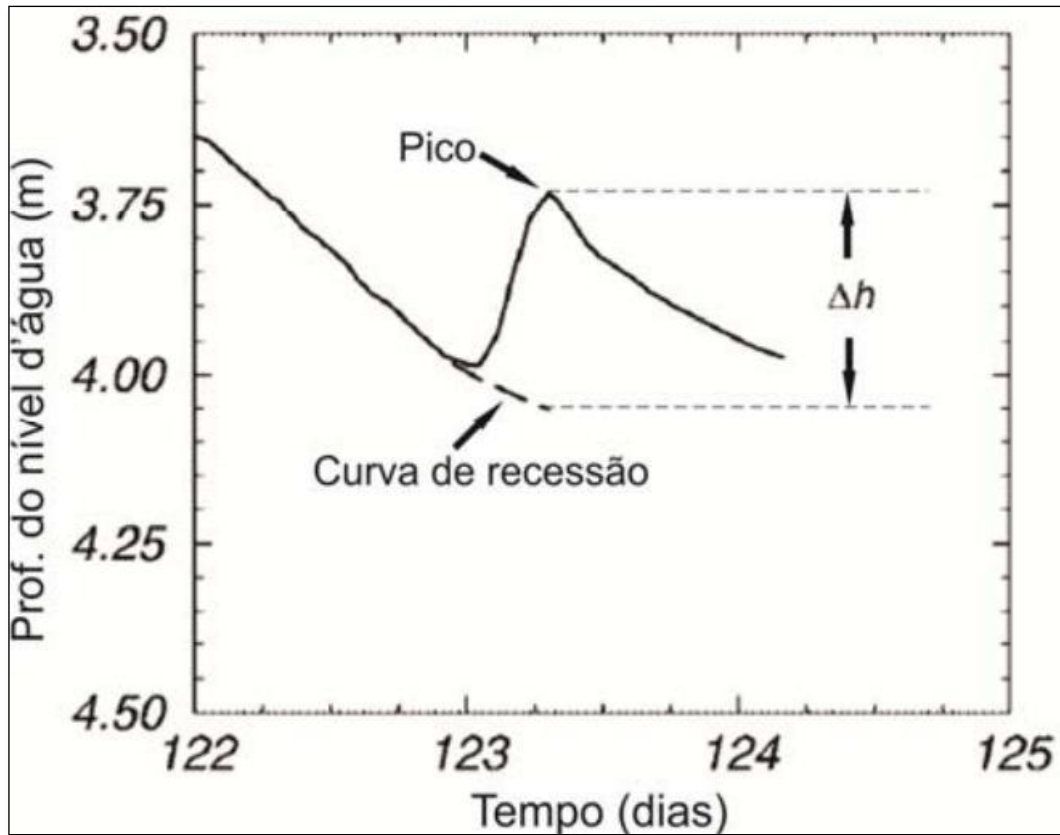
dt = variação tempo

Para Manzione (2015), a equação de recarga assume que toda a quantidade de água que atinge o nível freático, imediatamente, entra no armazenamento e todas as outras componentes do balanço hídrico subterrâneo (zona saturada), aplicado em uma bacia hidrográfica, são nulas durante o período de recarga subterrânea. Na definição a recarga, Δh é definido como a diferença entre o pico da curva de ascensão e o ponto mais baixo da curva de recessão antecedente, a qual é extrapolada até o instante do pico (Figura 2).

Para calcular o Δh , foi aplicada a metodologia proposta por Healy & Cook (2002). Para determinar o valor de Δh (amplitude do ponto mais alto e mais baixo do nível freático observado) aplicou o método gráfico, onde a curva de recessão antecedente a uma subida no NA é extrapolada, em seguida os Δh s encontrados foram somados para os três poços do estudo em metros.

O valor do $\Sigma \Delta h$ para cada poço foi multiplicado pelo Sy, encontrando-se a recarga em mm, conforme utilização da Equação 4.

Figura 2 - Hidrógrafa hipotética de um poço de monitoramento de água subterrânea. Fonte: Carvalho *et al.* (2014).



Para calcular a recarga direta pelo método do VNA na bacia do Rio de Janeiro foram utilizados os dados de quatro poços da Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas – RIMAS/CPRM (Tabela 2), instalados na região de estudo e operado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Superintendência de Salvador (SUREG-SA). Em seguida comparou-se a recarga calculada anualmente nesses quatro poços com a precipitação anual registradas em estações pluviométricas contíguas aos poços.

Tabela 2: Poços de monitoramento da RIMAS/CPRM utilizados para a estimativa da recarga com a aplicação do método VNA.

Código do poço RIMAS/CPRM	Nome do Poço	Início/Final Monitoramento
2900020680	Fazenda Savaí	set/2011 - mai/2021
2900020677	Fazenda Johá	abr/2013 - jan/2021
2900024870	Fazenda Agrobasso	ago/2012 - mai/2021
2900026863	Fazenda Gretter II	out/2015 a nov/2020

Dos poços utilizados apenas um (Fazenda Gretter II) está instalado dentro da bacia do Rio de Janeiro, porém agregaram-se outros três no entorno da bacia que tinham dados

históricos importantes na sua série de dados, mostrando o comportamento da variação do nível d'água subterrânea do SAU na região.

Após a definição dos poços, realizou-se o levantamento das fichas cadastrais do mesmo, com informações dos perfis construtivos dos poços, dados geológicos e hidrogeológicos e leitura do nível d'água da área onde estão localizados, com início de monitoramento em 2012 até 2021.

Sendo assim, os dados obtidos são uma média diária da medição de nível d'água pelos poços de monitoramento, medidos por sensores (*dataloggers*) que realizam a medida de nível a cada hora.

5.5. Disponibilidade Hídrica Subterrânea

A disponibilidade hídrica subterrânea adotada neste estudo foi a reserva potencial explorável estimada (RPE), que corresponde à parcela da RPD, multiplicada por um Coeficiente de Sustentabilidade (CS), conforme ANA (2013) (Equação 5). A RPE considera o volume total disponível em determinado aquífero, sem descontar os volumes explorados atualmente. Ou seja, para se conhecer a disponibilidade real de água subterrânea, os quantitativos em extração devem ser abatidos da RPE, cujo valor resultante será o saldo hídrico.

O Coeficiente de Sustentabilidade (Cs), que aplicado à RPD resulta na Reserva Explorável (RE) e que equivale à disponibilidade hídrica subterrânea total, conforme relação abaixo:

$$RPE = Cs \cdot RPD \quad (\text{Equação 5}).$$

Onde:

RPE: Reserva Potencial Explorável;

Cs: coeficiente de sustentabilidade;

RPD: Recarga Potencial Direta.

O coeficiente de sustentabilidade (Cs) varia entre 0,1 e 1,0 e é um percentual máximo recomendado para ser multiplicado à Recarga Potencial Direta, com vistas a evitar efeitos adversos nos aquíferos, redução significativa das vazões de base dos rios e não comprometer a disponibilidade hídrica superficial nos períodos e nas vazões mínimas ecológicas de estiagem

(ANA, 2017). O Cs é um fator dependente da transmissividade dos aquíferos, isso significa que, quanto mais elevada for transmissividade, menor será o Cs e o contrario maior será o Cs.

Nos aquíferos livres, com transmissividade elevada, como no caso do SAU, onde a vazão de base representa parcela significativa do escoamento superficial, é sugerido Cs de 0,2, de forma a manter inicialmente, pelo menos 80% do escoamento de base disponível como vazão superficial. Essa parcela terá que comportar o volume outorgável superficial e a vazão remanescente, onde devem estar inclusos a vazão ambiental (ecológica) e o volume a ser entregue a outros rios estaduais e/ou federais estabelecidos nos marcos regulatórios (ANA, 2017). Assim, utilizou-se para o cálculo do RPE do SAU na bacia do Rio de Janeiro um coeficiente de sustentabilidade de 0,2.

5.6. Saldo Hídrico

O saldo hídrico corresponde ao valor disponível efetivamente para novos usos das águas subterrâneas. É calculado a partir da subtração entre a disponibilidade hídrica subterrânea (RPE) e a exploração retirada a partir dos poços tubulares. Portanto, é um valor bastante dinâmico que deve ser constantemente atualizado, tendo em vista o aumento progressivo de novos usuários na bacia.

O saldo hídrico da BHRJ foi especializado para exibir o comprometimento real da sustentabilidade hídrica na bacia.

5.7. Interação Rio/Aquífero – Curva de Recessão

A curva recessão corresponde ao trecho do hidrograma em que a vazão do rio é mantida apenas ao escoamento de água subterrânea, quando não há regularização a montante da estação utilizada. A análise da curva de recessão é utilizada para a avaliação da interação entre o rio e o(s) aquífero (s) drenado (s), a partir da estimativa da restituição do(s) aquífero(s) para o rio durante a recessão. Também é possível a obtenção do valor da recarga do aquífero de forma indireta, considerando os dados de “saída” do sistema (aquífero), ou seja, as vazões do rio que drenam determinado aquífero.

Para observar a importância do escoamento de base sobre a vazão total da bacia do rio de Janeiro foi realizada uma análise integrada das precipitações médias históricas diárias com as vazões do hidrograma das estações pluviométrica (1145013) e fluviométrica (46570000) Ponte do Serafim-Montante, localizada no rio de Janeiro. (Figura 3).

A partir dos dados de vazão foi possível construir os hidrogramas de cada ano hidrológico, totalizando 42 anos de monitoramento, gerando uma curva em escala logarítmica representando a curva de recessão da água subterrânea, utilizando a Equação 6.

$$Q = Q_0 e^{-kt} \quad (\text{Equação 6}).$$

Onde:

Q : Vazão (m^3/s) após um período t (dias);

Q_0 : vazão do início da recessão (m^3/s)

k : Constante de recessão.

A determinação da constante de recessão k é calculada por meio da Equação 7:

$$k = \frac{\ln Q_0 - \ln Q}{t} \quad (\text{Equação 7}):$$

Na construção dos hidrogramas os dados de vazões diárias foram plotados em gráficos no *software* Excel, os quais expressam o fluxo de água em função do tempo. A partir da análise dos hidrogramas foram identificados os picos do fluxo, permitindo assim separá-los do trecho em declínio da curva, correspondente ao período de recessão, quando a vazão declina continuamente devido à ausência de chuva na área de influência da estação analisada. Um ponto de inflexão é identificado na curva do hidrograma que marca o início do período dessa recessão.

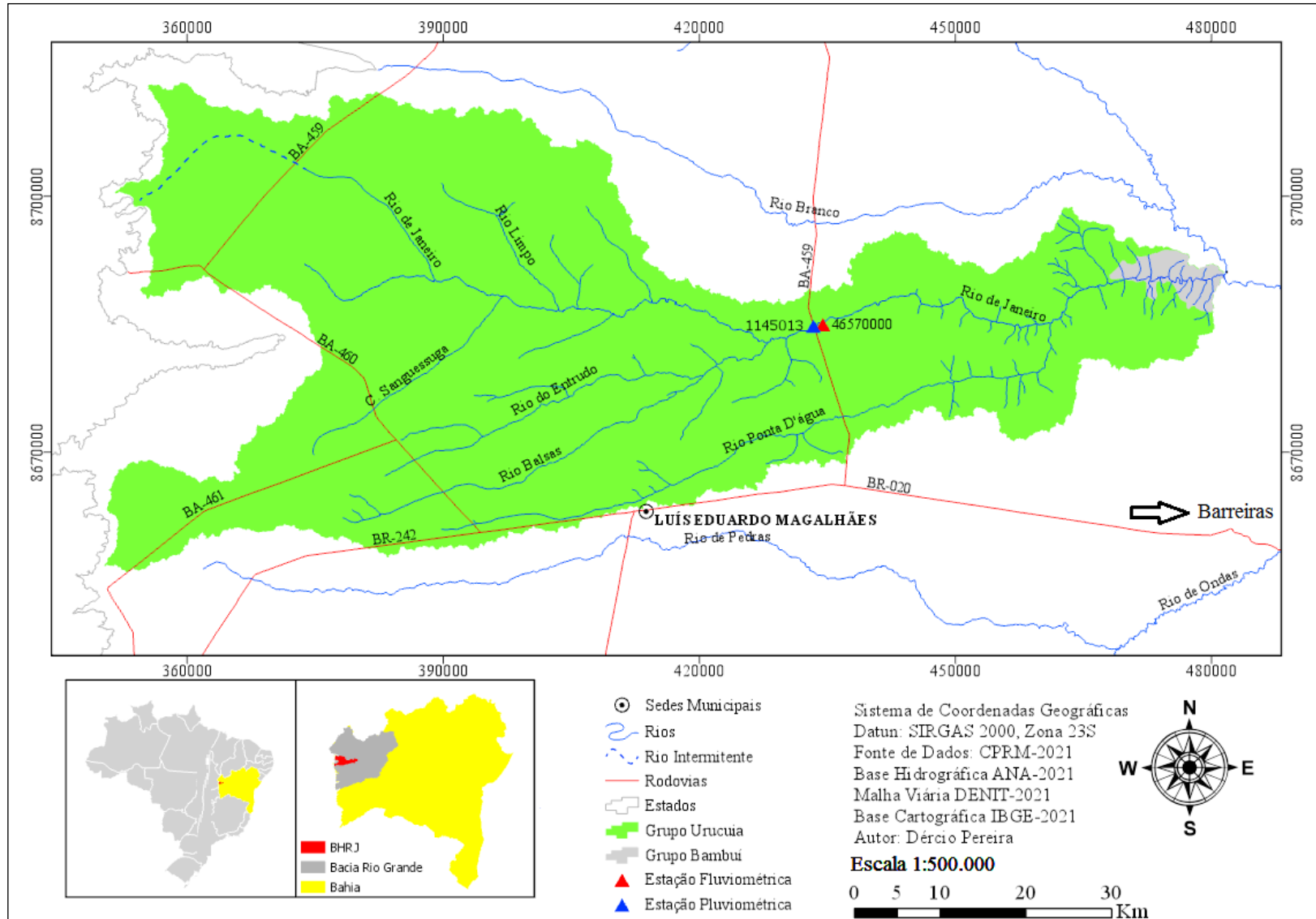
Segundo Feitosa & Feitosa (2008), o ponto de inflexão no hidrograma marca a separação de dois regimes na bacia; antes da inflexão, comandado pelo escoamento de superfície, e depois, pelo escoamento subterrâneo. Esse mecanismo de drenagem das águas subterrâneas é responsável pela perenidade dos rios, nos períodos secos ou de estiagem, denominado de escoamento ou fluxo de base.

Nos segmentos identificados como a recessão do hidrograma obteve-se a identificação das vazões inicial (Q_0) e final (Q) do período, que marcam o início e o fim do escoamento superficial na recessão, quando se admite que essa vazão é constituída exclusivamente pela contribuição do aquífero, conforme exemplificado no gráfico da Figura 3.

A partir da integração da Equação 7, entre os tempos inicial (t_0) e final (t) da recessão, obteve-se o volume total de águas subterrâneas restituído pelo aquífero (Equação 8), o qual em seguida é comparado com o volume de chuva anual.

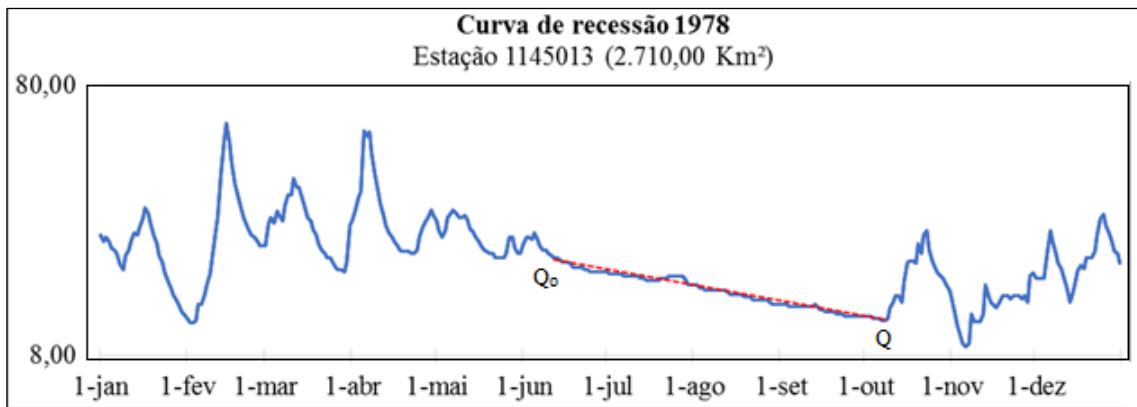
$$V = Q_0 \int_{t_0}^t e^{-\lambda t} dt \quad (\text{Equação 8})$$

Figura 3 - Mapa de localização das estações pluviométricas e fluviométricas, utilizadas para calcular a curva de recessão.



O gráfico da Figura 4 apresenta o comportamento da curva de recessão no ano de 1978, quando teve início o monitoramento do rio.

Figura 4 - Exemplo de hidrograma com identificação do período de recessão do ano de 1978, na estação Ponte Sefrafim-Montante na bacia hidrográfica do rio de Janeiro.



6. CONTEXTO FISIAGRÁFICO REGIONAL

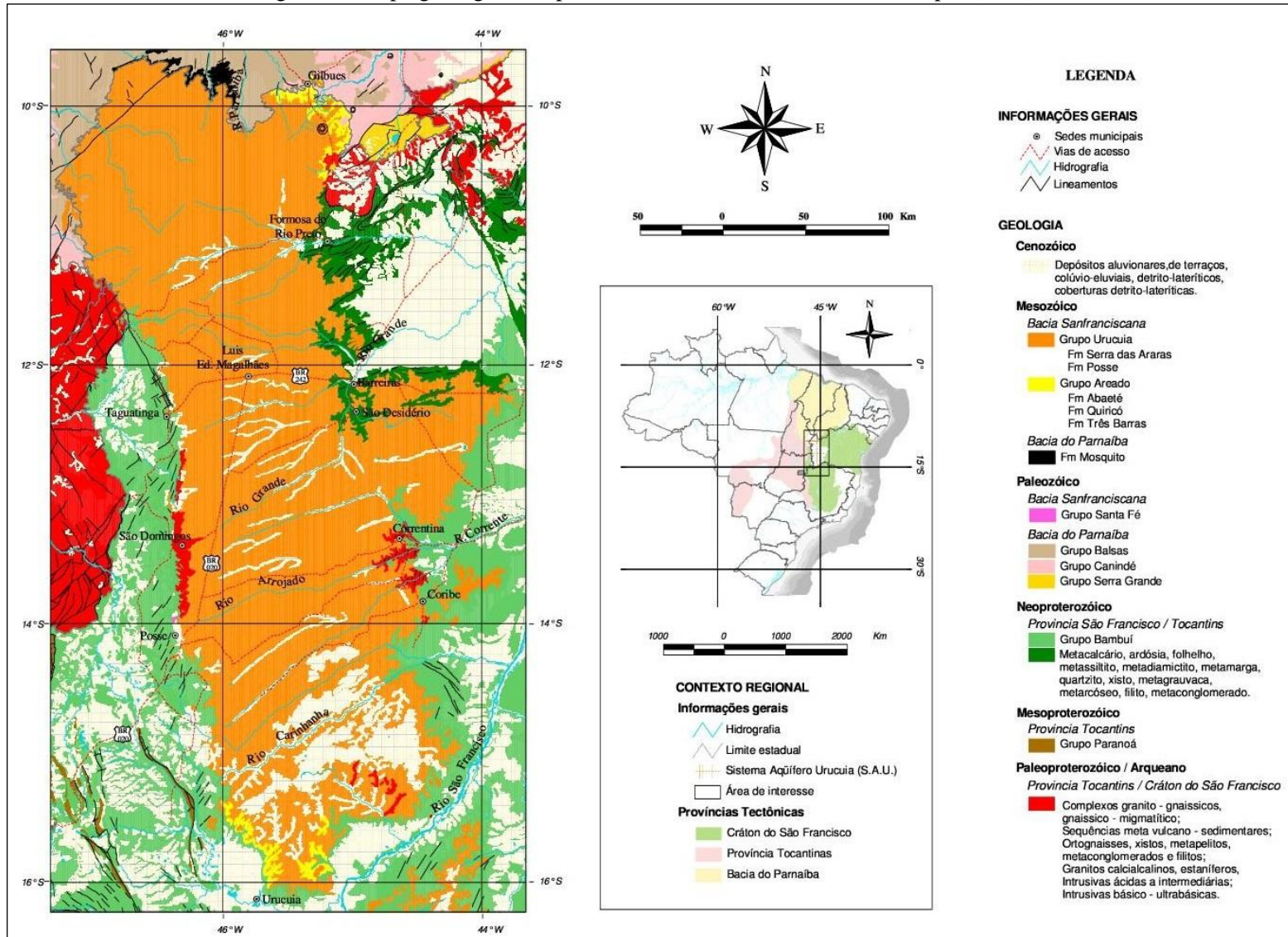
6.1. Geologia

A bacia hidrográfica do rio de Janeiro está inserida no contexto geológico da Bacia Sanfranciscana, representada pelas coberturas sedimentares fanerozoica do Cráton do São Francisco e suas unidades de embasamento (Figura 5).

De acordo com Campos & Dardenne (1997a) o embasamento da Bacia Sanfranciscana é composto em sua maioria pelas rochas do Grupo Bambuí. No extremo norte o embasamento é composto pelas rochas sedimentares paleozoicas da Bacia do Parnaíba. Na porção central da bacia afloram faixas de rochas xistosas, graníticas ou gnáissicas arqueanas/proterozoicas nas regiões de Coribe-Correntina/BA, São Domingos/GO e Dianópolis/TO, sendo atribuídas ao embasamento granito-gnáissico.

O Grupo Bambuí representa uma associação de litofácies siliciclásticas, químicas e bioquímicas, depositadas sobre uma extensa plataforma epicontinental. Dardenne (1978) identificou uma correlação litoestratigráfica com seis formações reconhecidas no Grupo Bambuí, da base para o topo às formações Jequitáí, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias.

Figura 5 - Mapa geológico simplificado da área de estudo. Fonte: Gaspar (2006).



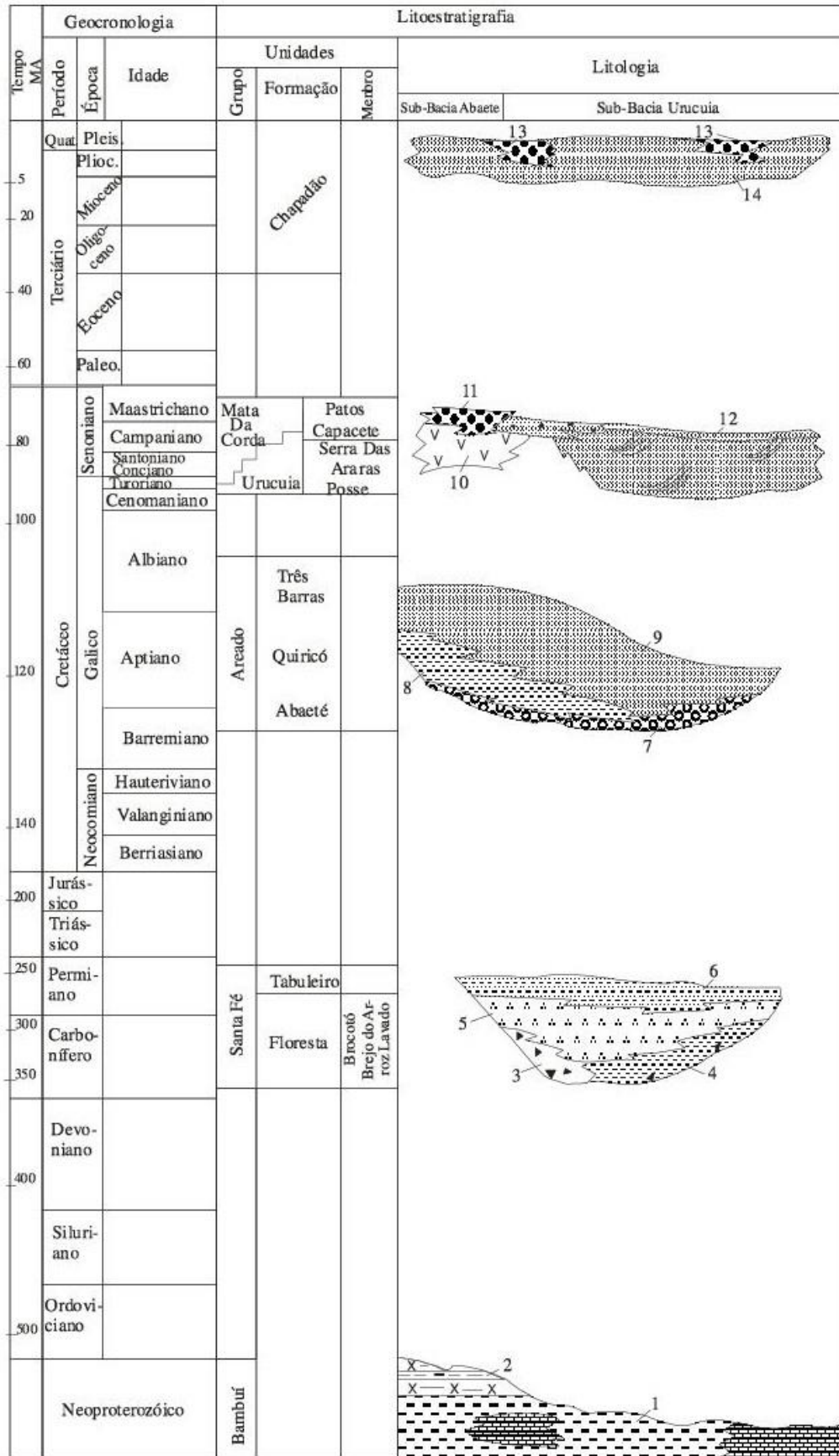
6.2. Estratigrafia

A litoestratigrafia da Bacia Sanfranciscana é representada por rochas do Grupo Santa Fé (Neopaleozoico) como a unidade basal, seguido do Grupo Areado (Eocretáceo), Grupo Mata da Corda (Neocretáceo), Grupo Urucuia (Neocretáceo) e a Formação Chapadão (coberturas recentes). Para este estudo adotou-se a coluna e divisão estratigráfica proposta por Campos & Dardenne (1997a) (Figura 6).

Destacam-se nesse contexto as rochas do Grupo Urucuia e da Formação Chapadão, por se tratar do arcabouço geológico de armazenamento das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Urucuia e de sua zona vadosa, respectivamente.

O arcabouço litoestratigráfico do Grupo Urucuia é composto pelas formações Posse, inferior, caracterizada por sucessão predominantemente arenosa, depositada por um sistema eólico-fluvial entrelaçado, e a Serra das Araras, superior, constituída por arenitos, argilitos e conglomerados depositados por sistema fluvial (CAMPOS; DARDENNE, 1997a).

Figura 6 - Coluna estratigráfica da Bacia Sanfranciscana. Fonte: Campos & Dardenne (1997a).



6.3. Grupo Urucuia – Cretáceo Superior

O Grupo Urucuia é a unidade de maior ocorrência em área na bacia, com ampla distribuição na parte norte da bacia Sanfranciscana. Nesse contexto está em contato direto sobre o embasamento regional do Grupo Bambuí; localmente recobre faixas granito-gnáissicas e unidades do Grupo Santa Fé.

Vários autores pesquisaram a espessura dos sedimentos do Urucuia. Segundo Campos & Dardenne (1997a) as espessuras variam de sul para norte de 25 metros e alcançando cerca de 200 metros no meio norte da bacia. Chang *et al.* (1992), utilizaram de dados sísmicos estimaram que no depocentro da bacia a espessura é da ordem de poucas centenas de metros. Já para Spigolon & Alvarenga, (2002) a espessura máxima é 400 m. Gaspar (2006) estimou a espessura dos arenitos do Grupo Urucuia entre 450 e 600 metros de espessura. Em 2013, a ANP encontrou uma espessura de 600 m a partir da perfuração de um poço estratigráfico (2-ANP-2-BA), que atingiu o embasamento cristalino em 840 metros. Segundo Gonçalves & Chang (2017) a espessura do SAU varia de 300 a 350 m; estudos da ANA (2017) estimaram 400 metros de espessura. E, mais recentemente, poços estratigráficos perfurados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) atravessaram as rochas do Grupo Urucuia em profundidades que variam entre 400 e 636 metros.

Estudos realizados recentes por Chang *et al.* (2015), o Grupo Urucuia de idade presumida neocretácea, que reúne espessos pacotes predominantemente arenosos, de origem flúvioeólica, cujas rochas-reservatório constituem o Sistema Aquífero Urucuia (SAU). Pela divisão estratigráfica proposta por Campos & Dardenne (1997a), a unidade basal, Formação Posse e a Formação Serra das Araras.

6.3.1. Formação Posse

Segundo proposta de Campos & Dardenne (1997a), a Formação Posse é subdividida nas Fácies 1 e 2. A Fácies 1 é constituída por arenitos muito finos, finos, médios, com boa maturidade textural e mineralógica, geralmente apresenta bom selecionamento. Geralmente ocorrem lentes e níveis de conglomerados médios a finos, com seixos do próprio arenito, quartzo de veio e quartzitos, em qualquer posição estratigráfica.

Uma cimentação silicosa frequentemente está associada a estes conglomerados. Esta fácies pode ser relacionada a um sistema eólico de campos de dunas, baseando nos estratos cruzados de grande porte, com planos de estratificação, boa seleção dos depósitos da fração areia fina e média, bimodalidade e ausência de matriz argilosa detrítica.

A Fácies 2 é composta por arenitos brancos, ocre, finos, argilosos ou não, bem selecionados e menos maduros do que a Fácies 1 e são classificados como arenitos feldspáticos e quartzo arenitos. São comuns as estratificações cruzadas tabulares e tangenciais de pequeno porte (até 30 cm) e mais raros os estratos plano-paralelos. Essas características sugerem a Fácies 2 como produto de um sistema fluvial entrelaçado e influência eólica no retrabalhamento dos sedimentos.

6.3.2. Formação Serra das Araras

Esta unidade é constituída por arenitos polimodais, silicificados, vermelhos e com níveis amarelados, argilitos, e conglomerados com coloração avermelhada, intercalados em bancos plano-paralelos com espessuras variando de 50 cm a 2 metros, com maturidade composicional e imaturidade textural.

São observadas estratificações cruzadas acanaladas de pequeno porte, sendo mais comuns os estratos plano-paralelos. Geralmente na base apresenta níveis de arenitos, sobreposto por conglomerados com níveis finos e grossos de até 50 cm. Na porção superior, ocorrem horizontes pelíticos de até 50 cm de coloração vermelha e geralmente muito oxidados.

Para Campos & Dardenne (1997a) esta formação representa uma sedimentação fluvial desenvolvida em amplas planícies, com grande variação do regime e carga dos fluxos. Os grãos esféricos e polidos, isolados no arcabouço dos arenitos ou flutuantes nos pelitos, evidenciando uma forte influência eólica.

6.4. Formação Chapadão – Cenozoico

A Formação Chapadão é representada pelos sedimentos arenosos cenozoicos que cobrem os planaltos e chapadas da Bacia Sanfranciscana (SGARBI *et al.*, 2001). No trabalho de Campos & Dardenne (1997a) esses sedimentos foram classificados como coberturas aluvionares, coluvionares e eluvionares. Seus afloramentos são observados em voçorocas, cortes de estradas e vales de drenagens distribuídas por toda a extensão da bacia.

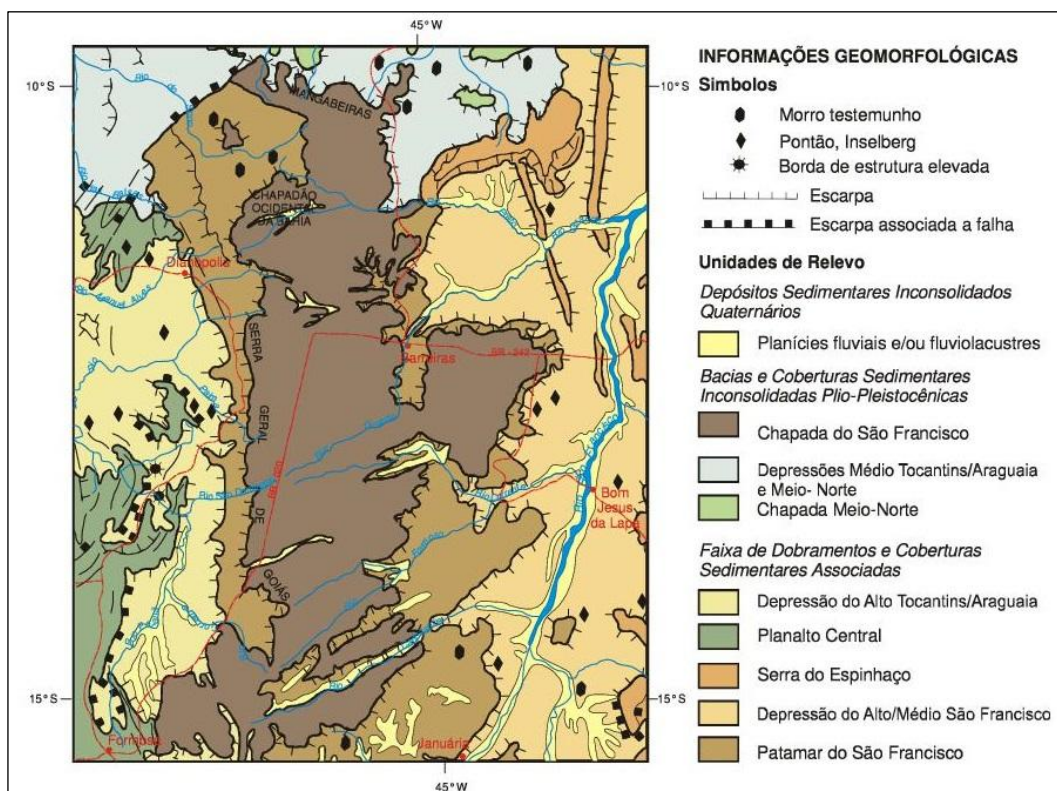
As coberturas aluvionares são compostas por sedimentos inconsolidados com cascalhos, areias e argilas/silte. Os cascalhos estão na base e constituídos por seixos de quartzitos e de arcósios e metassiltitos. Estes sedimentos podem ser caracterizados como resultante do retrabalhamento fluvial recente e estão associadas às planícies de inundações das maiores drenagens e com espessuras de até 10 metros.

Os sedimentos coluvionares são constituídos por areias vermelhas ou esbranquiçadas com até 30% de argila, composta por caulinitas expansíveis. Essas coberturas são resultantes de pequenos retrabalhamentos e da regressão de formas de relevo tabular elevado. As coberturas eluvionares correspondem às areias inconsolidadas, que se desenvolvem a partir dos arenitos pertencentes às diversas unidades fanerozoicas, depositados *in situ* ou pouco retrabalhados, com espessuras entre 20 a 30 metros. Estão sobre as chapadas com cotas superiores a 800 metros e são mais comuns sobre os arenitos do Grupo Urucuia.

6.5. Geomorfologia e Solos

A área de estudo apresenta-se num contexto geomorfológico de dois domínios morfoestruturais denominados "Bacias e Coberturas Sedimentares Inconsolidadas Plio-Pleistocênicas" e o da "Faixa de Dobramentos e Coberturas Sedimentares Associadas" (GASPAR, 2006). Está inserida no contexto do Chapadão Ocidental do São Francisco (Figura 7), também conhecida como Chapadão do Oeste Baiano.

Figura 7 - Mapa de unidades de relevo da área de estudo. Fonte: Gaspar (2006).



Destaca-se na região de estudo, os Patamares do Chapadão que limitam-se a oeste com o Chapadão Central e a leste com o Chapadão Ocidental do São Francisco, com altitudes médias em torno de 500 a 800 m. Em termos geomorfológicos, a unidade é caracterizada por formas de mesas com topos aplainados, com vertentes fortemente ravinadas.

São características da região as Veredas, áreas aluvionares. Muitas representam áreas de nascentes dos rios e riachos, estando sempre alagadas ou úmidas, com leito de fundo plano e ampla várzea. As Veredas são áreas que apresentam alta vulnerabilidade à erosão, devido ao risco de assoreamento causado pelas atividades de uso e ocupação do solo no seu entorno, podendo comprometer o seu deflúvio. Considerando os graus de vulnerabilidade e o nível de intensidade, a área apresenta uma vulnerabilidade baixa, com processos morfogênicos lentos e pouco perceptíveis, em que sua principal dinâmica é a infiltração da água. Os níveis de intensidade dos processos erosivos são poucos expressivos na bacia, visto que, ainda conserva as formas de relevo, com dissecação não muito evidente. Todavia, a atuação permanente do processo provoca a perda lenta dos elementos finos do solo.

As classes de solos que predominam na região são os Latossolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos e Areias Quartzosas (Neossolos Quartzarênicos), sendo os Latossolos predominantes, seguidos pelos Neossolos Quartzarênicos. Ocorrem em menores proporções os Gleissolos, Argissolos e Cambissolos (BAHIA, 1995). Nos interflúvios os solos desenvolvidos, são predominantemente arenoargilosos profundos, formando Latossolos Vermelho-Amarelos. Já nas planícies de inundação ocorrem os Gleissolos, de coloração cinza-escura a preta, resultantes da acumulação de materiais orgânicos e inorgânicos em áreas úmidas e superficialmente apresenta um solo tipo turfoso.

Gaspar *et al.* (2007) apresentaram os resultados dos ensaios de infiltração realizados nos solos da área de ocorrência do Sistema Aquífero Urucuia. A avaliação objetivou avaliar as condições de infiltração em diferentes profundidades desses solos com a utilização dos métodos de infiltrômetro de duplo anel e do tipo *open end hole*. Os resultados apontaram que os ensaios realizados nos Neossolos Quartzarênico e Latossolo Vermelho - Arenosos foram os que apresentaram as melhores condições de infiltração ao longo do perfil. Resultados mais recentes obtidos em ANA (2017) mostraram que os solos em área de cerrado, testados com Permeâmetro de Guelph e Infiltrômetro de Anel Duplo são mais permeáveis quando comparados com os solos de terras agrícolas.

Segundo Pereira *et al.* (2016), ocorrem na região processos erosivos subterrâneos chamados de *piping*, gerados pela infiltração e escoamento subterrâneo, formando galerias ou túneis em materiais incoesos (sedimentos, regolito), originando voçorocas e abatimentos do terreno (Fotos 1 e 2).

Foto 1 - Túnel em Latossolo causado causado pela erosão (*piping*) subterrânea.



Foto 2 - Processos erosivos (*piping*) na margem da BA-459, com abatimento do solo e gerando uma voçoroca que liga a vários túneis.



Para os autores, os mecanismos de formação do *piping* na região, ainda são poucos compreendidos, embora seja possível estabelecer uma relação entre o desenvolvimento dos dutos e a concentração de água subsuperficial. Para Figueiredo *et al.* (1999), a colapsividade desses solos demonstra que, apesar da grande proporção de argila, eles tendem a se comportar como solos com textura mais de silte e areia fina, em decorrência da agregação da fração argila.

Segundo Carvalho (2022), a rápida infiltração das águas das chuvas em latossolos de textura arenosa da Formação Chapadão resulta em fluxo lateral por entre as rochas silicificadas e impermeáveis da Formação Serra das Araras, erodindo os sedimentos e formando os tubos subterrâneos. O aumento do diâmetro dos tubos, segundo o autor, provoca o solapamento do teto até atingir a superfície do terreno, originando os abatimentos cuja interconexão dá origem as ravinas e voçorocas. Imagens da Fotografia 3 mostram a evolução junto a estrada da Fazenda Orquídea, de gerou uma erosão em sulco de quase um km de extensão por três metros de profundidade, destruindo completamente o leito da estrada. As imagens foram obtidas em 15/04/2019 após a germinação da soja.

Foto 3 - Imagens de Veículo Aéreo Não Tripulado (Vant – Drone) de abatimentos situados na Fazenda Orquídea. Fonte: Carvalho (2022).

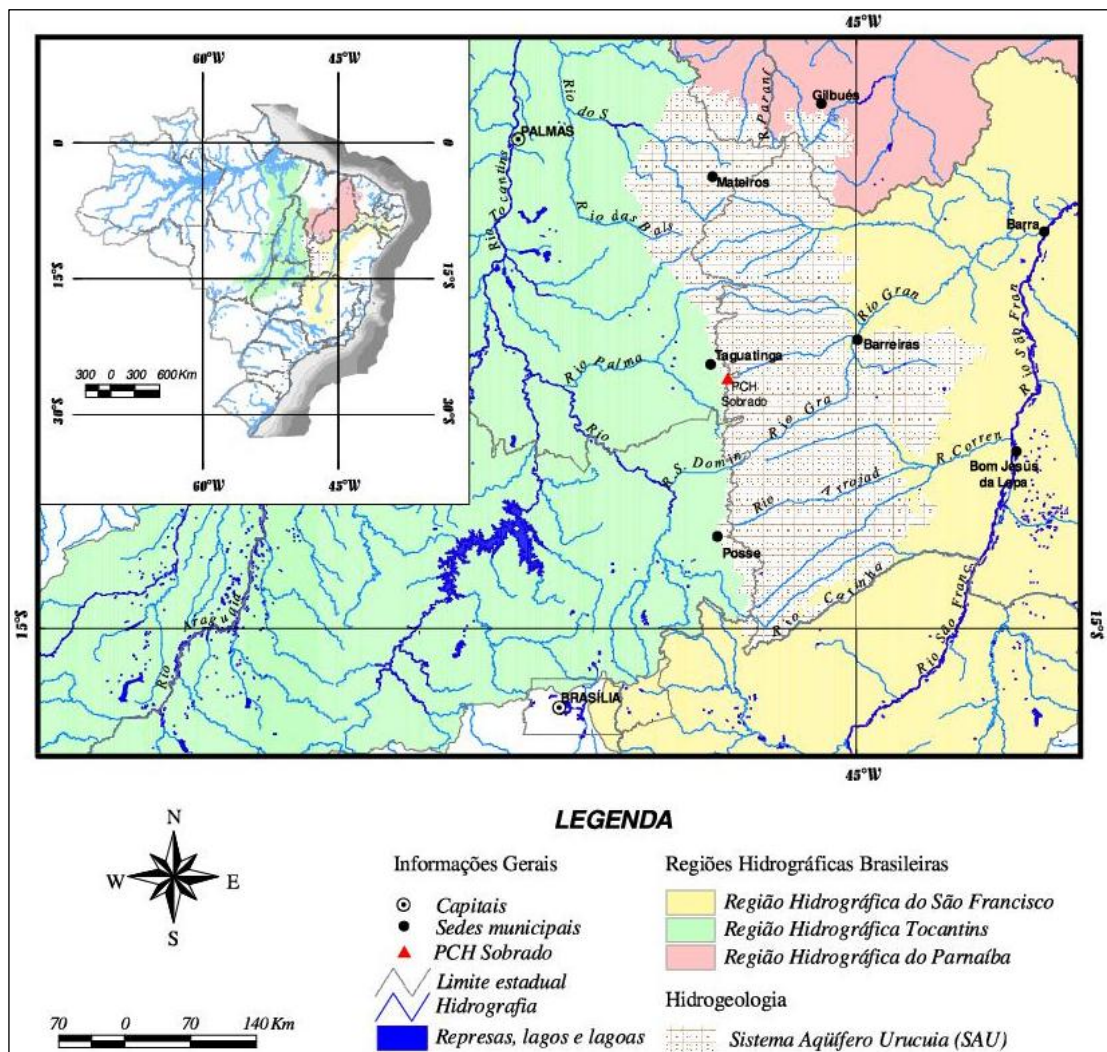


6.6. Hidrologia

Quanto à hidrologia no oeste baiano, os rios que drenam diretamente na área do SAU pertencem à região do Médio rio São Francisco. São rios perenes, em sua grande maioria, com destaque para os rios Grande e Corrente, que são responsáveis por 37,5% contribuição da

vazão que chega ao rio São Francisco no período de estiagem, equivalendo a cerca de 380 m³/s (RAMOS; SILVA, 2002). Campos (1996) atribuiu a baixa densidade de drenagem da região (0,1 a 0,2 km/km²) à alta capacidade de infiltração da cobertura dos solos e dos arenitos do Grupo Urucuia. Os principais afluentes da margem esquerda do Médio São Francisco são os rios Corrente, Grande e Carinhanha, que drenam diretamente a região do oeste baiano. Esses rios e seus afluentes menores configuram-se rios com extensas veredas, margens pouco assimétricas, sendo bastante utilizados em captações para utilização em projetos de irrigação com pivôs centrais (GASPAR, 2006). Este mesmo trabalho ainda descreve que a área de ocorrência do SAU localiza-se numa região de um importante divisor hidrográfico regional, onde inclui áreas drenadas pelas bacias hidrográficas do rio São Francisco, no seu curso médio, pela bacia do rio Tocantins, na região hidrográfica Tocantins e no alto curso da bacia do rio Parnaíba, região hidrográfica do Parnaíba, limite norte (Figura 8).

Figura 8 - Rede de drenagem principal da região do oeste baiano. Margem esquerda do médio São Francisco. Fonte: Gaspar (2006).



As rochas e solos com cobertura vegetal, com maior porosidade e permeabilidade, são mais propensos à infiltração, reduzindo a quantidade do escoamento superficial, e, conseqüentemente, diminuindo a densidade de drenagem de uma determinada região, como por exemplo, a área do SAU constituída por Latossolos com textura arenosa que facilitam a infiltração e diminuem a densidade de drenagem da área de estudo.

Carvalho *et al.* (2007) destacam que a densidade de drenagem indica o grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem. A densidade de drenagem pode revelar o grau de disponibilidade hídrica de uma região (MANOEL, 2016).

A drenagem superficial da região tem direção principal de oeste para leste, com deflúvio principal total no rio São Francisco. Exibe um padrão de drenagem paralelo a subparalelo, condicionado pela geometria do fraturamento de direção N45-65E. Esse padrão é provavelmente relacionado à reativação de fraturas existentes e bem representada no Grupo Bambuí (N50-60E), com reflexos no Grupo Urucuia (BRASIL, 1982; CAMPOS, 1996). Já nos seus tributários o padrão de drenagem é retangular, causado por um fraturamento secundário, de direção aproximadamente NW-SE. Já os rios da parte nordeste do Chapadão Central, próximo das sedes municipais de Barreiras e São Desidério (BA), apresentam direção preferencial NE-SW. Nesta região, quando deságuam nos rios Grande e São Desidério, estes formam um eixo receptor de águas de direção NW-SE, em decorrência de uma falha (BRASIL, 1982).

Em ANA (2017) a relação Q_{90}/Q_{50} foi utilizada de forma expedita para avaliar o quanto a água subterrânea representa na vazão média medida nos postos fluviométricos. Das estações da parte norte, a relação Q_{90}/Q_{50} apresentou um valor médio de 0,73, para o período de dados de 1975-2005. As estações que mostraram os valores mais promissores de contribuição subterrânea foram a Formosa do Rio Preto (0,82), no rio Preto (afluente do Grande); e Lagoa das Pedras (0,78), no rio Carinhanha.

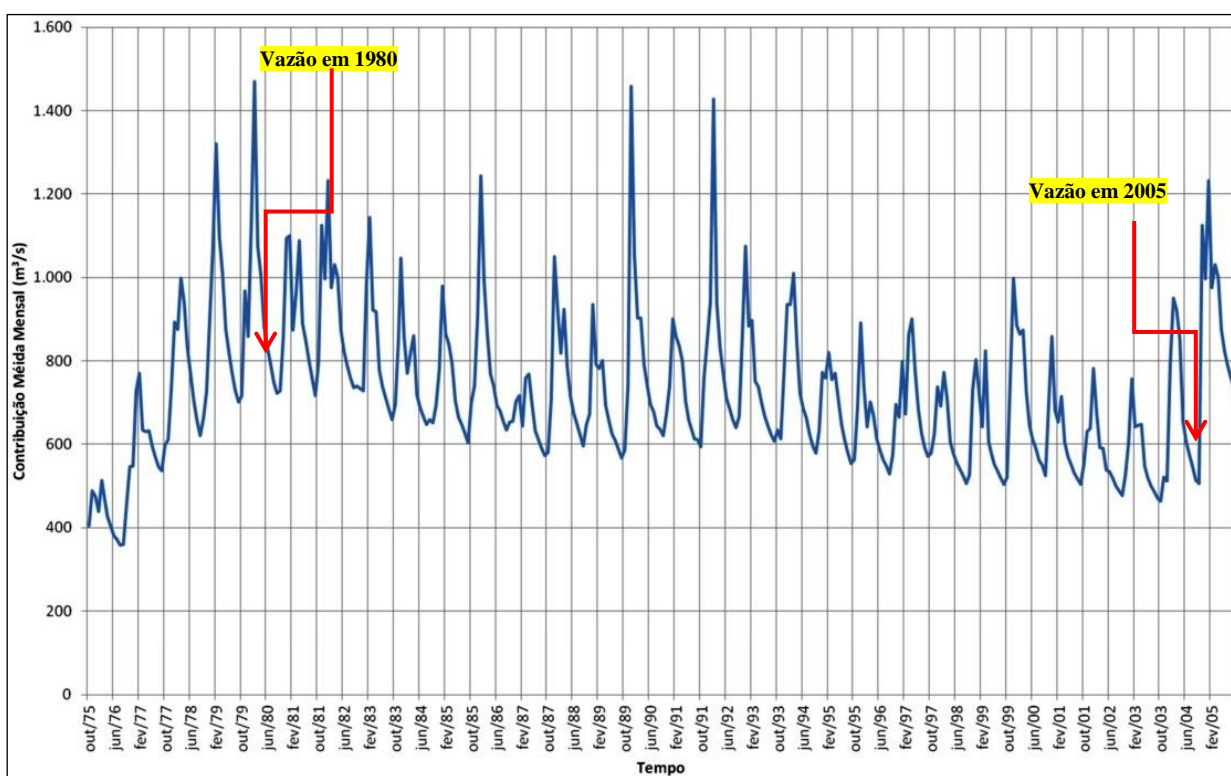
No que tange à relação entre a vazão de base média anual das sub-bacias avaliadas e a precipitação média anual, o mesmo estudo apontou variações entre 14% e 28%, com destaque para a sub-bacia do rio Carinhanha, parte sul da área do SAU (posto Lagoa das Pedras), para a qual resultou o maior valor. Obteve-se assim, uma contribuição total das seis sub-bacias para a bacia do rio São Francisco de 566,3 m³/s para o período analisado entre 1975 e 2005.

Os estudos realizados pela ANA (2017) também constataram uma tendência de diminuição gradativa da vazão de base, iniciada a partir dos anos de 1978 a 1980. Essa redução de vazão foi atribuída principalmente à diminuição da precipitação, seguida de outros fatores que podem estar associados, como o comprometimento da capacidade de infiltração dos solos utilizados nas atividades agropecuárias nas áreas de recarga do oeste baiano.

A diminuição da infiltração da água da chuva tem como consequências, uma redução na recarga dos aquíferos, influenciando nas vazões que fluem dos aquíferos para os rios.

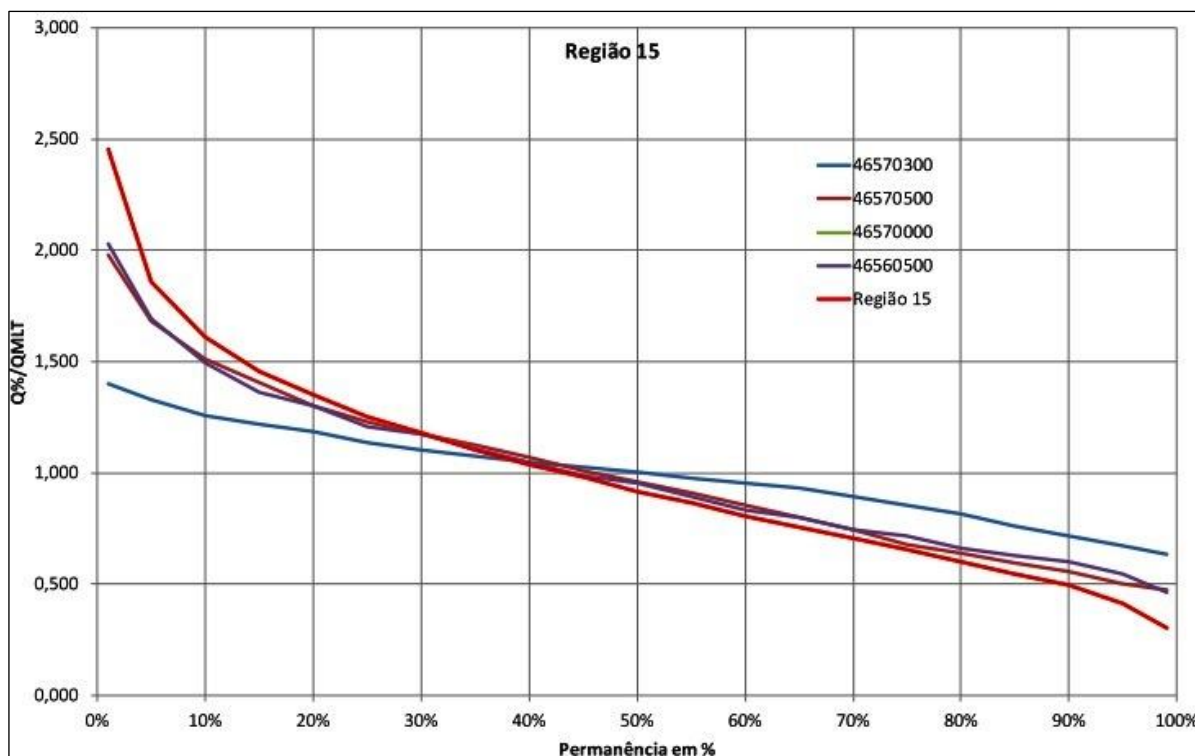
Conforme pode ser observado no Gráfico 3, há um decréscimo contínuo da contribuição dos aquíferos para o rio de 800 m³/s em 1980 para 600 m³/s em 2005, acompanhando o padrão da variação da precipitação pluviométrica.

Gráfico 3 - Contribuição do SAU para a bacia do rio São Francisco – vazões médias mensais - período 01/10/1975 a 30/10/2005. Fonte: ANA (2017).



Estudos da CPRM (2019) identificaram regiões hidrológicas homogêneas do Sistema Aquífero Urucua, a partir da avaliação das curvas de permanência parametrizadas pela vazão média de longo termo (Q_{mlt}), com a separação do escoamento superficial do escoamento de base. Foram identificadas 22 regiões homogêneas, sendo que a curva de permanência da região 15 refere-se à bacia do rio Janeiro, obtida pela estação 46570000 (Gráfico 4).

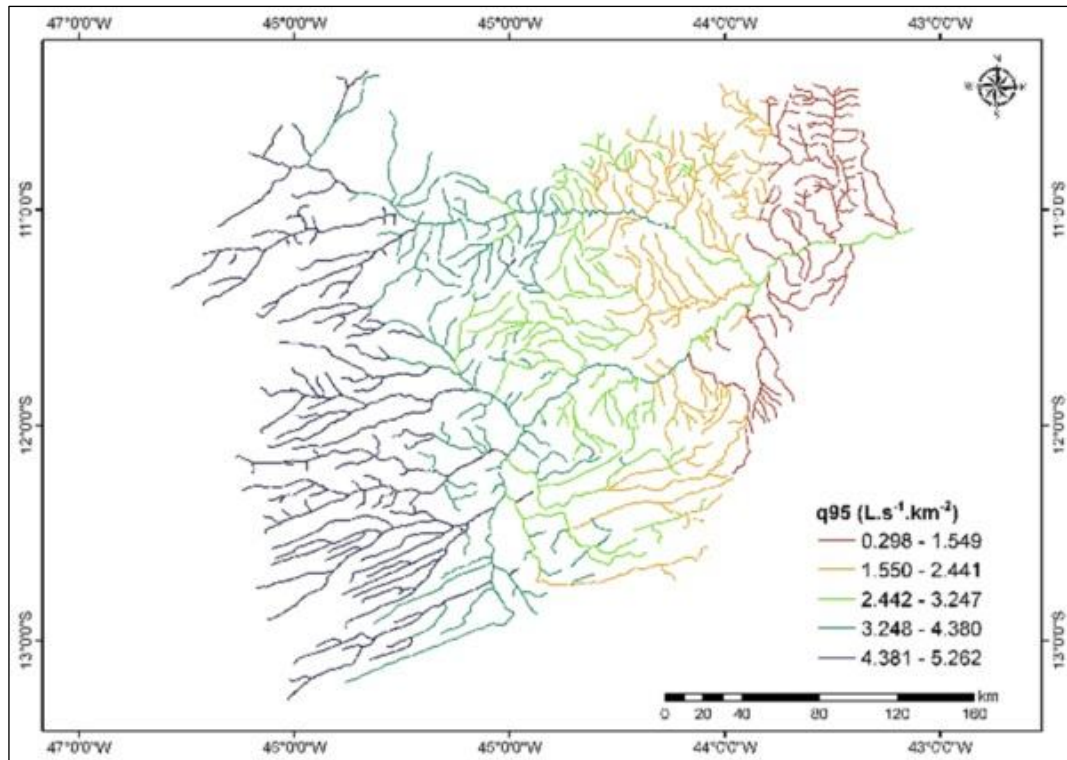
Gráfico 4 - Curvas de Permanência das bacias hidrográficas dos rios Limpo, Balsas e Ponta D'Água.
Fonte: CPRM (2019).



Nos cursos d'água da bacia do rio Grande, a razão entre a vazão média mensal mínima e máxima é da ordem de 1,4 a 2,6. Para a região do SAU é considerada pequena e consiste num indicador da capacidade de armazenamento do aquífero sedimentar na manutenção das vazões de base dos cursos d'água, evidenciando que há uma regularização natural das vazões. Nos estudos de Mantovani *et al.* (2019), por sua vez, a definição de regiões hidrologicamente homogêneas para regionalização de vazões na bacia do rio Grande foi realizada para o período de 1977 a 2015 (Figura 9), pelo método de Ward.

Para a bacia do rio Grande foi adotada uma única região homogênea e a relação dos valores de vazão média e a Q_{90} , foi superior a 2,0.

Figura 9 - Regionalização de vazão por segmentos da bacia do rio Grande a partir da Q_{95} , com base na vazão específica. Fonte: Mantovani *et al.* (2019).



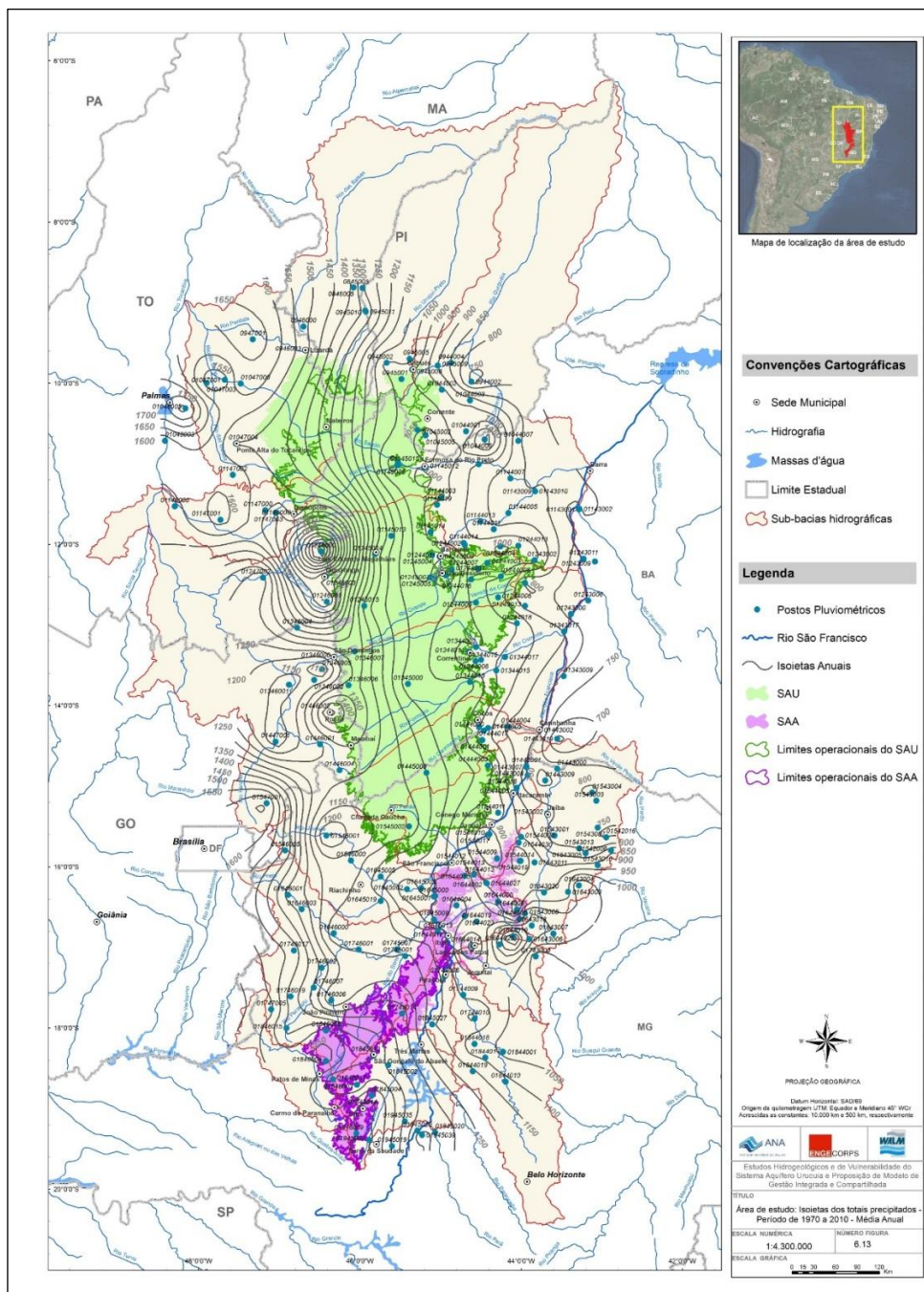
6.7. Aspectos Climatológicos

Segundo a classificação climática de Köppen, a área ocupada pela porção central do Sistema Aquífero Urucuia (SAU) nos afluentes do rio São Francisco, é em grande parte do tipo Tropical Úmido, caracterizado pela estação seca no inverno e amplitude térmica mensal menor que $5^{\circ}C$ (A_{wi}) (ANA, 2017).

A região apresenta uma grande diversidade climática, com variação do tropical semiárido ao úmido. A pluviometria é bastante heterogênea, com regiões onde as chuvas podem atingir até 2.000 mm por ano e outras não chegam a 800 mm, sendo característicos os períodos de seca (MANTOVANI *et al.*, 2019). Segundo Moreira & Silva (2010) a temperatura média anual na bacia é de $24,3^{\circ}C$, e temperatura média mensal nos meses mais quentes de $25,9^{\circ}C$, ocorrendo nos meses de setembro e outubro, sendo julho o mês mais frio com temperatura igual a $22,2^{\circ}C$, representando uma diferença de apenas 14,28% em relação ao período de temperaturas mais elevadas. Para Gaspar (2006) a precipitação média mensal na região é bastante irregular, com concentração dos maiores volumes nos meses de outubro a abril.

No período chuvoso as maiores médias mensais alcançam cerca de 200 a 250 mm, enquanto na seca a altura pluviométrica é quase zero. As isoietas anuais exibem um alinhamento aproximadamente na direção Norte-Sul (Figura 10), cujo valor máximo é da ordem de 2.000 mm na parte oeste da área e decrescem de oeste para leste, passando de um total precipitado anual da ordem de 1.200 mm, e chega à ordem de 800 mm sobre o trecho baiano em direção a calha do rio São Francisco (ANA, 2017).

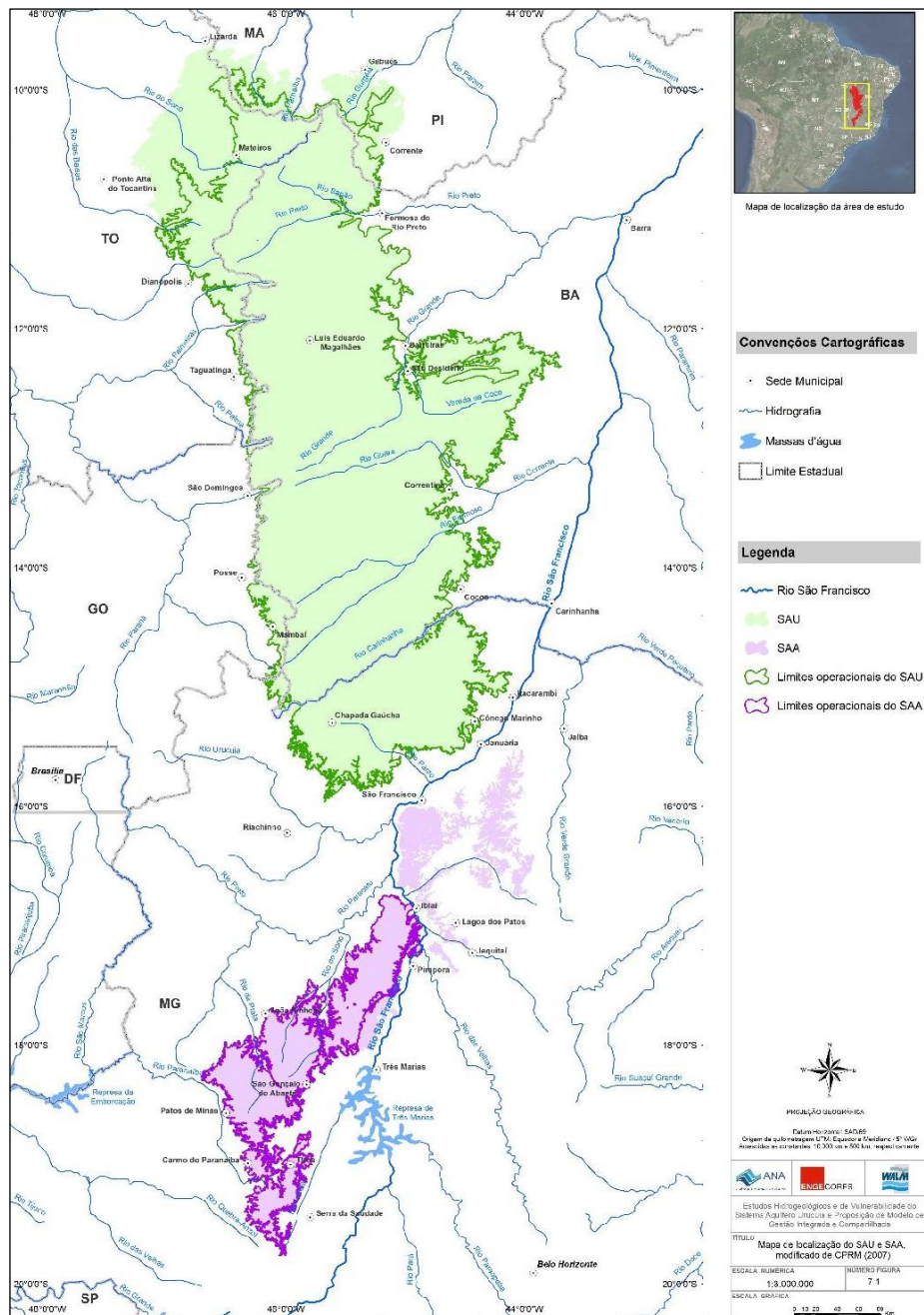
Figura 10 - Mapa de isoietas da região do SAU no período de 1970 a 2010. Fonte: ANA (2017).



6.8. Hidrogeologia

A região do oeste da Bahia está enquadrada na Província Hidrogeológica São Francisco, composta pelos sistemas aquíferos Urucuaia, Bambuí e Cristalino Centro (GASPAR, 2006). Segundo descrito pela autora, o SAU limita-se a norte com o extremo sul dos estados do Maranhão e Piauí, numa região de ocorrência de três importantes sistemas aquíferos; o Cabeças, Serra Grande e Poti-Piauí, que compõem a Província Hidrogeológica Parnaíba. Na Figura 11 é possível observar a localização do Sistema Aquífero Urucuaia e seus limites com os principais sistemas aquíferos.

Figura 11 - Contexto geográfico do Sistema Aquífero Urucuaia. Fonte: ANA (2017).



Gaspar (2006) foi uma das primeiras a caracterizar o SAU regionalmente. Estudos de autores precedentes, como Mente (2000) e Brasil (1998), classificavam o Aquífero Urucuia como uma área de potencial hidrogeológico restrito, baseados em informações da morfologia de tabuleiro elevado, sendo a espessura restrita das camadas e seria um dos fatores limitantes a exploração do aquífero, caracterizando como um reservatório de espessura restrita e indicando apenas um meio transmissor de água para os calcários subjacentes do sistema cárstico-fissural. Entretanto, estudos realizados por Schuster *et al.* (2002) e Souza (2003) apresentaram poços com vazões superiores a 500 m³/h, com vazões específicas da ordem de 23 m³/h/m, atribuíram ao Sistema Aquífero Urucuia um grande potencial hidrogeológico.

Segundo Gaspar (2006) a área de abrangência do sistema aquífero Urucuia é menor que a de ocorrência das rochas do Grupo Urucuia, visto que o termo aquífero refere-se somente ao pacote sedimentar com funções armazenadora, reguladora e filtro. Afirma ainda, que a área efetiva do sistema aquífero se estende por cerca de 76.000 km² na região do oeste da Bahia e sudeste do Tocantins.

Nos estudos mais recentes realizados no Aquífero Urucuia, realizado por Mantovani *et al.* (2019), os testes de bombeamento executados indicaram uma condutividade hidráulica horizontal variando na ordem de 10⁻⁴ a 10⁻⁵ m/s. A Tabela 3 apresenta os parâmetros encontrados para o aquífero Urucuia, nos trabalhos realizados na bacia em estudo e em outras sub-bacias do rio Grande.

Tabela 3: Parâmetros hidrodinâmicos compilados de diversos autores estudiosos do SAU, onde T é a transmissividade, K é o coeficiente de permeabilidade e S é o coeficiente de armazenamento.

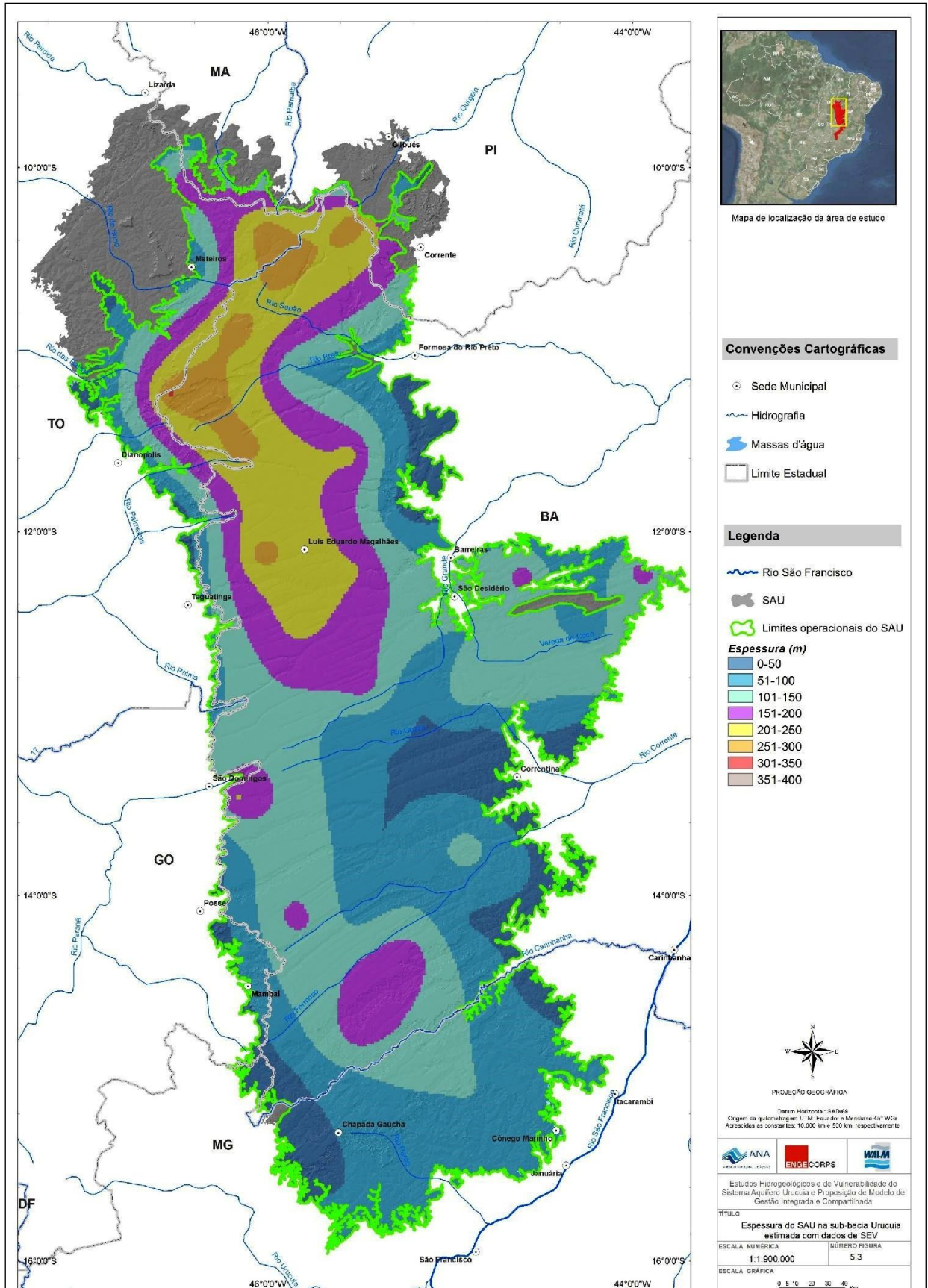
Autores	T (m²/s)	K (m/s)	S	Bacia
Schuster <i>et al.</i> (2002)	1,61 · 10 ⁻⁴	1,00 · 10 ⁻⁴	2,6 · 10 ⁻⁴	Rio Ponta D'Água
Nascimento (2003)	1,52 · 10 ⁻²	4,05 · 10 ⁻³	7,5 · 10 ⁻⁴	Rio das Fêmeas
Schuster (2003)	1,61 · 10 ⁻²	-	2,74 · 10 ⁻⁴	Rio de Janeiro
	2,03 · 10 ⁻²	-	5,39 · 10 ⁻⁴	
Rodrigues <i>et al.</i> (2009)	1,5 · 10 ⁻²	3,3 · 10 ⁻⁴	9,38 · 10 ⁻⁶	Urucuia
Luz <i>et al.</i> (2009)	1,698 · 10 ⁻³	6,355 · 10 ⁻³	4,458 · 10 ⁻¹	Urucuia
Mantovani <i>et al.</i> (2019)	10 ⁻²	10 ⁻⁴	10 ⁻³	Urucuia

A CPRM (2019) descreve o Aquífero Urucuia como um aquífero sedimentar poroso de grande potencial, localizado no oeste do estado da Bahia e com uma grande interação entre as águas superficiais e subterrâneas na região. Em função desta interação e por ser um reservatório de grande potencial subterrâneo, contribui significativamente para a manutenção das vazões do rio São Francisco, no período seco. Quanto à espessura das rochas do Grupo Urucuia, existem várias divergências sobre o seu real valor. Dados indiretos da espessura foram obtidos a partir da utilização de diversos métodos geofísicos e dados diretos com base em informações de poços estratigráficos perfurados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Investigações geofísicas realizadas por Lima (2000) na bacia do rio dos Cachorros, sub-bacia do rio de Janeiro, chegaram a uma faixa de espessura entre 180 e 400 metros. Amorim Jr (2003) e Amorim Jr & Lima (2007) indicaram uma espessura de 450 metros na bacia do rio das Fêmeas (Sub-bacia do rio Grande). Tschiedel (2004), utilizando dados de sondagem eletromagnética no domínio do tempo (TDEM), encontrou espessuras do Grupo Urucuia variando entre 300 e 720 metros. Gaspar (2006) estimou a espessura dos arenitos do Grupo Urucuia entre 50 e 100 metros, na parte leste, na parte oeste, atingiu mais de 450 metros, já na porção sul mais de 600 metros de espessura. Utilizando dados elétricos e gravimétricos, a CPRM & UFBA (2007) estimaram uma espessura de 275 metros.

Nos estudos da ANA (2017) a estimativa da espessura das rochas do Grupo Urucuia foi obtida de forma indireta, a partir de levantamentos geofísicos pelo método de eletrorresistividade, em que se obtiveram espessuras da ordem de 15 metros na porção leste e 400 m na porção noroeste da área (Figura 12). Dados diretos da espessura das rochas do Grupo Urucuia foram obtidos a partir da perfuração de poços estratigráficos na região do oeste baiano. Em 2013, a ANP perfurou um poço que atravessou todo o pacote rochoso do Urucuia atingindo o embasamento cristalino em 840 metros. Nessa perfuração foi encontrada uma espessura de 600 metros para as rochas do Grupo Urucuia. Além deste, foram perfurados três poços estratigráficos pela CPRM nos municípios de Correntina – BA (2900026499), construído em 2013 no povoado de Treviso, apresentando uma profundidade do Urucuia de 512 metros; o poço 5200010457 perfurado em 2014 no assentamento Paraná, em Mambaí – GO apresentou uma profundidade de 410,81 metros; e o poço 5200030416 construído em 2015 no povoado de Coaceral, em Formosa do Rio Preto – BA, que apresentou uma profundidade 636 metros.

Figura 12 - Espessura estimada do SAU das rochas do Grupo Uruçuia, no oeste baiano, com base em dados geofísicos. Fonte: ANA (2017).



Diversos autores estudaram a espessura do Grupo Urucuia, utilizando técnicas de investigação distintas, encontrando valores de espessuras variando de sul para norte, mas as espessuras apresentando valores próximos entre os diversos autores (Tabela 4).

Tabela 4: Espessura do Sistema Aquífero Urucuia, encontrado por diversos autores.

Autor	Ano	Espessura (m)
Campos & Dardenne	1997a	200
Lima	2000	180 - 400
Spigolon & Alvarenga	2002	400
Amorim Jr	2003	450
Tschiedel	2004	300 - 720
Gaspar	2006	450 - 600
Amorim Jr & Lima	2007	450
CPRM & UFBA	2007	275
SIAGAS/CPRM	2014	410 - 636
ANA	2017	400

Os trabalhos de Amorim (2003), Gaspar (2006), CPRM (2012) e ANA (2017) destacam a presença de um eixo longitudinal divisor do fluxo subterrâneo no limite oeste do SAU (Figura 13), que separa o sentido do fluxo regional do sistema para leste e para Oeste. Segundo Gaspar & Campos (2007), a presença do eixo divisor de fluxo subterrâneo atribui a esse sistema aquífero uma assimetria entre as bacias hidrográfica e hidrogeológica.

A profundidade do nível de água subterrânea varia entre 2,1 e 159,8 m, sendo as maiores profundidades no extremo oeste, próximo à escarpa da Serra Geral de Goiás, à oeste do divisor de fluxo (ANA, 2017). Nessa região Gaspar (2006) identificou no cadastro de poços a presença de poços profundos secos (> 200 m), nos quais não se alcançou o nível estático do aquífero. Já no extremo leste do SAU - região entre São Desidério e Correntina, Gaspar (2006) mostrou que os poços perfurados pela CERB exibem perfis litológicos com espessuras de arenitos do Grupo Urucuia da ordem de 20, 30 e 50 metros (Figura 14), e observou ainda que as entradas de água apresentadas nos perfis dos poços são em profundidades exclusivas de ocorrências das rochas do Grupo Bambuí. Nesta situação, os arenitos do Grupo Urucuia subjacentes aos calcários nos perfis não armazenam águas subterrâneas em seus poros, desempenhando um papel na recarga dos sistemas aquíferos Bambuí e Cristalino.

Figura 13 - Mapa do eixo divisor de fluxo subterrâneo proposto para o SAU. Fonte: ANA (2017).

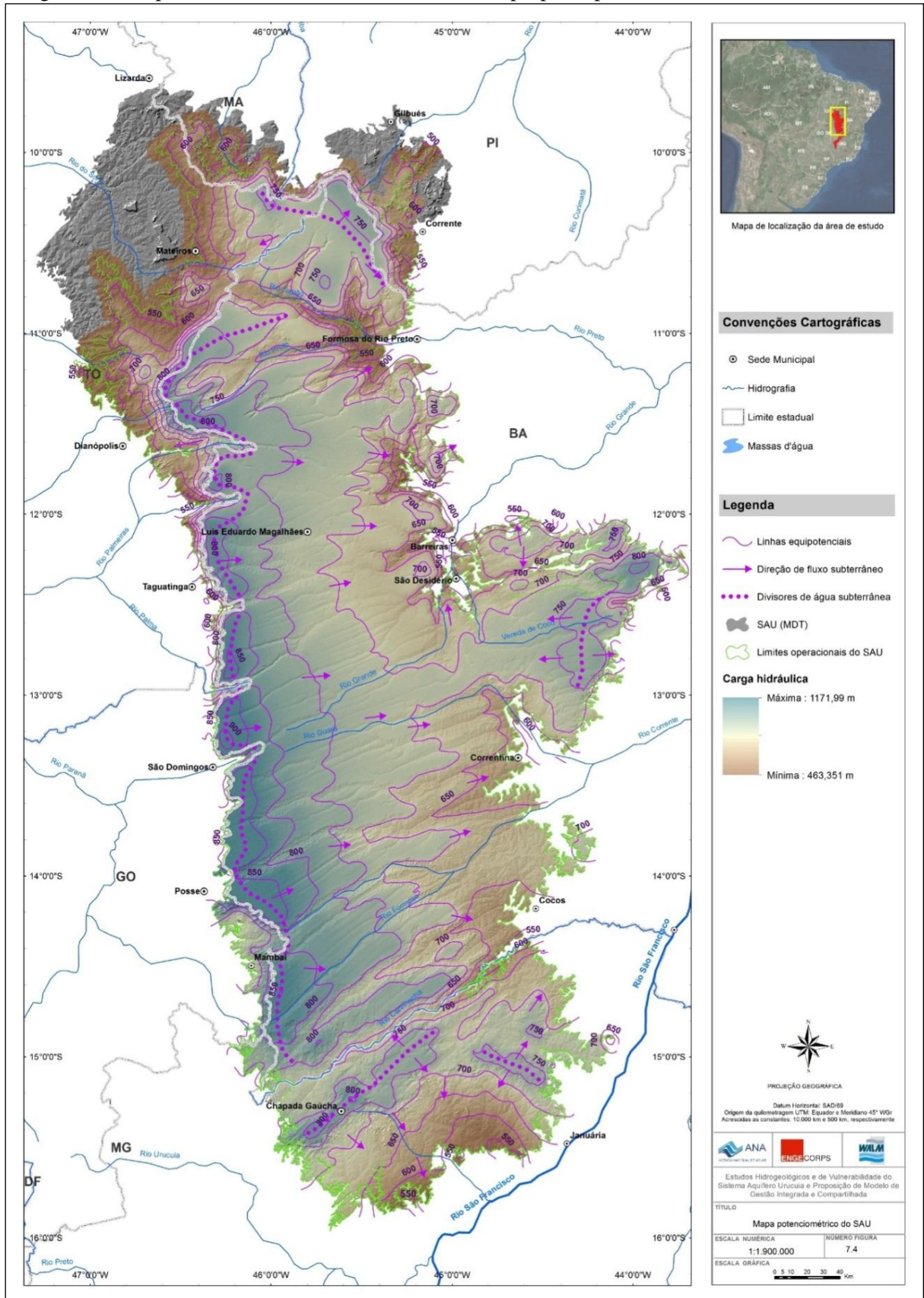
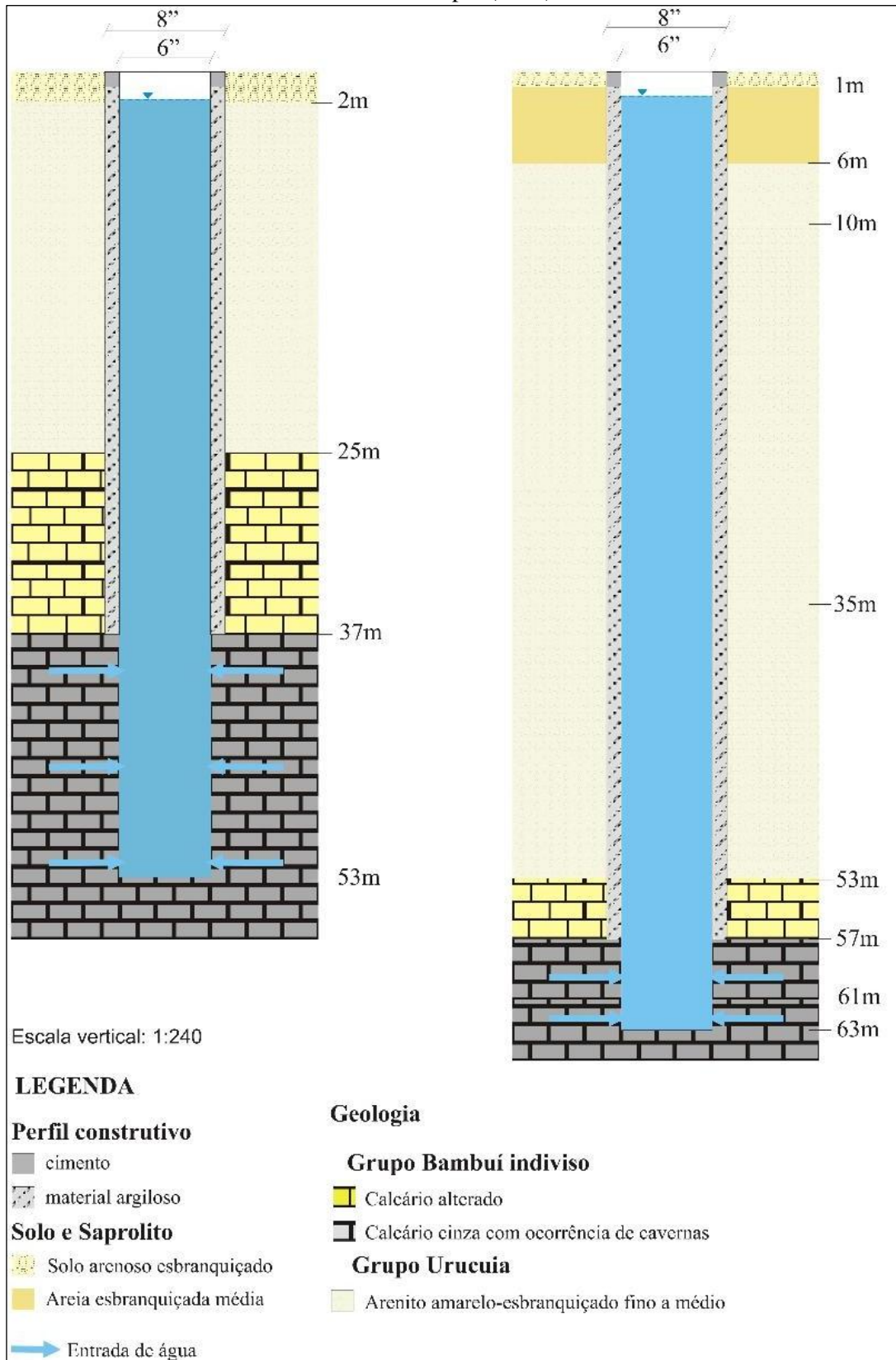


Figura 14 - Poços representativos da presença de arenitos do Grupo Urucuia sobre sistema Bambuí.
 Fonte: Gaspar (2006).



6.9. Balanço Hídrico

No balanço hídrico calculado para o Sistema Aquífero Urucua pela ANA (2017), levou-se em consideração a assimetria entre a bacia hidrográfica e a hidrogeológica e tomou-se como referência a área de contribuição da vazão de base a partir do divisor hidrogeológico, com utilização de seis postos fluviométricos. Segundo constatado no estudo houve uma redução do escoamento subterrâneo nas seis estações fluviométricas estudadas no período histórico avaliado (1975-2005). Sendo o efeito climático o principal causa dessa diminuição, uma vez que efeitos locais de extração de água não deveriam retratar iguais tendências em diferentes bacias.

Gonçalves *et al.* (2016) também constataram na bacia do rio Grande que a taxa de diminuição do fluxo de base é mais precisa do que a queda da pluviometria para o período analisado (1977 a 2013). Segundo os autores o comportamento desses ciclos pode estar sofrendo influência direta, não somente do regime natural de chuvas, mas também de efeitos antrópicos, como exploração de águas subterrâneas, captação de águas superficiais, represamento, irrigação e compactação do solo nas áreas de recarga.

6.10. Avaliação da Recarga do SAU

A ANA (2017) definiu a área de recarga do SAU, como toda área exposta das rochas que constituem o SAU capaz de permitir a infiltração direta de águas pluviais. As condições de infiltração requerem que a zona não saturada tenha permeabilidade suficiente para permitir o fluxo descendente das águas precipitadas, de modo a alcançar a zona saturada do aquífero. Segundo esse estudo, um critério físico adequado para definir as áreas deve-se basear na declividade do terreno, em que áreas com baixa declividade topográfica conseguem reter águas pluviais por mais tempo e facilitar a infiltração no terreno, ao contrário das áreas com declividade alta que favorecem o escoamento superficial.

Nesse estudo definiu-se como critério para delimitação das áreas de recarga no SAU declividades de até 2%. As áreas de descarga foram distinguidas pelas declividades do terreno maiores do que 2% e menores do que 2% quando associadas a cursos de águas superficiais. Já a quantificação da recarga baseou-se no conceito adotado no Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos (ANA, 2013), segundo o qual a recarga do aquífero é estimada nos dados de entrada (precipitação e coeficiente de infiltração), resultando na Recarga Potencial Direta (RPD), a qual obteve a estimativa de valor de 767 m³/s ou 24,19 km³/ano.

Gaspar (2006) delimitou a área de recarga do SAU (55.000 km²), considerando na área de ocorrência do aquífero, aquelas situadas em áreas de chapada, com relevo plano, onde ocorrem os espessos latossolos. A autora apontou ainda regiões onde a recarga está comprometida pela compactação devido ao manejo dos solos em áreas agricultáveis, com base em imagens de satélites do ano de 2000.

6.11. Reservas

As reservas hídricas dos aquíferos representam uma estimativa da quantidade de água armazenada em seus poros, condutos ou fraturas. Podem ser divididas em reservas reguladoras e permanentes. A reserva reguladora ou sazonal corresponde ao volume que efetivamente infiltra e é armazenado nos aquíferos anualmente, enquanto a reserva permanente representa o volume armazenado no aquífero abaixo do nível de oscilação sazonal.

As estimativas de reservas hídricas do sistema aquífero Urucuia realizadas por Gaspar (2006) consideraram uma área efetiva de 76×10^9 m². Para o cálculo do volume armazenado sob pressão foi utilizada uma área de confinamento do aquífero de $11,33 \times 10^9$ m² e para o cálculo da reserva permanente utilizou-se uma área de $6,46 \times 10^9$ m², utilizando uma porosidade efetiva média de 15% para as rochas do Grupo Urucuia. As estimativas das reservas em ANA (2017) basearam-se no cálculo do volume rochoso saturado do SAU, a partir da utilização dos mapas potenciométrico e de contorno estrutural do embasamento, preparados em ambiente SIG.

Para os limites do sistema aquífero foram utilizados os limites das áreas operacionais estabelecidos no estudo. Considerando uma porosidade efetiva média de 14% para os sedimentos do SAU, encontrando um total das reservas hídricas (reservas reguladoras + reservas permanentes) de aproximadamente 1.352 km³ de água. Subtraindo à reserva reguladora, a reserva permanente calculada foi de aproximadamente de 1.328 km³.

Nas estimativas realizadas para a reserva permanente do SAU, Gaspar (2006) encontrou um total de cerca de $3,77 \times 10^{12}$ m³. Para a reserva reguladora o valor foi de $38,78 \times 10^9$ m³/ano. As reservas de exploração ou exploráveis, que representa uma quantidade máxima de água que poderia ser explorada de um aquífero, sem prejuízos para os rios. Em seus estudos Gaspar (2006) calculou a reserva explorável do SAU em $4,0778 \times 10^{11}$ m³.

6.12. Disponibilidade

Os estudos da ANA (2017) estimaram um valor de 4,84 km³/ano da Reserva Potencial Explotável, correspondente à disponibilidade hídrica subterrânea total do SAU, segundo o método apresentado em ANA (2013), adotando-se um coeficiente de sustentabilidade de 0,2 para o aquífero. Este valor é recomendado pelo estudo para ser efetivamente adotado como a quantidade de água subterrânea disponível para uso no SAU, considerando a sustentabilidade rio/aquífero. Nos aquíferos livres, com transmissividade elevada, como no caso do SAU, onde a vazão de base representa parcela significativa do escoamento superficial, é sugerido que o coeficiente de sustentabilidade (Cs) seja de 0,2 de forma a manter inicialmente, pelo menos 80% do escoamento de base disponível como vazão superficial. Essa parcela terá que comportar o volume outorgável superficial e a vazão remanescente, onde devem estar inclusos a vazão ambiental (ecológica) e o volume a ser entregue a outros rios estaduais e/ou federais estabelecidos nos marcos regulatórios (ANA, 2017).

7. RESULTADOS

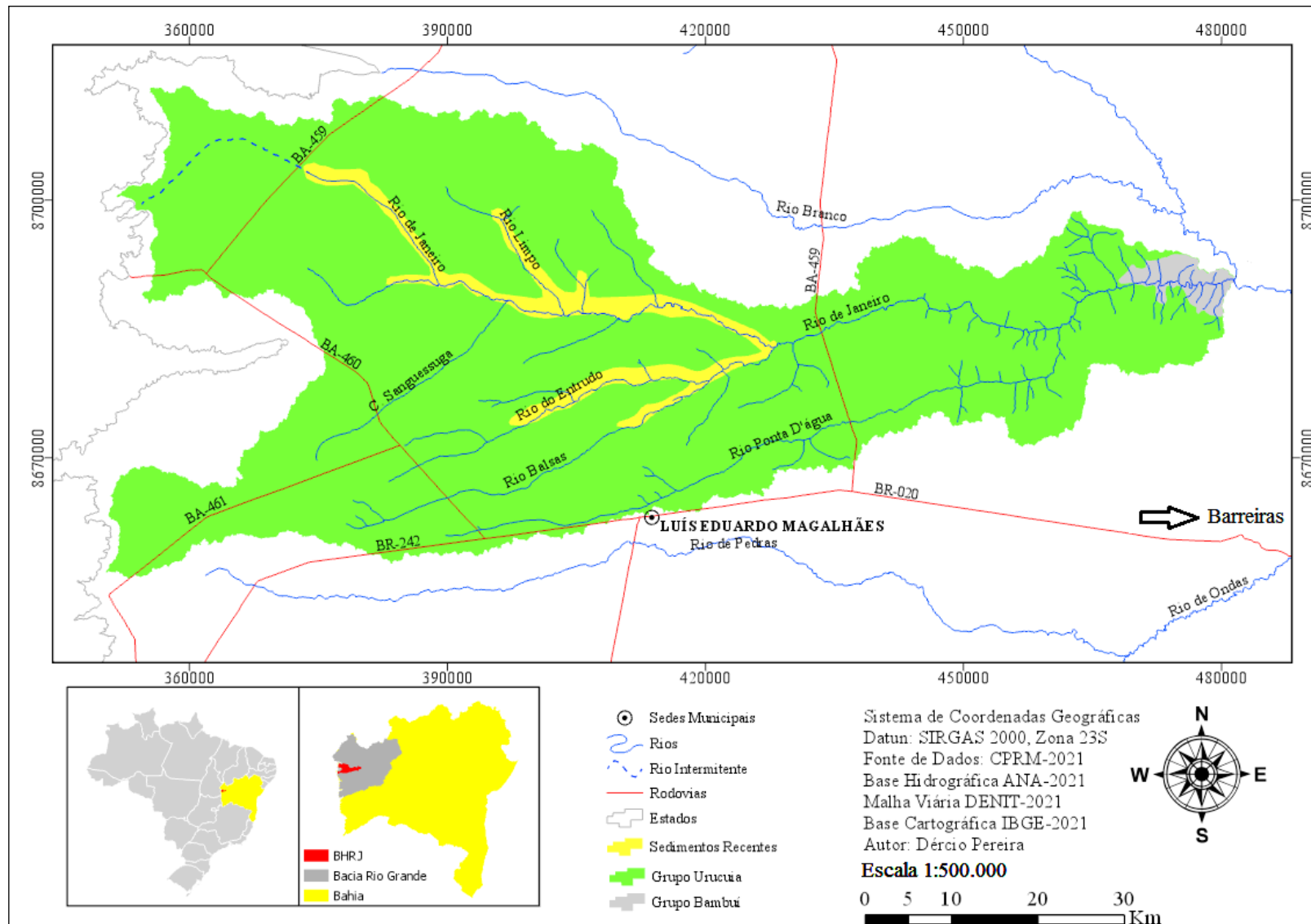
Neste capítulo são apresentados os resultados alcançados nesta pesquisa, incluindo a caracterização geral da bacia, os cálculos executados para a estimativa da disponibilidade hídrica subterrânea na bacia do rio de Janeiro. Para alcançar os resultados do estudo, foram realizadas análises da precipitação para calcular a recarga direta do aquífero na bacia, como também foram analisados dados de monitoramento do nível da água subterrânea para observar o rebaixamento do nível da água, e as curvas de recessões para entender a relação rio/aquífero.

7.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

7.1.1 Geologia

A bacia hidrográfica do rio de Janeiro está inserida no contexto geológico da Bacia Sanfranciscana, representada pelas coberturas sedimentares fanerozoicas do Cráton do São Francisco e unidades de embasamento. Na região os afloramentos de rochas são escassos devido à cobertura de solos, sendo encontrados alguns no leito do rio de Janeiro, como aquele localizado na Fazenda Vale do Urso. As rochas do Grupo Urucuaia podem ser observadas na parte oeste da bacia, na divisa entre os estados da Bahia e Tocantins, nas escarpas da Serra de Goiás e a leste, após a ponte sobre o rio na rodovia BA-459, até o seu contato com as rochas do embasamento formado pelo Grupo Bambuí próximo a Cachoeira do Redondo, onde podem ser observados os afloramentos rochosos do Grupo Urucuaia (Figura 15).

Figura 15 - Mapa geológico da área de estudo mostrando a predominância do Grupo Urucuiá na bacia e afloramentos do Grupo Bambuí próximo a foz do rio.



A geologia da região é bastante homogênea, tendo os arenitos do Grupo Urucuaia como a unidade de maior ocorrência na bacia. Na área, afloram os arenitos da Formação Serra das Araras, que está sobreposta aos sedimentos da Formação Posse.

A Formação Serra das Araras caracteriza-se pela presença de arenitos brancos, amarelados e avermelhados, argilitos e conglomerados intercalados distribuídos; enquanto a Formação Posse é constituída predominantemente por arenitos quartzosos, avermelhados e brancos, de granulação fina a média, com grãos arredondados, bem selecionados.

A geologia da região de estudo é representada por dois grupos geológicos, na base representada pelo Grupo Bambuí, e no topo o Grupo Urucuaia. Na área afloram as Formações Serra da Mamona e Riachão das Neves, como representantes do Grupo Bambuí.

Os afloramentos das rochas do Grupo Urucuaia são observados com maior frequência a partir da Cachoeira do Acaba Vida, onde são encontrados os arenitos em camadas planas paralelas (Fotografias 4).

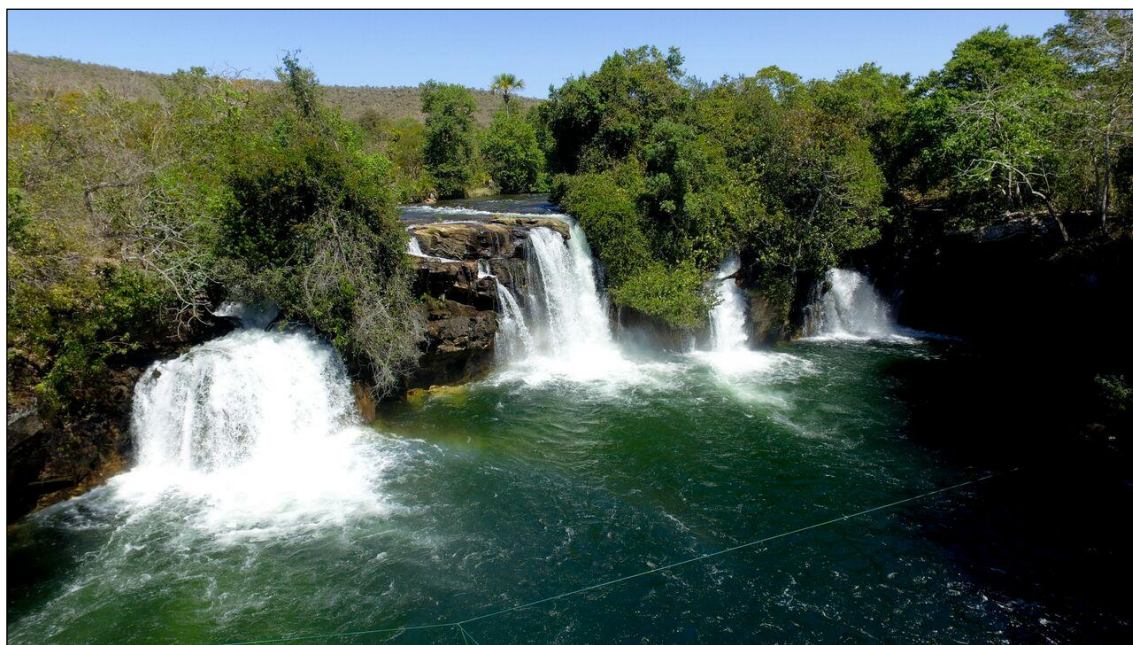
Foto 4 - Cachoeira do Acaba Vida, com uma queda de aproximadamente 70 metros. Fonte: INEMA – BA, (2022).



A Formação Chapadão, por sua vez, é composta pelos sedimentos arenosos cenozoicos que ocorrem distribuídos ao longo das calhas das principais redes drenagens e estendendo-se pelas planícies de inundação. São constituídos principalmente de areias, cascalhos, silte e argila, de coloração cinza escuro a cinza claro, resultantes do retrabalhamento fluvial recente.

A jusante da Cachoeira do Redondo (Fotografia 5), em alguns pontos é possível observar afloramento das rochas do Grupo Bambuí.

Foto 5 - Cachoeira do Redondo, próximo ao contato com as rochas do Grupo Bambuí. Fonte: INEMA – BA, (2022).



7.1.2 Solos

A classe de solo predominante é o Latossolo, que ocupa praticamente toda área. São solos permeáveis e porosos, o que facilita a drenagem da água. Localizam-se nas partes mais planas da bacia, sendo que nestas áreas estão instalados os grandes projetos agrícolas, com uma intensa mecanização dos solos favorecida pela pouca declividade do terreno (Fotos 6 e 7).

Na parte mais a oeste da bacia, a partir da Fazenda Barcelona, ao longo da rodovia BA-459, são observados colapsos do solo, tanto nas áreas mecanizadas quanto nas áreas de cerrado. Estes colapsos vão interligando entre si formando grandes canais, que progridem formando grandes voçorocas e que avançam durante as chuvas e causam destruição à áreas plantadas em função do colapso de suas margens colocando em risco as atividades de

mecanização. Existem relatos que durante a mecanização do solo nestas áreas ocorreram acidentes com máquinas agrícolas, devido à presença dos dutos/túneis no terreno.

Foto 6 - Área de Latossolo Vermelho preparado para o plantio, entre os rios de Janeiro e Ponta D'Água, as margens da rodovia BA-459.



Foto 7 - Vista de área de Latossolo Amarelo pronto para o plantio, ass margens da rodovia BA-459.



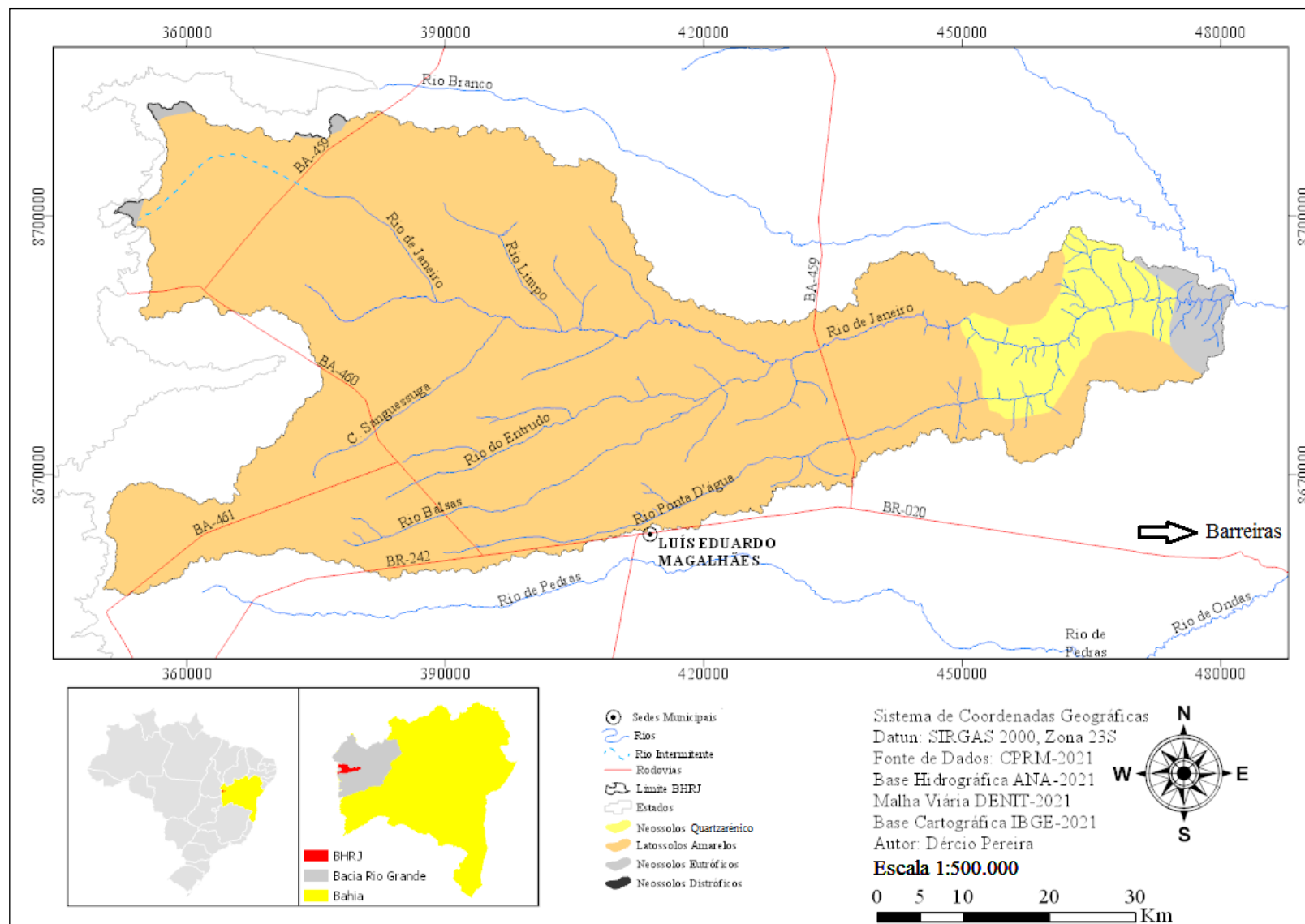
Os Neossolos Quartzarênicos são poucos expressivos na bacia (Foto 8). Ocupam áreas planas ligeiramente rebaixadas da chapada, em geral próximas às drenagens. São constituídos predominantemente por quartzo.

Foto 8 - Área de Neossolo Quartzarênico pronto para o plantio, as margens da rodovia BA-459.



O mapa da Figura 16 mostra a predominância dos latossolos na bacia, onde estão localizados os grandes empreendimentos para a prática de uma agricultura moderna.

Figura 16 - Mapa de classes de solos presentes na bacia do rio de Janeiro.



7.1.1. Hidrologia

O rio de Janeiro é o principal afluente da bacia hidrográfica do rio Branco, que deságua no rio Grande, um dos mais importantes afluentes da margem esquerda da bacia hidrográfica do rio São Francisco. A bacia hidrográfica do rio de Janeiro (BHRJ) está contida nos municípios de Barreiras e Luís Eduardo Magalhães, importante região agropecuária do oeste baiano. É o principal rio da bacia, percorrendo uma extensão de 179,1 km, desde a divisa do Estado da Bahia com o Tocantins até desaguar no rio Branco.

Possui um padrão de drenagem paralelo na maior parte da bacia, contudo no trecho baixo observa-se um padrão dendrítico de drenagem, visivelmente controlado pela geologia da bacia. Apresenta baixa densidade de drenagem ($0,22 \text{ km/km}^2$) e, segundo Campos (1996), essa baixa densidade é atribuída a alta capacidade de infiltração da cobertura de solo e dos arenitos do Grupo Urucuia, conforme padrão geral apresentado na área de ocorrência do Sistema Aquífero Urucuia, tipificando uma área com predominância da infiltração em detrimento da drenagem superficial. Caracterizada por um relevo de planalto, seguindo em direção as depressões que caracterizam o relevo próximo ao seu encontro com o rio Branco.

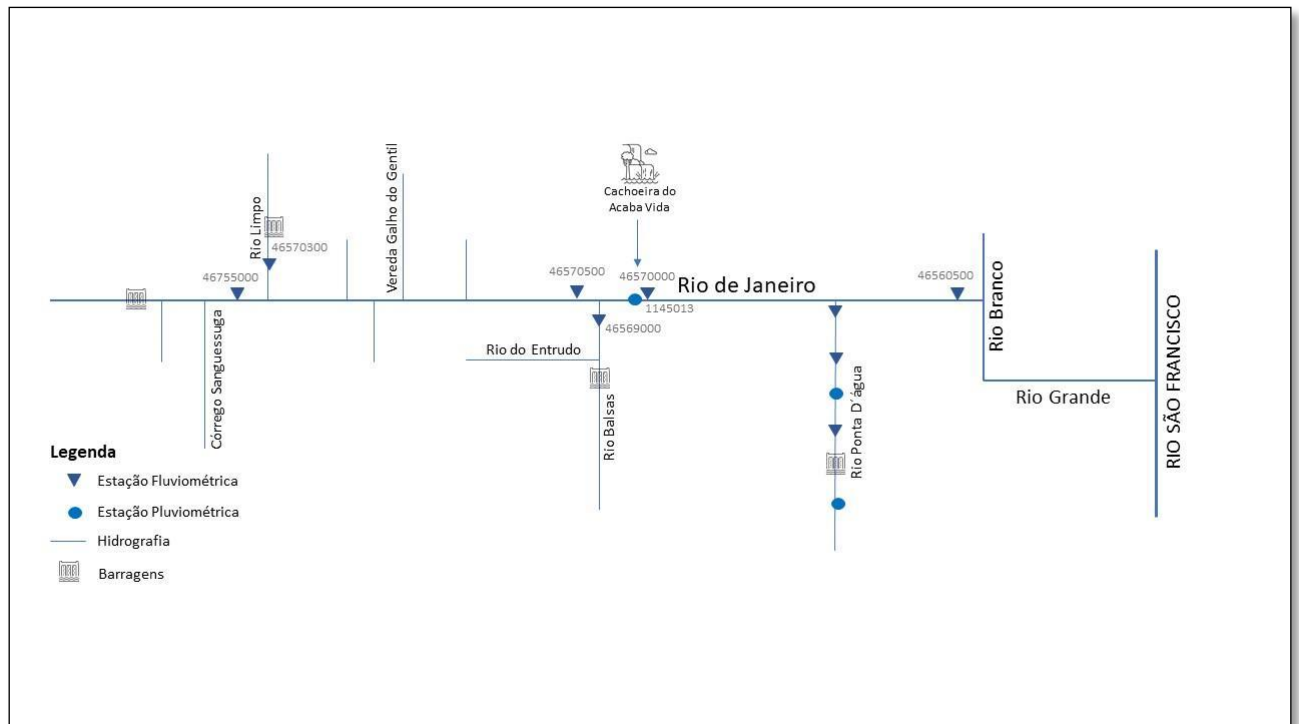
À jusante da Cachoeira do Acaba Vida, o relevo muda de plano para um mais íngreme formando escarpas, observa-se que o rio de Janeiro corre em um pequeno cânion formando um vale. A Foto 9 mudança do relevo quando o rio aproxima da foz com o rio Branco.

Foto 9 - Vista área do curso do rio de Janeiro próximo a sua foz. Fonte: INEMA – BA, (2022).



A BHRJ é formada na sua margem direita pelos seguintes afluentes: o córrego Sanguessuga, rios Balsas e Ponta D'Água ou rio dos Cachorros. Esses rios e seus afluentes menores exibem extensas veredas, sendo atualmente pouco utilizados para captações superficiais de projetos de irrigação. Na margem esquerda destacam-se o rio Limpo e o Vereda Galho do Gentil (Figura 17).

Figura 17 - Gráfico unifilar de drenagem da bacia do rio de Janeiro.

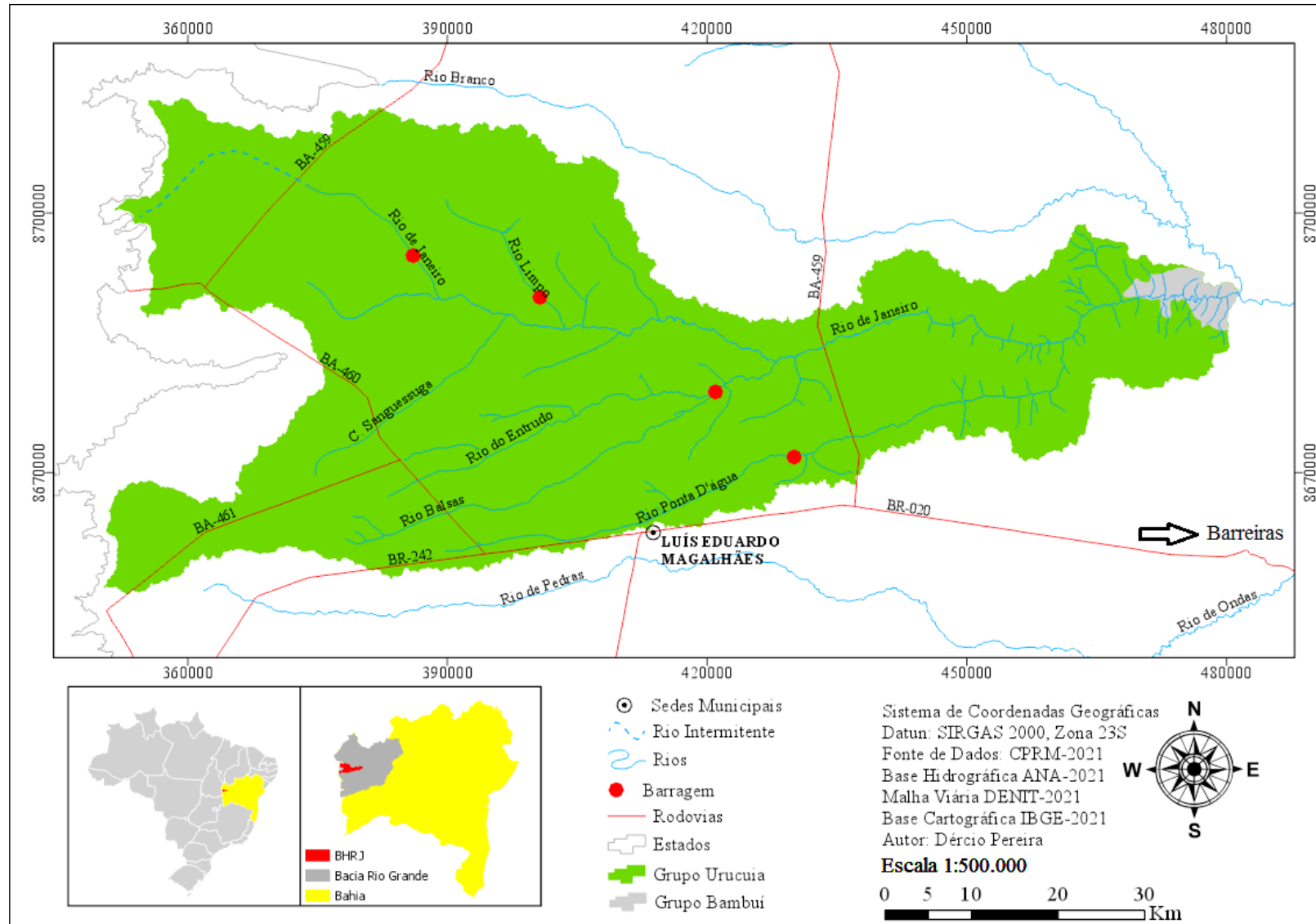


Ao longo dos anos a nascente do rio de Janeiro teve um recuo de 23,75 km com afloramento as margens da rodovia BA-459 próxima a fazenda Rozo. Caracterizada por um relevo de planalto, seguindo em direção as depressões que caracterizam o relevo próximo ao seu encontro com o rio Branco.

Um dos principais cursos d'água do alto rio de Janeiro, o rio Limpo com pouca vazão está localizado na Fazenda Campo Aberto. Esse curso d'água nasce e deságua no rio de Janeiro na área desta fazenda.

Com a finalidade de acumular água para irrigação via pivô central, foram construídas barragens nos principais afluentes do rio de Janeiro, que hoje contribuem para regularizar as vazões dos rios nos períodos de seca (Figura 18).

Figura 18 - Mapa de drenagem e localização dos barramentos construídos nos afluentes do rio de Janeiro.



A Foto 10 mostra o rio de Janeiro no alto curso, onde pode ser observada neste trecho a preservação de sua vereda como também a existencia da primeira estação de monitoramento fluviométrico da bacia.

Foto 10 - Curso do rio de Janeiro. Estação Faz. Campo Aberto (ANA 46570300).



Alguns cursos d'água como o Ponta D'Água ou rio dos Cachorros e do Entrudo, devido à diminuição da vazão, já estão apresentando alguns conflitos pontuais causados pela falta de água. Alguns rios, como o próprio rio de Janeiro e o rio dos Cachorros, tiveram um recuo de suas nascentes de aproximadamente 23 km.

A cidade de Luís Eduardo Magalhães foi construída sobre o curso do rio dos Cachorros. Com a sua construção e a consequente impermeabilização, grande parte de sua bacia e seu canal, durante o período de chuvas, a cidade vem enfrentando grandes problemas de enchentes e causando alagamentos nas residências próximas ao seu curso. Todos os afluentes desta bacia são perenes e importantes para a manutenção da vazão do rio Janeiro, mas no decorrer dos anos com a diminuição da precipitação ou outros fatores associados, esses afluentes vêm diminuindo suas vazões e como consequência tendo uma diminuição na vazão do rio Janeiro. O rio Limpo é o principal afluente da margem esquerda, sendo que próximo a confluência com o rio de Janeiro a vazão é controlada pela descarga de uma barragem (Foto 11), sem a qual a vazão neste ponto poderia não existir em função da diminuição da mesma a montante da barragem.

Foto 11 - Curso alto do rio Limpo, próximo a sua confluência com o rio de Janeiro.



Assim como aconteceu com o rio Limpo, também foi construída uma barragem no curso do rio Balsas e hoje contribui também para controlar a vazão do rio nos períodos de seca. Este rio tem como principal afluente o rio Entrudo, que vem apresentando uma diminuição de sua vazão e gerando conflitos localizados por falta de água até desaguar no rio Balsas (Foto 12).

Foto 12 - Trecho do rio de Balsas, próximo à confluência com o rio de Janeiro. Estação fluviométrica INEMA GR-FR-21 e ANA 46569000.



O rio Ponta D'Água (Foto 13) é o único afluente do baixo do rio de Janeiro, vem apresentando trechos intermitentes que podem ser causados pela baixa vazão e o uso indiscriminado de suas águas pelos usuários. Este rio é o mais degradado da bacia, pois além dos empreendimentos localizados na bacia, a cidade de Luís Eduardo Magalhães foi construída em suas áreas de nascente e descarga.

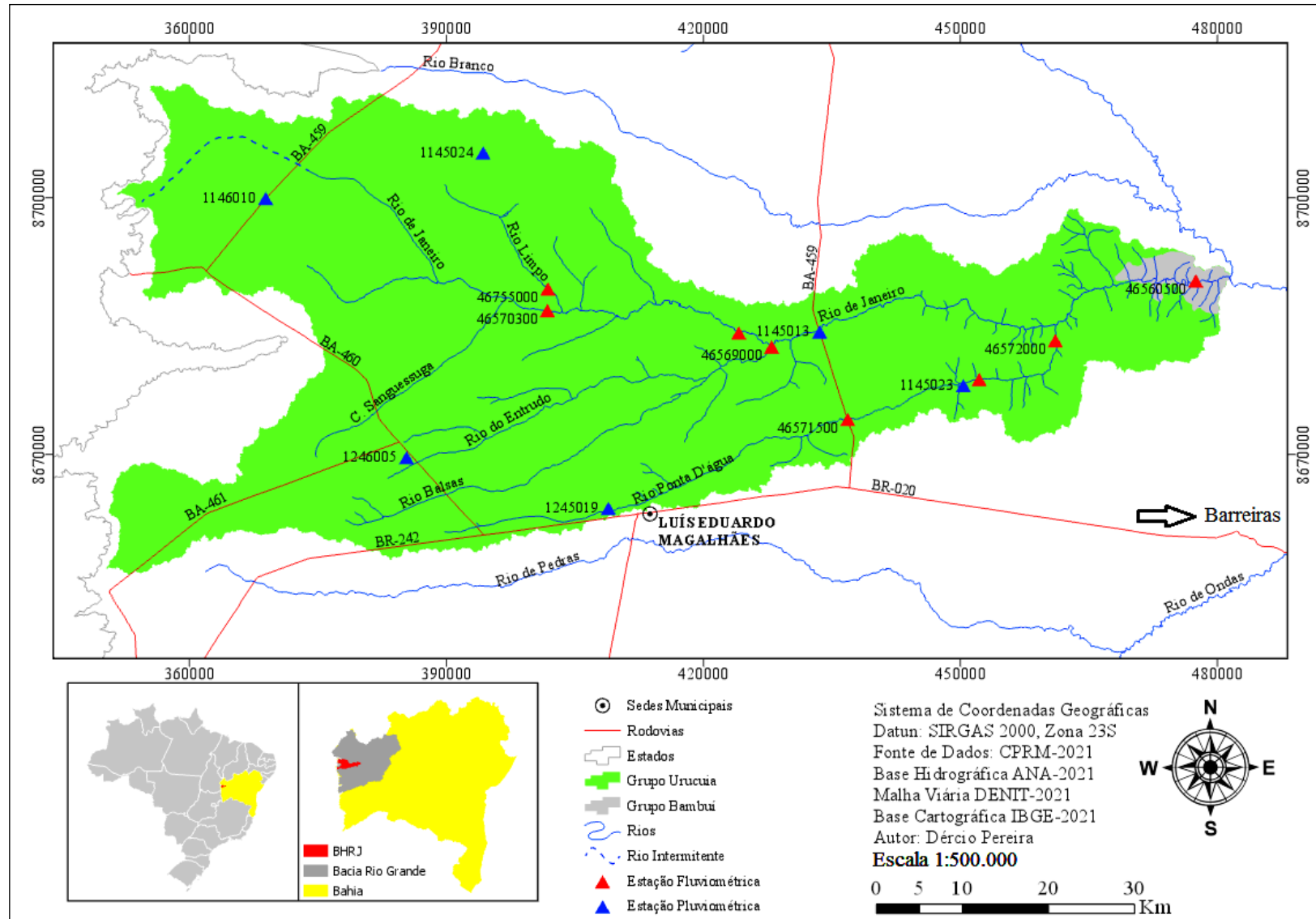
Foto 13 - Curso do rio Ponta D'Água, sob a ponte na BA-459, com estação fluviométrica INEMA GR-FR-09 e ANA 46561500.



Com a diminuição da vazão nos afluentes do rio de Janeiro ao longo dos anos, essa falta de água está obrigando os agricultores a optarem pelas águas subterrâneas, através da perfuração dos poços de alta vazão (500 m³/h) para irrigação de diversas culturas por meio de pivôs centrais.

A grande utilização dos recursos hídricos sem uma gestão sustentável poderá comprometer a manutenção das vazões dos cursos d'água da região. Com isso, o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA, com o objetivo de definir o planejamento e a gestão das águas na região, ampliou sua rede de monitoramento superficial com a instalação de estações pluviométricas e fluviométricas nas bacias da região, buscando compreender o comportamento hidrológico e hidrogeológico do aquífero Urucuia (Figura 19).

Figura 19 - Mapa de localização das estações de monitoramento fluviométrico e pluviométrico na bacia. Fonte: ANA e INEMA.



O monitoramento hidrológico na bacia é realizado de forma compartilhada entre a ANA e o INEMA-BA, sendo os dados compartilhados nas plataformas das duas instituições. A Tabela 5 apresenta as estações fluviométricas instaladas na bacia.

Tabela 5: Estações fluviométricas para o monitoramento dos níveis d'água e das vazões dos rios.

Código Estação	Nome Estação	Curso d'água	Responsável
46570300	Faz. Campo Aberto (Balsa)	Rio de Janeiro	INEMA-BA
46755000	Faz. Campo Aberto	Rio Limpo	INEMA-BA
46569000	Faz. Agronol	Rio Balsas	INEMA-BA
46570000	Ponte Serafim – Montante	Rio de Janeiro	ANA
46571500	Ponte Rio dos Cachorros	Rio Ponta D' água	INEMA-BA
46561000	Faz. São Roque	Rio Ponta D' água	INEMA-BA
46572000	Faz. Santa Maria	Rio Ponta D' água	CPRM
46560500	Ponte Vau do Teiú	Rio de Janeiro	INEMA-BA

Para suprir essa carência de informações, o órgão gestor de recursos hídricos do estado da Bahia em conjunto com a ANA, fazem o monitoramento pluviométrico e fluviométrico na região de ocorrência do Aquífero Urucuia no oeste do estado da Bahia. A Foto 14 mostra o lance de régua para monitoramento do nível do rio e para realizar medições de descarga líquida na Estação Fazenda Campo Aberto (Balsa) de código INEMA GR-FR-02 e ANA 46570300, operada pelo INEMA-BA, localizada na Fazenda Campo Aberta.

Foto 14 - Régua de monitoramento fluviométrico da estação ANA-4657030.



Já a Foto 15 mostra uma estação hidrológica instalada para o monitoramento em tempo real, enviando dados de nível e precipitação (telemetria).

Foto 15 - Estação hidrológica de código INEMA GR-FR-23 com sistema de telemetria.



7.1.4. Precipitação na Bacia

O conhecimento da precipitação pluviométrica média de uma bacia hidrográfica torna-se de grande importância para a gestão e planejamento dos recursos hídricos. Na bacia do rio de Janeiro, para o monitoramento pluviométrico existem 07 (sete) estações instaladas (Tabela 6), sendo 04 (quatro) operadas pelo órgão gestor de recursos hídricos do estado e as outras 03 (três) pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. Os dados estão disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas HydroWeb, disponível no endereço eletrônico da ANA (<http://hidroweb.ana.gov.br/>) e no *site* do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos INEMA – BA (www.inema.ba.gov.br).

Tabela 6: Estações pluviométricas existentes na bacia para o monitoramento pluviométrico.

Código Estação	Nome Estação	Tipo	Responsável
1146010	Fazenda Agrocel	Automática	INEMA-BA
1246005	Fazenda Vila Verde	Automática	INEMA-BA
1145024	Rio Limpo	Automática	ANA
1245019	Fazenda Poletto	Automática	INEMA-BA
1145023	Fazenda São Roque	Automática	INEMA-BA
1145013	Ponte Serafim – Montante	Automática	ANA
1145033	Fazenda Gretter II	Convencional	ANA

Para determinar a precipitação média da bacia foram inicialmente selecionadas 23 estações pluviométricas distribuídas no interior da bacia e no seu entorno, com período de dados de 1980 a 2020. Destas, 10 (dez) estações têm influência direta da bacia (Tabela 7). Para a

determinação da precipitação média na bacia utilizou-se o método dos polígonos de Thiessen e das isoietas.

Tabela 7: Estações pluviométricas de monitoramento com influência na bacia de estudo.

Nome da Estação	Precipitação (mm)	Área Influência (km ²)	Precipitação Média (mm)	Localização
Ponte Serafim - Montante	1.022,30	665,10	177,30	Na bacia
Fazenda Agrocel	1.351,82	596,63	210,31	Na bacia
Restaurante Anel da Soja	1.132,68	3,74	1,10	Entorno
Nova Vida Montante	1.002,70	240,50	62,88	Entorno
Faz. Novo Horizonte	1.026,32	123,73	33,11	Entorno
São Roque	1.128,50	214,57	63,14	Na bacia
Ponte Alta do Bom Jesus	1.998,20	114,55	59,69	Entorno
Rio Limpo	1.076,81	632,69	177,65	Na bacia
Fazenda Vila Verde	1.327,94	701,18	242,80	Na bacia
Fazendo Poletto	1.226,20	542,26	173,38	Na bacia
Média/Total	1.229,35	3.834,95	1.201,37	

Neste estudo o método dos Polígonos de Thiessen foi utilizado em função da não distribuição uniforme dos postos pluviométricos dentro da bacia hidrográfica. Este método consiste em atribuir um fator de peso aos totais precipitados medidos em cada posto pluviométrico e admitir uma variação linear da precipitação entre as estações. Considerando que o terreno da bacia é plano, o método proposto tem uma maior representatividade quanto à precipitação média da área, justificando sua aplicação para calcular a média precipitada. A partir das séries históricas disponíveis (1980-2020), a precipitação média calculada para a bacia foi de 1.201,37 mm (Figura 20).

Com o objetivo de verificar a confiabilidade dos dados de precipitação utilizados da média na bacia pelo método de Polígonos de Thiessen. Realizou-se o desvio padrão para obter mais informações para avaliar e diferenciar seus comportamentos com relação à média. O resultado dos cálculos realizados pelo desvio padrão mostrou que, os valores amostrais estão bem distribuídos em torno da média. Como os valores são pequenos, indica que os postos estão condensados próximos da média, isso significa que, quanto menor o desvio padrão, mais homogênea é a amostra e menor o erros dos dados utilizados (Figura 21). O método das isoietas foi utilizado para obtenção das isolinhas médias pluviométricas na bacia do rio de Janeiro e foi base para a construção do mapa da recarga potencial direta. Conforme observado na Figura 22 a precipitação diminui de oeste para leste na bacia, no período analisado. Constatou-se que a volume de chuva supera os 1700 mm/ano, na parte oeste, enquanto no oeste da bacia chega aos 1100 mm/ano.

Figura 20 - Mapa da precipitação média calculada pelo método dos Polígonos de Thiessen.

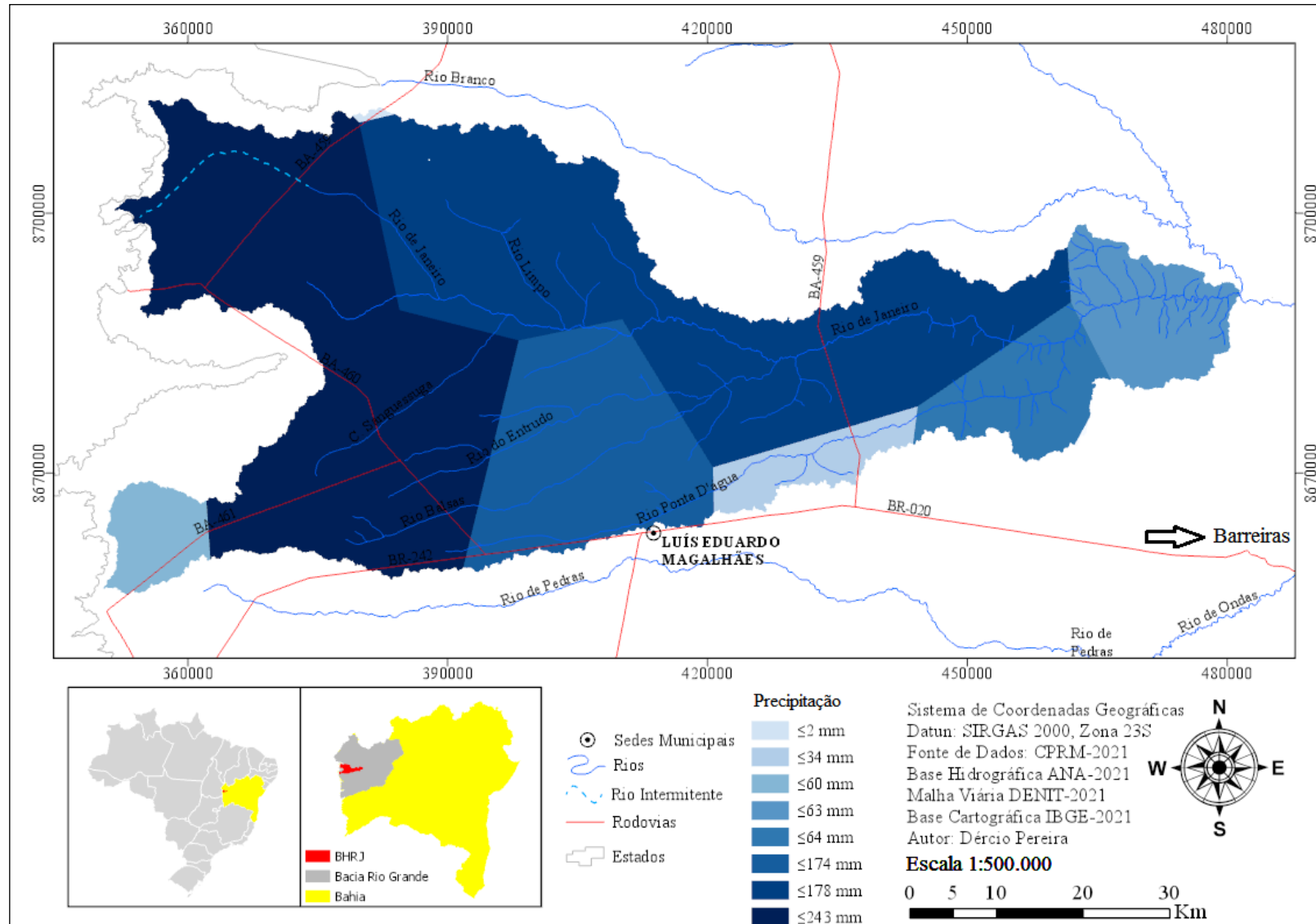


Figura 21 - Mapa do desvio padrão da média.

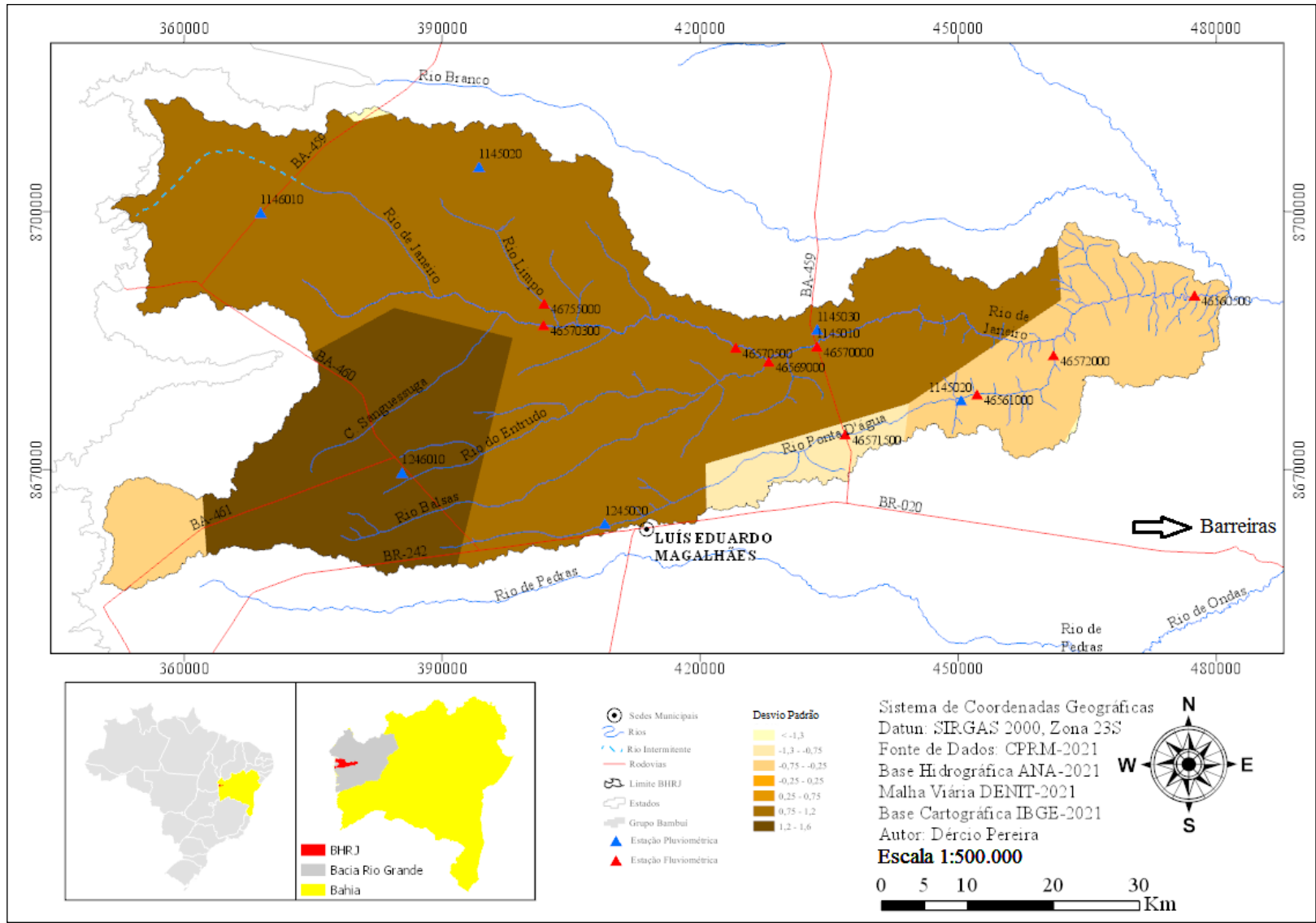
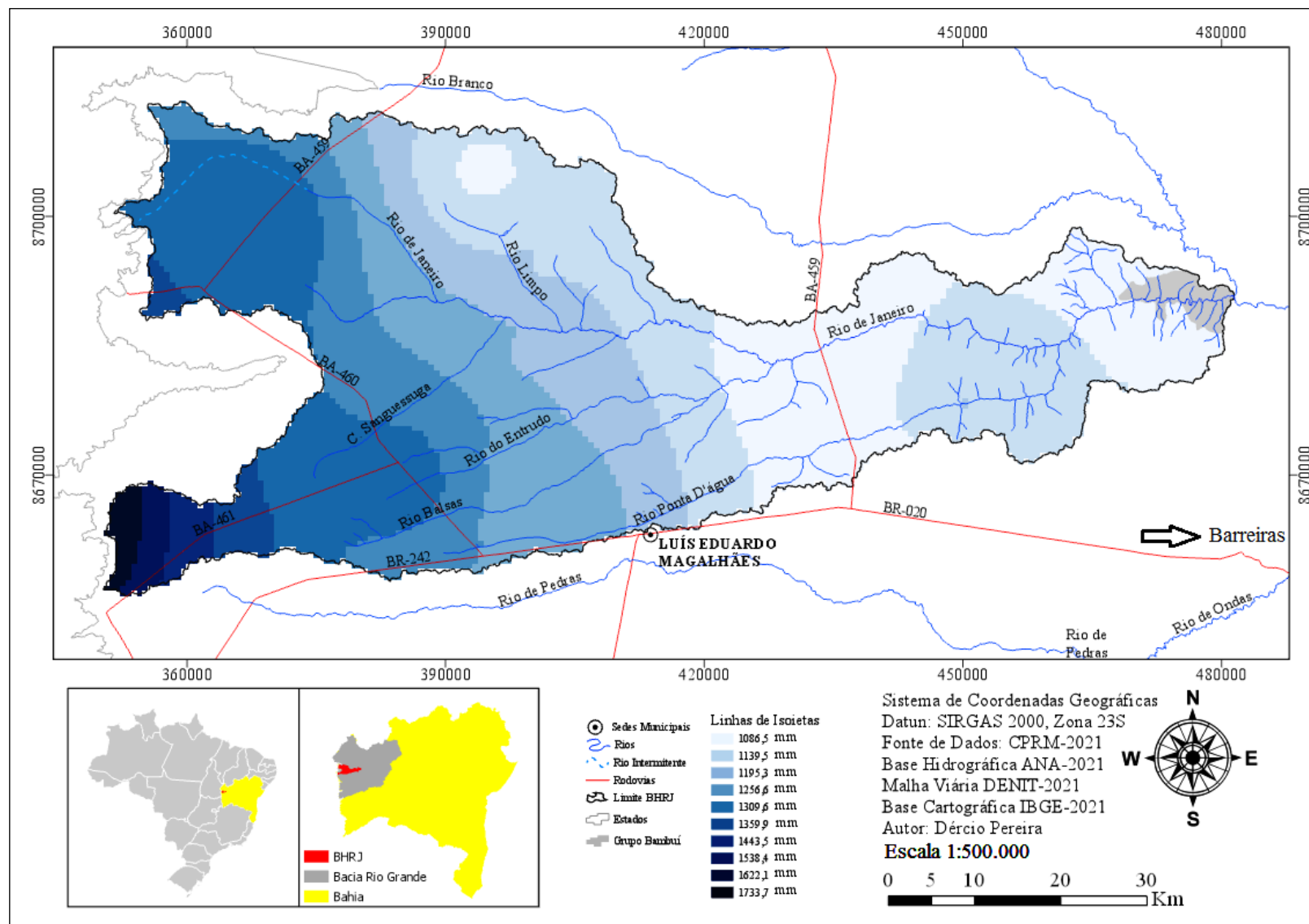


Figura 22 - Mapa de isoietas da bacia.



7.1.5. Hidrogeologia

O conhecimento da hidrogeologia de uma bacia hidrográfica é uma ferramenta importante para sua gestão, servindo de base para entender o comportamento dos rios da bacia e suas vazões, bem como fornecendo informações para a captação de água subterrânea.

A bacia do rio de Janeiro está inserida em uma região com grande disponibilidade hídrica, com uma área total de 3.836 km². É composta por dois sistemas aquíferos: o Urucuaia e o Bambuí. O Urucuaia possui uma área de 3.777,80 km², representando 98,50% da área total da bacia, constituído predominantemente por sedimentos arenosos, apresentando arenitos grossos, médios e finos com alta potencialidade de produção hídrica, chegando a produzir vazões nos poços na ordem de 500 m³/hora. O aquífero Bambuí com uma área de 58 km², representando apenas 1,50% da área total da bacia, sendo constituído por calcários, com potencialidade média e apresentando vazões da ordem de 10 m³/hora.

Quanto ao monitoramento piezométrico das águas subterrâneas, na bacia do Rio de Janeiro existe um poço piezométrico instalado pela RIMAS/CPRM, no entanto, nos limites da bacia, outros poços de monitoramento foram instalados (Foto 16). Este poço de monitoramento pode reunir informações do nível da água subterrânea, possibilitando realizar uma avaliação dos impactos em decorrência da exploração ou das formas de uso e ocupação do solo e estimar a disponibilidade hídrica subterrânea da bacia.

Foto 16 - Poço de monitoramento de nível da água subterrânea da RIMAS/CPRM.



Em função de sua potencialidade e disponibilidade hídrica, os grandes empreendimentos estão concentrados sobre o aquífero Urucuia, com áreas irrigadas com captações superficial e subterrânea, com uso de pivôs centrais que irrigam áreas entre 100 e 350 ha, destinadas a culturas como algodão, feijão, milho, soja, além de outras em menor proporção.

7.1.6. Uso da Água

Nas últimas três décadas há um crescimento das captações das águas do Sistema Aquífero Urucuia na bacia do rio de janeiro, tanto superficiais quanto subterrâneas, para suprir o aumento da demanda de água para os projetos de irrigação. As áreas planas e a disponibilidade de água favoreceram a instalação dos pivôs centrais. É comum na bacia encontrar pivô central com capacidade de irrigar áreas entre 100 e 150 ha, que durante o seu ciclo de 360° (Foto 17), funcionando por um período de 20 h/dia para captações superficiais e 18 h/dia para subterrâneas. Dependendo da cultura, um pivô central de 100 ha pode consumir até 8.000 m³/dia de água.

Foto 17 - Pivô central com área de irrigação de 100 ha, captando água do rio de Janeiro.



Segundo o INEMA (2022), nos principais rios da bacia não existe mais disponibilidade de água superficial para irrigação e, desta maneira, é crescente na região a procura pelos agricultores pela perfuração de poços com altas vazões para a exploração das

águas subterrâneas. Dependendo da necessidade do projeto, podem atingir vazões de 500 m³/h (Foto 18).

Foto 18 - Poço tubular com vazão de 500 m³/h para irrigação por meio de pivô central, onde a água é bombeada para o canal e captada pelo pivô para irrigar.



Segundo consultores que trabalham na região, no intuito de minimizar os custos de produção durante o ciclo das culturas, muitos agricultores estão construindo os chamados piscinões para acumular a água que captam do rio ou poço tubular (Foto 19). Com esse manejo, os agricultores conseguem irrigar no momento certo, quando a taxa de energia está mais barata, haja vista que, a portaria de outorga permite a irrigação por 20 ou 18 horas. Com os piscinões eles podem reservar a água e irrigar no momento certo, tendo em vista que ao captar a água para o reservatório eles já cumpriram o estabelecido na portaria de outorga. Para os agricultores que irrigam, o maior custo na produção está relacionado com energia, mas com este manejo da água os usuários conseguem uma economia de 30% no consumo de energia.

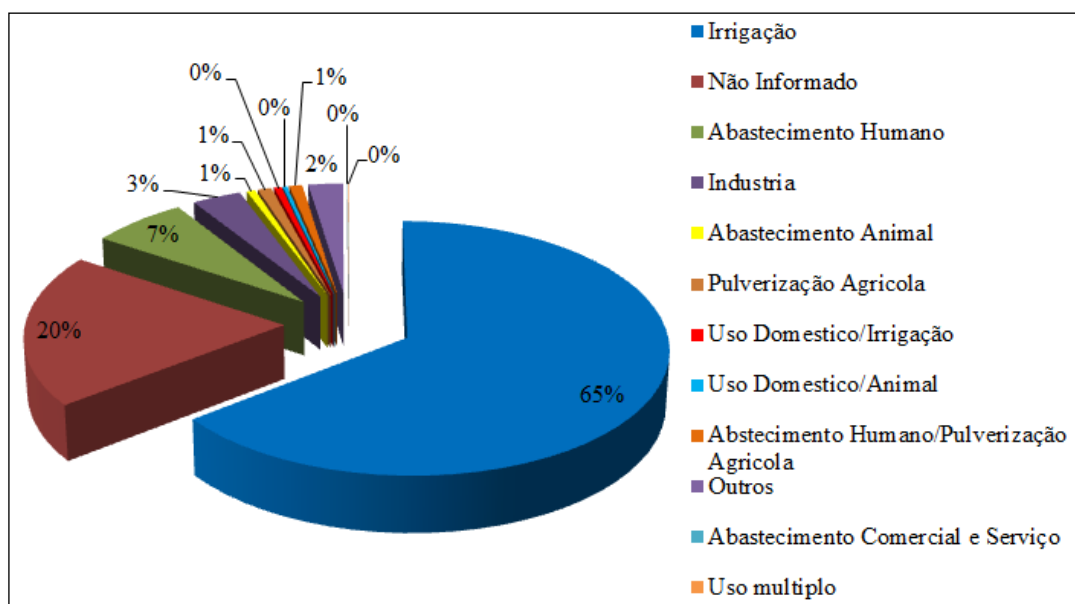
Foto 19 - Piscinão (reservatório) construído para armazenar água captada por poço tubular.



Na compilação dos dados quanto aos usos da água subterrânea na bacia, a partir dos dados disponíveis nas plataformas do INEMA, CNARH, CERB, AIBA e SIAGAS, foram catalogados 359 poços tubulares regularizados, cuja utilização da água é predominantemente para irrigação, sobretudo por meio de pivô central, além de outros usos com volumes captados menores que 100 m³/h, como também há usuários de água com captações de usos insignificantes com volume a 0,5 m³/h para as diversas finalidades.

Dos 8,22 m³/s explotados pelos poços para uso da água subterrânea na bacia, a irrigação representa mais de 65% de toda a água consumida (Figura 23). Os primeiros poços de alta vazão para pivôs na bacia foram perfurados no ano de 2000 e, nos últimos anos, a perfuração destes poços teve um grande impulso na irrigação.

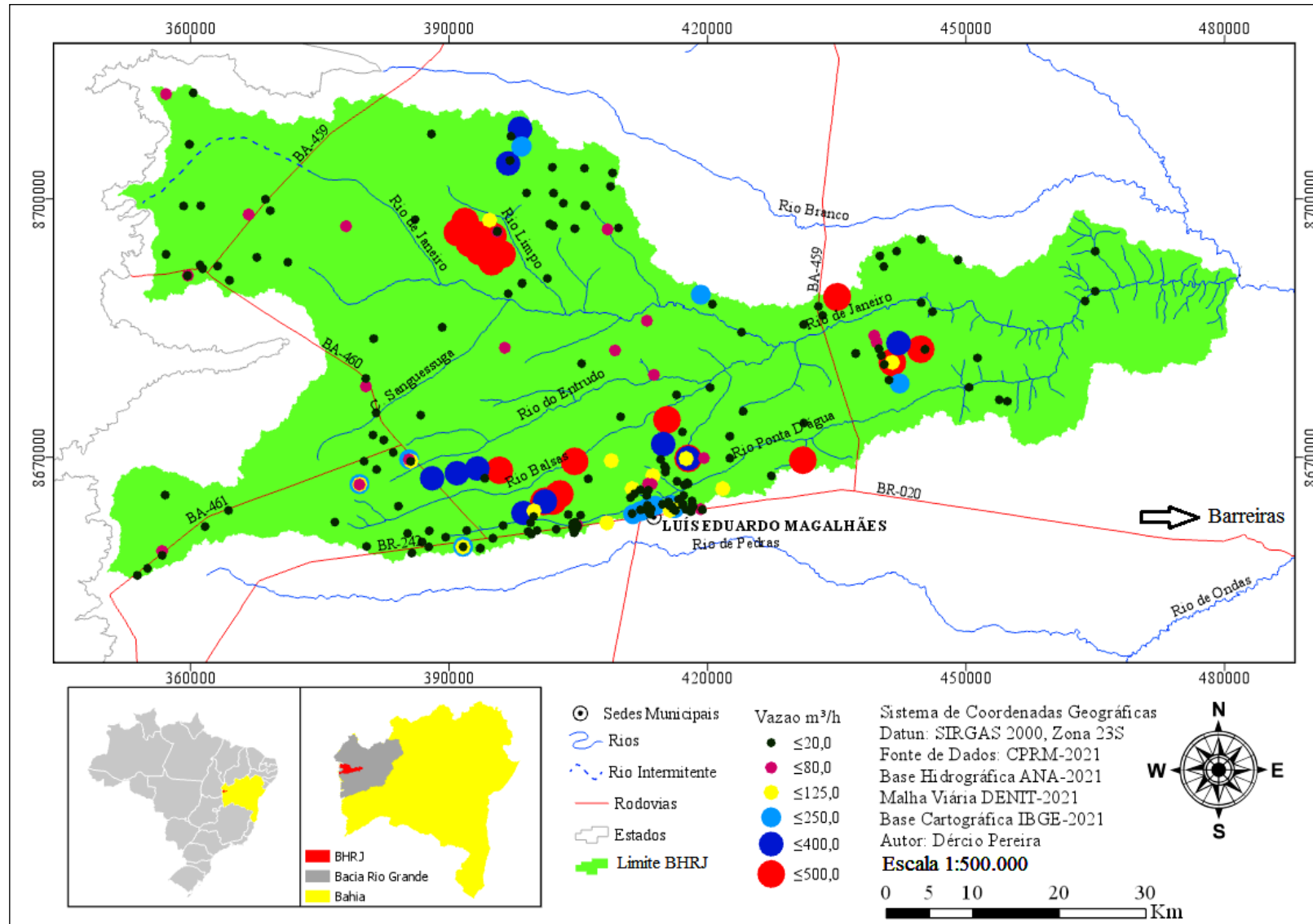
Figura 23 - Gráfico com a porcentagem de finalidade de usos da água subterrânea na bacia.



Segundo a AIBA e INEMA (2021), até o ano de 2020 a bacia do rio de Janeiro possuía uma área irrigada com poços de alta vazão de 16.354.50 hectares de terras em produção por meio de pivô central, com um consumo médio de 5,30 m³/s.

A bacia hidrográfica do rio de Janeiro possui grandes empreendimentos para irrigação, os quais necessitam de grandes volumes de água. A Figura 24 mostra a distribuição espacial em relação às vazões utilizadas para os diversos usos em m³/h dos poços, onde se observa que as maiores explorações estão concentradas no centro da bacia com sua maioria para irrigação.

Figura 24 - Mapa de poços outorgados na bacia mostrando a localização e a vazão média requerida em m³/h.



Foram observados que no ano de 1990 existiam apenas 14 pivôs na bacia com captação de água superficial. Já nos anos de 2020 existem 168 pivôs centrais, o que sugere que nos últimos 30 anos a área irrigada na bacia teve um aumento de aproximadamente 1.100%, sendo que, deste total, 51 utilizam poços de alta vazão outorgados para irrigação. A perfuração de poços de alta vazão para implantação de projetos de irrigação através de pivô central vem aumentando ao longo dos anos, comprovando o potencial do Sistema Aquífero Urucuia, como foi apontado por Schuster *et al.* (2002) em seu estudo realizado na bacia do rio Ponta D'Água, afluente do rio de Janeiro, aonde os testes de vazão dos poços chegaram a 500 m³/h e vazões específicas da ordem de 23 m³/h/m.

Os usuários de água superficial regularizados atualmente estão concentrados na calha principal do rio de Janeiro, localizados a montante da ponte da rodovia BA-459 sobre o rio. Nos três principais afluentes da BHRJ, os rios Ponta D'Água ou dos Cachorros, Balsas e Limpo, não existem captações de água superficial para irrigação, em razão da diminuição de suas vazões o que impossibilitou a manutenção dos sistemas de irrigação.

Para manter o sistema de irrigação funcionando foram construídas barragens nos rios por três usuários, com a finalidade de armazenar água e manter o sistema de irrigação, sendo que destas, a barragem localizada no rio Ponta D'Água não é regularizada. Com a diminuição da vazão do rio, o barramento construído na calha do rio Ponta D'Água, nos últimos anos vem enfrentando dificuldades para manter um volume necessário para sustentar o sistema de irrigação e o proprietário está migrando para exploração de águas subterrâneas. A jusante da ponte da rodovia BA-459 sobre o rio de Janeiro, as captações são realizadas por pequenos agricultores para usos insignificantes com volumes de até 0,5 m³/h, para irrigarem pequenas áreas e outras diversas finalidades.

O rio Ponta D'Água é o maior afluente em extensão e o mais importante em termos de uso da água do rio de Janeiro, mas nos últimos anos vem apresentando conflitos relacionados aos usos de recursos hídricos, com uma diminuição gradativa de sua vazão e nos últimos três anos foram observadas uma interrupção do seu fluxo a montante da ponte sobre o mesmo na BA-459 (Figura 20). Segundo as comunidades ribeirinhas esta diminuição pode estar relacionada com os usos da terra e da água pelos agricultores na bacia, no entanto outros atribuem à diminuição da precipitação, que causaram o recuo da nascente para mais de 20 km a jusante da BA-459.

Foto 20 - Curso do rio Ponta D'Água sem água, localizado sob a ponte na rodovia BA-459.



Devido a necessidade de uma agricultura de precisão com o auxílio da tecnologia para reduzir o consumo e os custos da água na irrigação. Alguns agricultores estão adotando uma plataforma de dados com informações de solo, planta e clima, com isso, eles irrigam apenas a quantidade que a planta necessita. Com esse sistema, segundo os agricultores a economia de água é em torno de 10 a 20%, além de economizar no consumo de energia elétrica. A Figura 25 é um exemplo da plataforma com informações do campo adotada pelos agricultores, mostrando o balanço hídrico da cultura.

Figura 25 - Plataforma de informações do balanço da cultura em tempo real. Fonte: <https://www.icrop.com.br/tecnologia>.



Observou-se o aumento da demanda da água nos últimos anos, tanto superficial quanto subterrânea para grandes projetos de irrigação. No intuito de melhorar a gestão das bacias

hidrográficas, o órgão gestor de recursos hídricos da Bahia vem propondo medidas de controle dos usos da água do Sistema Aquífero Urucuia – SAU, como também desenvolvendo estudos de disponibilidade hídrica superficial e subterrânea em parceria com outros órgãos, objetivando buscar mais conhecimento do SAU, para que assim permita uma melhor gestão e exploração mais sustentável dos recursos hídricos.

7.1.7. Uso e Ocupação do Solo

A bacia do rio de Janeiro tem grande importância para a região oeste da Bahia em função de sua disponibilidade de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, como também de grande potencial turístico, principalmente pela existência de duas cachoeiras, além de abranger dois municípios importantes: Barreiras e Luís Eduardo Magalhães. Os grandes empreendimentos estão localizados nas áreas planas da bacia em função da facilidade para a mecanização e acesso aos cursos para captar água e diminuir os custos de investimento em equipamento de irrigação. Na Foto 21, o uso e ocupação do solo próximo a mudança do relevo, onde não possível acessar os cursos d'água em função da declividade do terreno.

Foto 21 - Uso e ocupação do solo na região da Cachoeira do Acaba Vida. Fonte: INEMA, (2022).



Essa disponibilidade hídrica possibilitou a expansão da fronteira agrícola na bacia e o desenvolvimento da agricultura irrigada, que nas últimas décadas teve grandes transformações em sua vegetação natural, pela ocupação principalmente de grandes áreas plantadas com culturas de sequeiro que iniciaram na década dos anos de 1980 (Figura 26). O mapa da Figura 27 mostra a situação atual do uso e ocupação do solo na bacia, com áreas de vegetação suprimidas para agricultura, não sendo respeitadas nem as áreas de preservação.

Figura 26 - Mapa de uso e ocupação solo na bacia, com a maior parte da área ocupada por culturas de sequeiro e seguida pela irrigação por pivô. Fonte: Base cartográfica a referência do Mantovani *et al.* (2021).

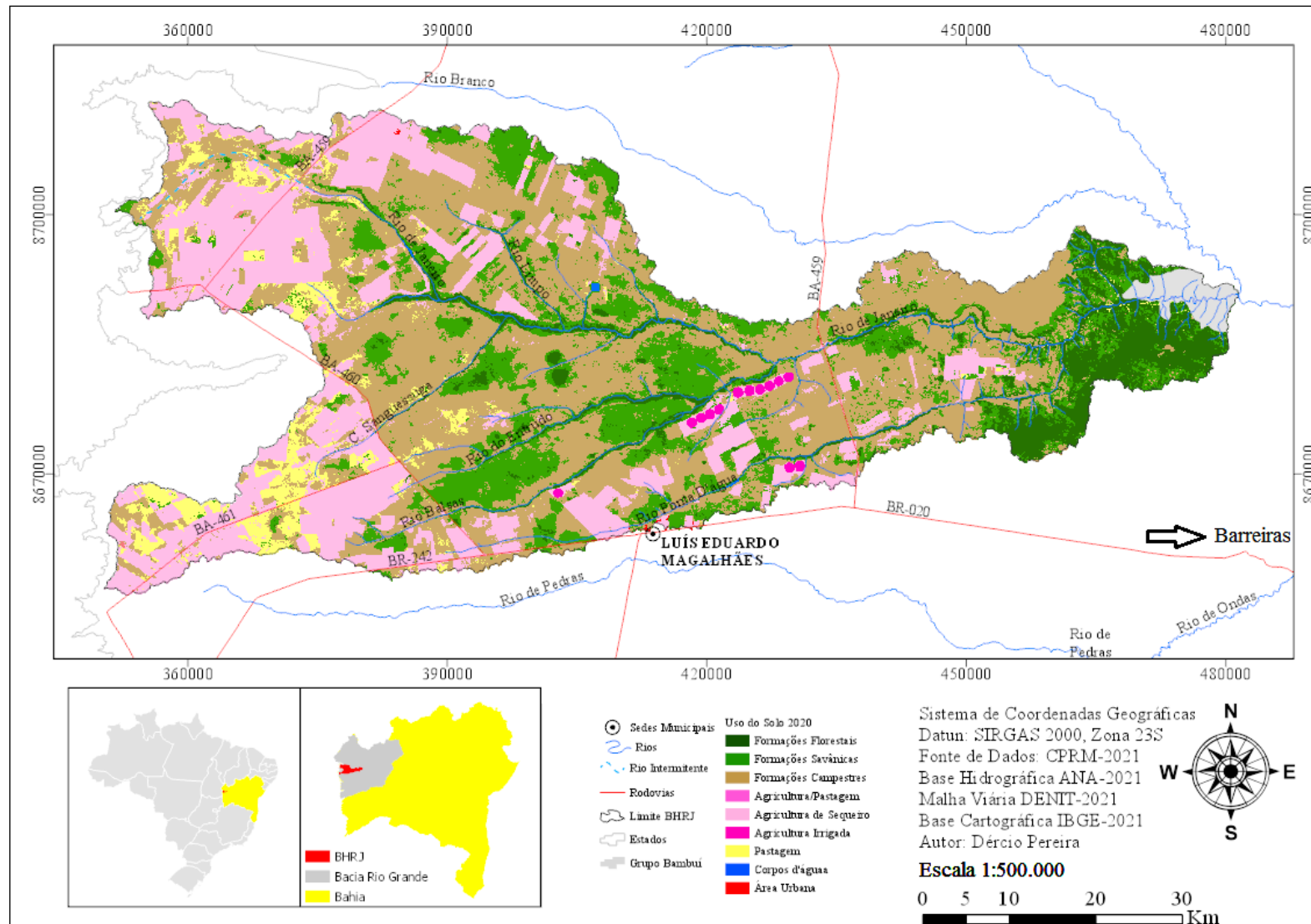
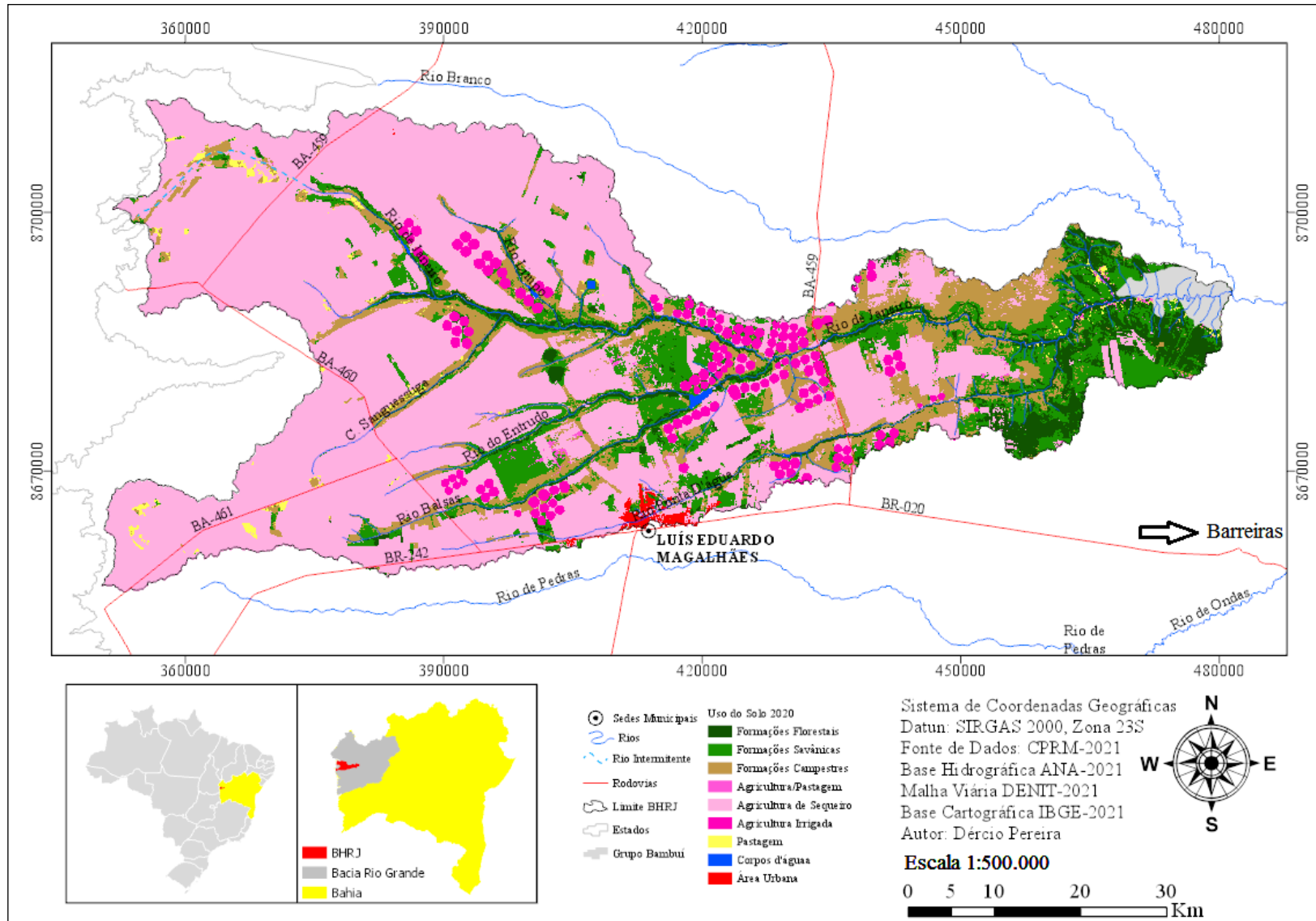


Figura 27 - Mapa de uso do solo no ano de 2020. Fonte: Base cartográfica a referência do Mantovani *et al.* (2021).



No intuito de promover o ordenamento territorial da bacia e garantir o uso da área e o manejo dos recursos naturais e sua conservação ambiental, em 1993 foi criada a Área de Proteção Ambiental Estadual da bacia do rio de Janeiro (APA), com uma área total de 351.300 ha (Figura 28), mas só em 2022 foi criado o Plano de Manejo da bacia. No entanto, mesmo com a Unidade de Conservação, a bacia passou por grandes transformações causadas pelo aumento do desmatamento e implantação de grandes lavouras para a produção de grãos.

Segundo dados da Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA) e a Associação Baiana dos Produtores de Algodão (ABAPA), a área de agricultura irrigada na região oeste da Bahia não chega aos 8% da área produtiva, onde são irrigadas somente 192.000 hectares de um universo de 2,4 milhões de hectares.

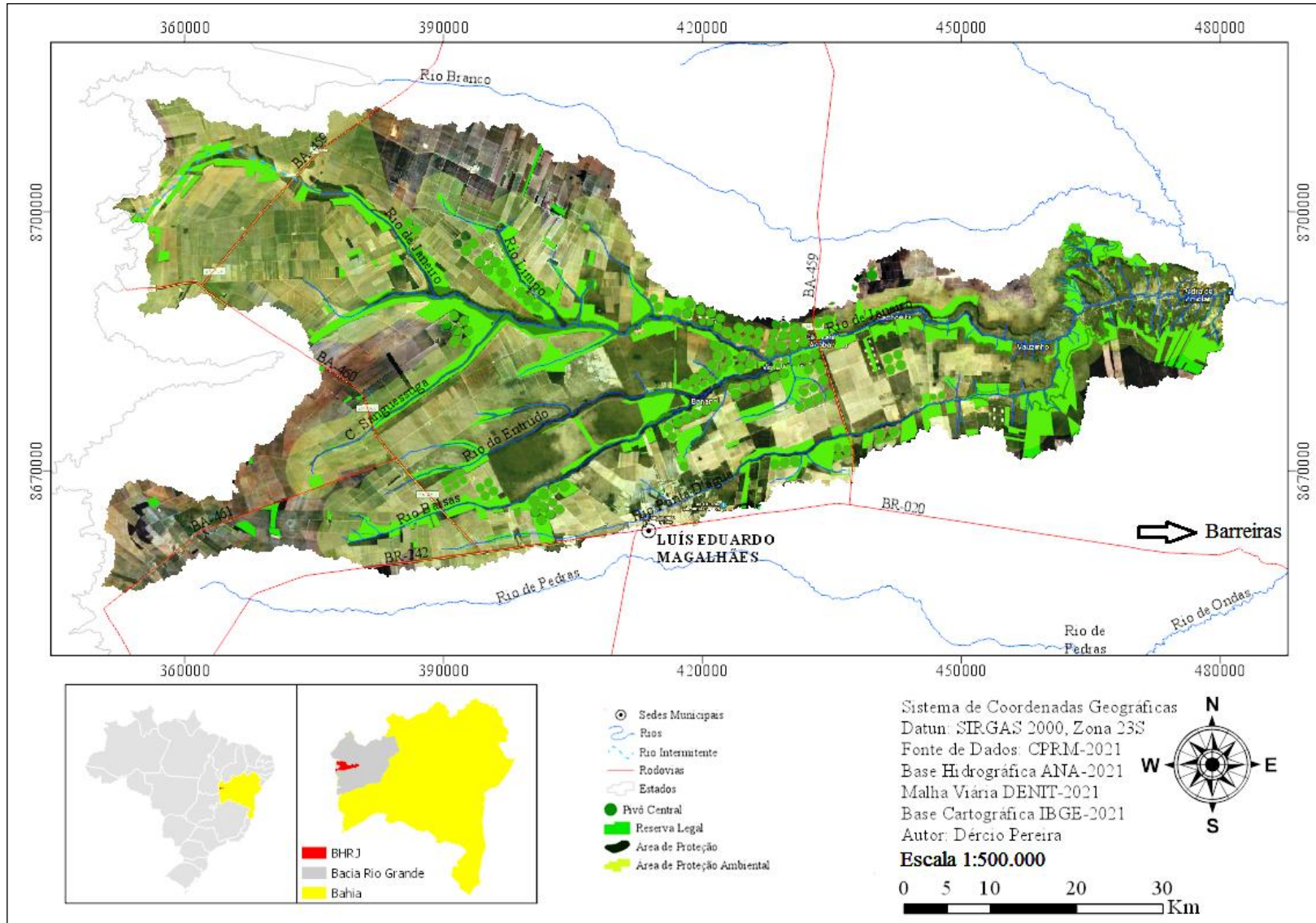
Neste cenário existe especulação por novas áreas para instalação de novos projetos de irrigação, sendo que, na BHRJ não é diferente e a procura por captações de águas subterrâneas para instalação de pivôs centrais vem aumentando ao longo dos anos em função da modernização da agricultura, e principalmente atraídos pelas grandes extensões de terras planas e baratas. Na Tabela 9 é possível observar os preços das terras praticados na área bacia, o que atrai grandes investidores.

Tabela 9: Valor da terra nua nos municípios de Barreiras e Luís Eduardo Magalhães no ano de 2020. Fonte: AIBA (2022).

Tipo de Terra	Barreiras	Luís E. Magalhães
Lavoura Aptidão Boa	R\$ 6.653,12	R\$ 3.902,30
Lavoura Aptidão Regular	R\$ 4.597,30	R\$ 3.071,60
Lavoura Aptidão Restrita	R\$ 2.749,77	R\$ 0,00 ¹
Pastagem Plantada	R\$ 1.492,77	R\$ 2.312,00
Silvicultura ou Pastagem Natural	R\$ 1.492,77	R\$ 2.247,70
Preservação de Fauna ou Flora	R\$ 1.031,96	R\$ 1.466,15

Fonte: <https://aiba.org.br/valor-de-terra-nua/>

Figura 28 - Mapa de localização das áreas de conservação da bacia do rio de Janeiro. Fonte: Google Maps (2021).



De acordo com os estudos realizados por Mantovani *et al.* (2019), a área irrigada da bacia do rio de Janeiro aumentou em 840% num período 28 anos. Esse aumento da área irrigada significa que houve necessidade de suprimir a vegetação nativa para dá lugar as lavouras. Com a retirada da cobertura vegetal, uso inadequado do solo e mau dimensionamento das estradas, são cada vez mais frequentes os processos erosivos (Foto 22), causando o assoreamento dos cursos d'águas e ao longo tempo uma diminuição na vazão de base dos rios.

Foto 22 - Processos erosivos em latossolos, com voçorocas atingindo profundidades de aproximadamente 2 m.



No intuito de adotar medidas de controle para a exploração do aquífero Urucuia no estado da Bahia, o INEMA publicou as portarias nº 19.452/2019 e nº 22.181/2021, estabelecendo critérios técnicos para implantação de sistema de medição para monitoramento dos usos e intervenções em recursos hídricos.

De acordo com o proposto na portaria de nº 22.181/2021 a instalação do sistema de medição deverá ser realizada individualmente para cada intervenção em recursos hídricos, sendo que para as águas superficiais e subterrâneas as intervenções com vazões outorgadas superiores a 129,6 m³/dia (para fins de abastecimento humano) e superiores a 43,2 m³/dia (demais usos), condicionando os usuários a adotarem dispositivos que permitam a coleta de água para monitoramento de qualidade (em caso de uso para abastecimento/consumo humano) e medições de nível estático e dinâmico no caso das águas subterrâneas (Tabela 10).

Tabela 10: Critérios estabelecidos para implantação do sistema de medição para monitoramento dos usos das águas do aquífero Urucuia.

Sistema de monitoramento para as águas superficiais e subterrâneas.		
Vazão Outorgada m³/dia	Sistema de medição	Período de Medição
900	Analógicos com registros feitos de forma manual.	Mensal
900 a 9.000	Automático com armazenamento dos registros.	Semanal
Acima de 9.000	Automático com armazenamento dos registros e com sistema de telemetria.	Diário

Para alcançar os objetivos propostos pelas portarias, os usuários de águas superficiais de acordo com a vazão outorgada, devem instalar seção de réguas e PCD's com sistema telemétrico para monitorar o nível (Foto 23) e realizar medição de vazão dos rios em todos os pontos de captação. O mesmo critério é aplicado para o monitoramento das águas subterrâneas, no entanto, os usuários que utilizam poços tubulares para irrigação devem instalar piezômetros com *dataloggers* para registrar e armazenar as informações dos níveis dinâmico e estático dos poços durante a irrigação.

Foto 23 - Sistema de monitoramento do uso da água superficial no rio de Janeiro, adequado à portaria INEMA-BA, nº 22.181/2021.



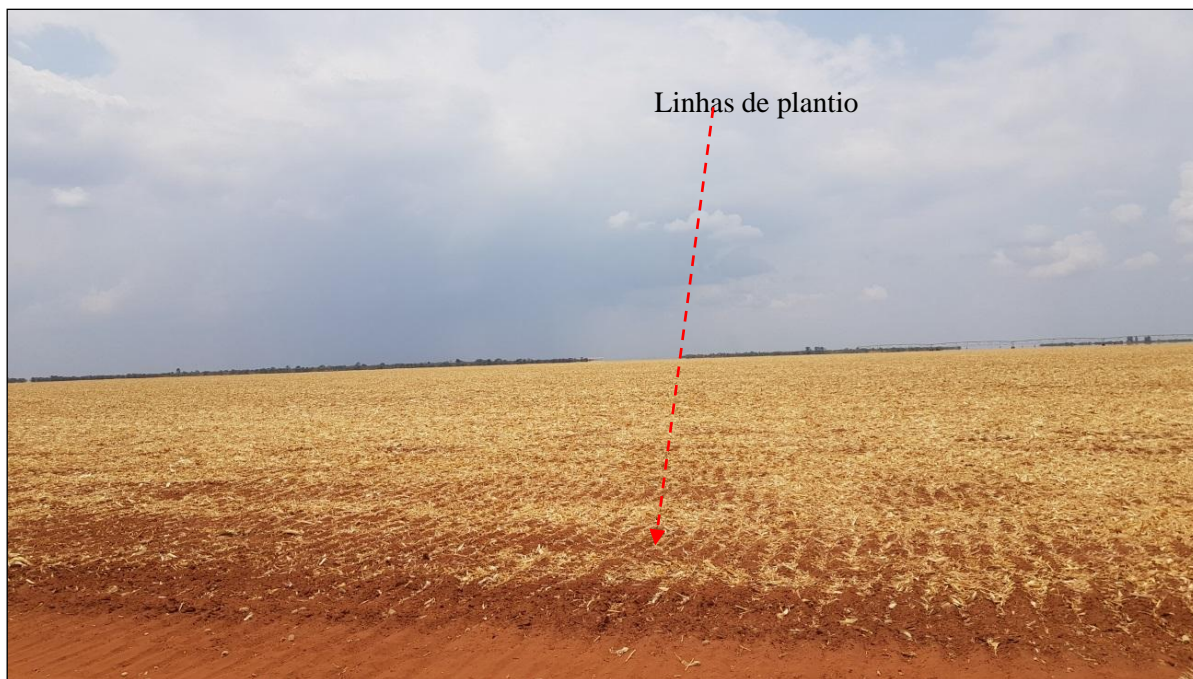
É possível observar as transformações ocorridas na bacia com o avanço da agricultura nas últimas décadas sem um controle para a conservação ambiental, inclusive com o cultivo

de grãos em áreas de preservação permanente (APP) e reserva legal. Na bacia a área total de APP é de aproximadamente de 10.154,33 ha e, é possível observar a ausência de preservação permanente em alguns cursos d'água, o que pode comprometer a qualidade e a quantidade de água na bacia, devido à diminuição da infiltração e o assoreamento dos rios. A área de reserva legal é de aproximadamente 56.727,66 ha, que representa 14,8% da área total da bacia (INEMA, 2020).

A utilização da irrigação é uma das formas mais eficientes para aumentar a produtividade das culturas num curto e médio prazo, que pode ser alcançado com a utilização de tecnologias modernas e a capacidade de investimento no sistema de irrigação para o uso da água. Neste sentido, nos últimos anos os agricultores da região oeste da Bahia e na bacia do rio de Janeiro vêm adotando práticas de conservação de solo, com o uso de tecnologias que proporcionam um melhor aproveitamento e menores perdas da água.

Uma das práticas mais utilizadas no manejo do solo é o plantio direto (Foto 24). Essa técnica dispensa as atividades de aração ou gradagem do solo, no qual o plantio é realizado sobre a palhada, aumentando a retenção de água, facilitando a infiltração, reduzindo a erosão e diminuindo a perda de nutrientes. O plantio das sementes é realizado por meio de plantadeiras específicas.

Foto 24 - Plantio direto sobre a palhada de milho, onde é possível observar as linhas de plantio.



O plantio direto pode gerar uma economia significativa de água comparando-se com outros sistemas de manejo do solo. Em seus trabalhos realizados com a cultura do feijão,

Nascimento *et al.* (2001) verificaram que a demanda total de água sob preparo convencional do solo foi de 325 mm, enquanto sob plantio direto a demanda foi de 260 mm, representando uma redução de 20% do total de água aplicado no preparo convencional.

Segundo relatos de produtores da região que adotam o sistema de plantio direto em suas propriedades (Foto 25), na cultura do feijão no sistema convencional de manejo a demanda de água é entre 300 mm e 320 mm, mas utilizando o sistema de sistema de plantio direto há uma redução de 40 mm de água aplicada na cultura, isso representa uma redução de aproximadamente de 15%.

Foto 25 - Irrigação por pivô central com sistema de plantio direto sobre a palhada de milho.



8. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

O balanço hídrico climatológico (BHC) para a bacia foi realizado pelo método de Thornthwaite & Mather (1955), utilizando a planilha de Rolim & Sentelhas (1998) período de 1980 a 2020. A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos onde pode ser verificada a variabilidade anual dos elementos climatológicos médios mensais de entrada.

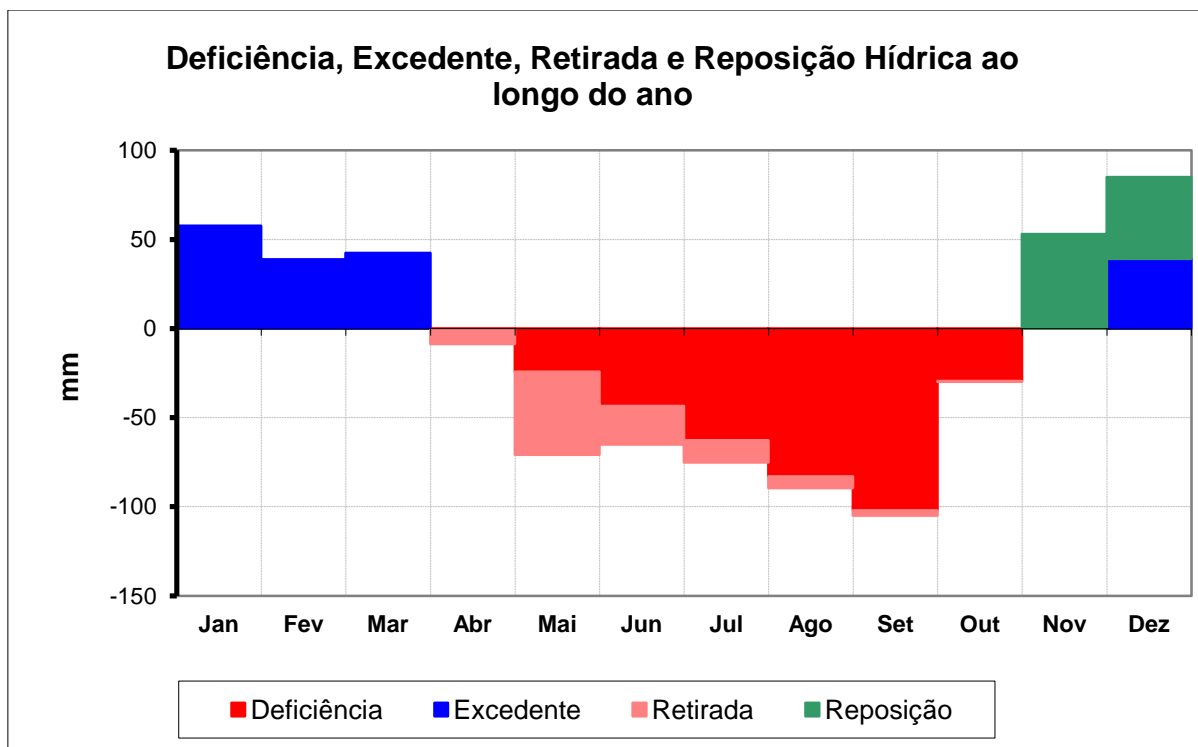
Tabela 11: Balanço hídrico para a estação pluviométrica de Barreiras, período de 1980 a 2020.

Parâmetros	Meses do Ano												Médias Mensais
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
	24,7	24,7	24,6	24,3	23,4	22,4	22,2	23,6	25,9	25,9	25,3	24,7	24,3
P (mm)	178	146	157	95	22	12	2	5	20	103	176	205	93,4
ETP (mm)	120,4	107,2	114,6	103,7	92,9	77,1	77,2	94,6	124,9	132,9	122,9	120,12	107,4
ARM (mm)	100	100	100	91,6	45,1	23,5	11,1	4,5	1,59	1,2	54,2	100	52,7
ETR (mm)	120,4	107,2	114,6	103,4	68,5	33,6	14,4	11,6	22,9	103,4	123	120,1	78,6
DEF (mm)	0	0	0	0,4	24,4	43,5	62,8	83	102	29,5	0	0	28,8
EXC (mm)	57,6	38,8	42,4	0	0	0	0	0	0	0	0	39,1	14,8

No mês de abril (Gráfico 5), inicia-se o processo de retirada de água do solo que, por conseguinte, resulta na ocorrência de deficiência hídrica na região, compreendida entre os meses de abril e novembro. Com isso, neste período é necessário o uso de irrigação suplementar no município de Barreiras, pois a região passa por sete meses com deficiência hídrica. Nos meses de dezembro a março, em virtude das precipitações elevadas, observa-se a ocorrência de excedente hídrico, totalizando 177,9 mm.

No início do período úmido, após as chuvas superarem a demanda de evapotranspiração potencial (ETP), esta se torna igual à evapotranspiração real, os saldos são empregados na reposição da água ao solo até que esse atinja sua capacidade máxima de armazenamento de água, quando então aparece excedente hídrico. A época de recarga do solo foi observada nos meses de novembro e dezembro.

Gráfico 5 - Gráfico do balanço hídrico climatológico da estação meteorológica de Barreiras, para o período de 1980 a 2020.



9. RECARGA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA

A bacia hidrográfica do rio Janeiro é composta por dois aquíferos, o sedimentar (Urucuia) e o Cárstico (Bambuú). No entanto, o aquífero Urucuia é o que possui maior potencial para suprir as demandas de água para o desenvolvimento das atividades econômicas da região, conforme testificados pelos poços produtores e estudos anteriores.

Neste estudo a avaliação do potencial do SAU na BHRJ foi feita com base na estimativa da Recarga Potencial Direta (RPD) e da Reserva Potencial Explotável (RPE), considerada como a disponibilidade sustentável para exploração do SAU, conforme metodologia apresentada nos itens 6.4 e 6.5.

A avaliação da recarga foi realizada em função da precipitação média estimada para a bacia (período de 1980-2020), a área de afloramento do Urucuia na bacia e o seu coeficiente de infiltração adotado para o Urucuia de 14% (ANA, 2013), obtendo-se como Recarga Potencial Direta (RPD) 20,18 m³/s; ao adotar-se um coeficiente de sustentabilidade (Cs = 0,20) sobre a RPD estima-se um valor de 4,05 m³/s para a Reserva Potencial Explotável (RPE) (Tabela 12).

Tabela 12: Parâmetros utilizados para a estimativa da RPD e RPE para a BHRJ.

Parâmetros	Valor
Área do Aquífero (km ²)	3.788,61
Precipitação Média (mm)	1.200,00
Coefficiente de Infiltração	0,14
Coefficiente de Sustentabilidade	0,20
RPD (m ³ /s)	20,18
RPE (m ³ /s)	4,05

Recarga Potencial Direta (RPD)

$$RPD = A \cdot C_i \cdot P$$

$$RPD = 3.788,61 \text{ km}^2 \cdot 0,14 \cdot 1.200 \text{ mm}$$

$$RPD = 20,18 \text{ m}^3/\text{s}$$

Reserva Potencial Explotável (RPE)

$$RPE = RPD \cdot C_s$$

$$RPE = 20,18 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 0,2$$

$$RPE = 4,05 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como a RPD representa uma parcela da precipitação pluviométrica média anual que infiltra e recarrega o aquífero, utilizando os dados da chuva precipitada na bacia e o coeficiente de infiltração, foi possível espacializar a variação da recarga na bacia (Figura 26).

Na análise da espacialização da RPD, observa-se que os valores decrescem de oeste para leste, acompanhando o comportamento da precipitação.

Os valores da Recarga Potencial Direta correspondem ao somatório da vazão de base dos volumes de água subterrâneas em exploração e da Recarga Potencial Direta (Figura 26). Para a estimativa da Reserva Potencial Explotável (RPE) atribuiu-se um Coeficiente de Sustentabilidade (C_s) de 0,2 à RPD encontrada. Na avaliação da espacialização da RPE na bacia hidrográfica do rio de Janeiro, nota-se que os valores da Reserva Potencial Explotável, reflete a RPD que decresce de oeste para leste, com valores 6,0 m³/s e 3,0 m³/s de água disponível para uso sustentável na bacia (Figura 29 e 30).

No entanto, nota-se que a partir da porção central para leste da bacia, a recarga e a disponibilidade apresenta pouca variação até 3,70 m³/s, essa área corresponde aproximadamente mais de 50% da área total do aquífero na área de estudo.

Observa-se que essa disponibilidade encontrada, considera o volume total disponível de água subterrânea na bacia, sem desconsiderar os volumes explotados atualmente, conforme pode ser observado nas Figuras 29, 30 e 31.

Figura 29 - Mapa de distribuição da Reserva Potencial Direta – RPD ($l/s/km^2$) anual estimada para o aquífero Urucuia na bacia do rio de Janeiro.

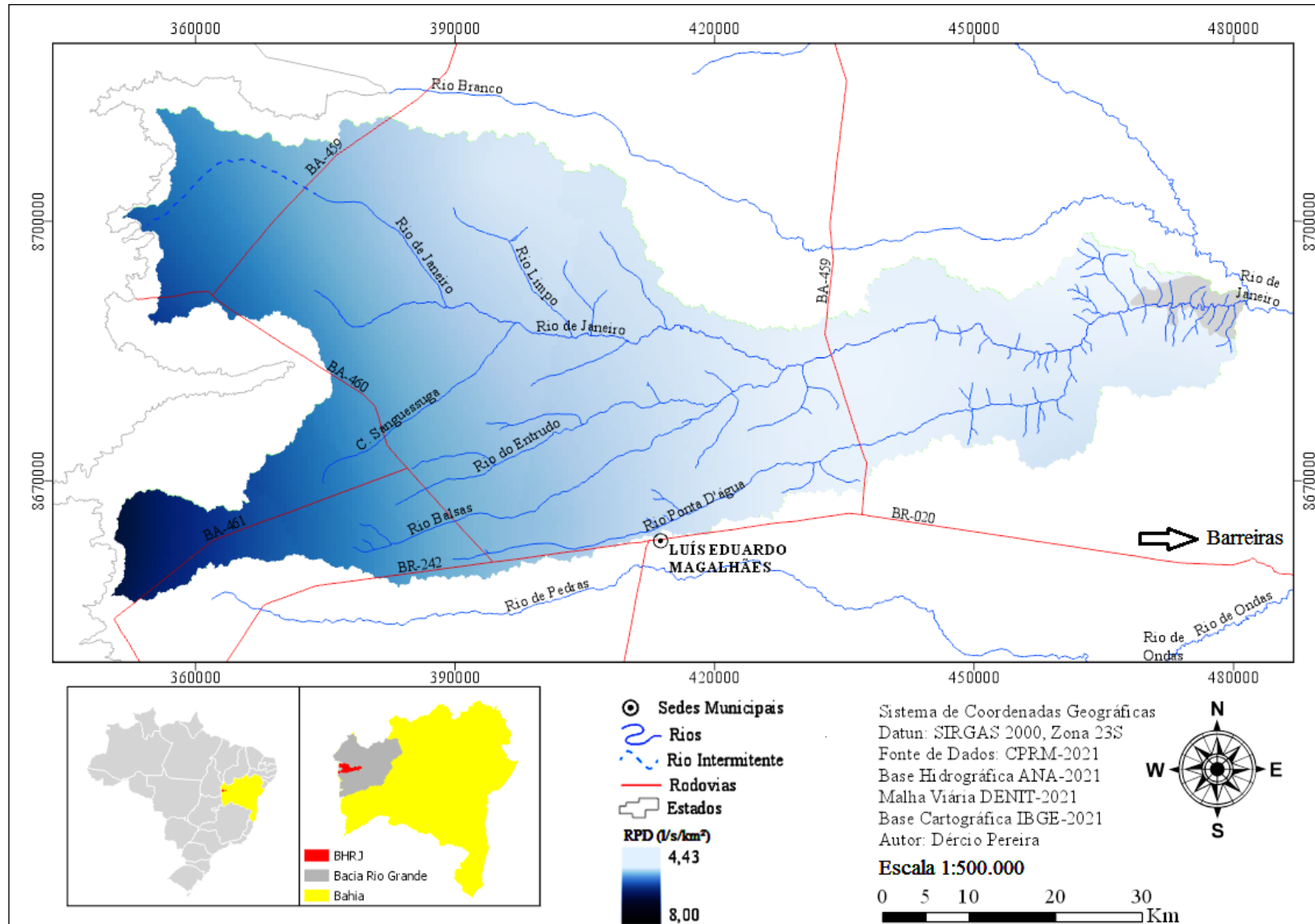


Figura 30 - Mapa de distribuição da Reserva Potencial Explotável – RPE (l/s/km²) anual estimada para o aquífero Urucuia na bacia do rio de Janeiro.

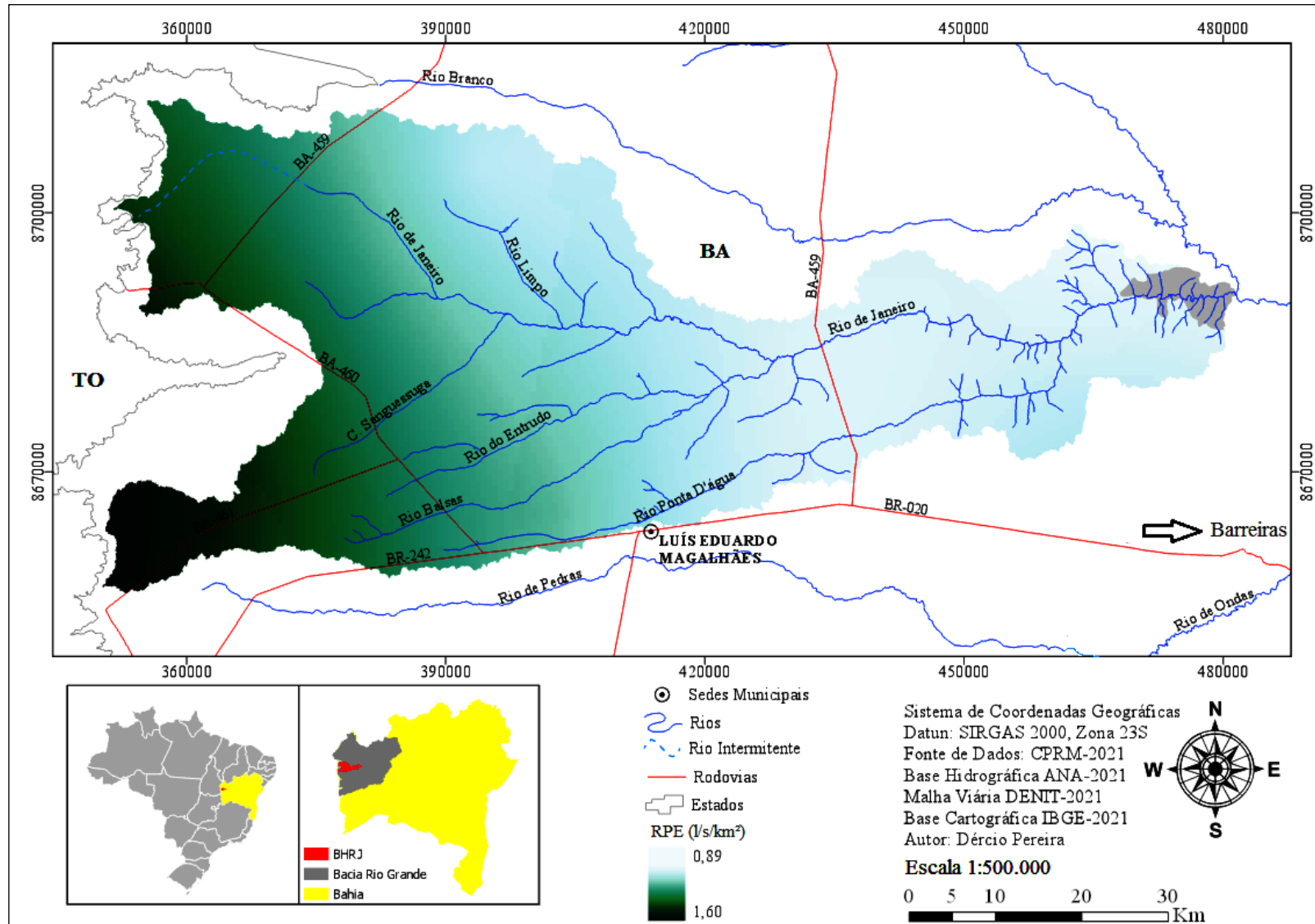
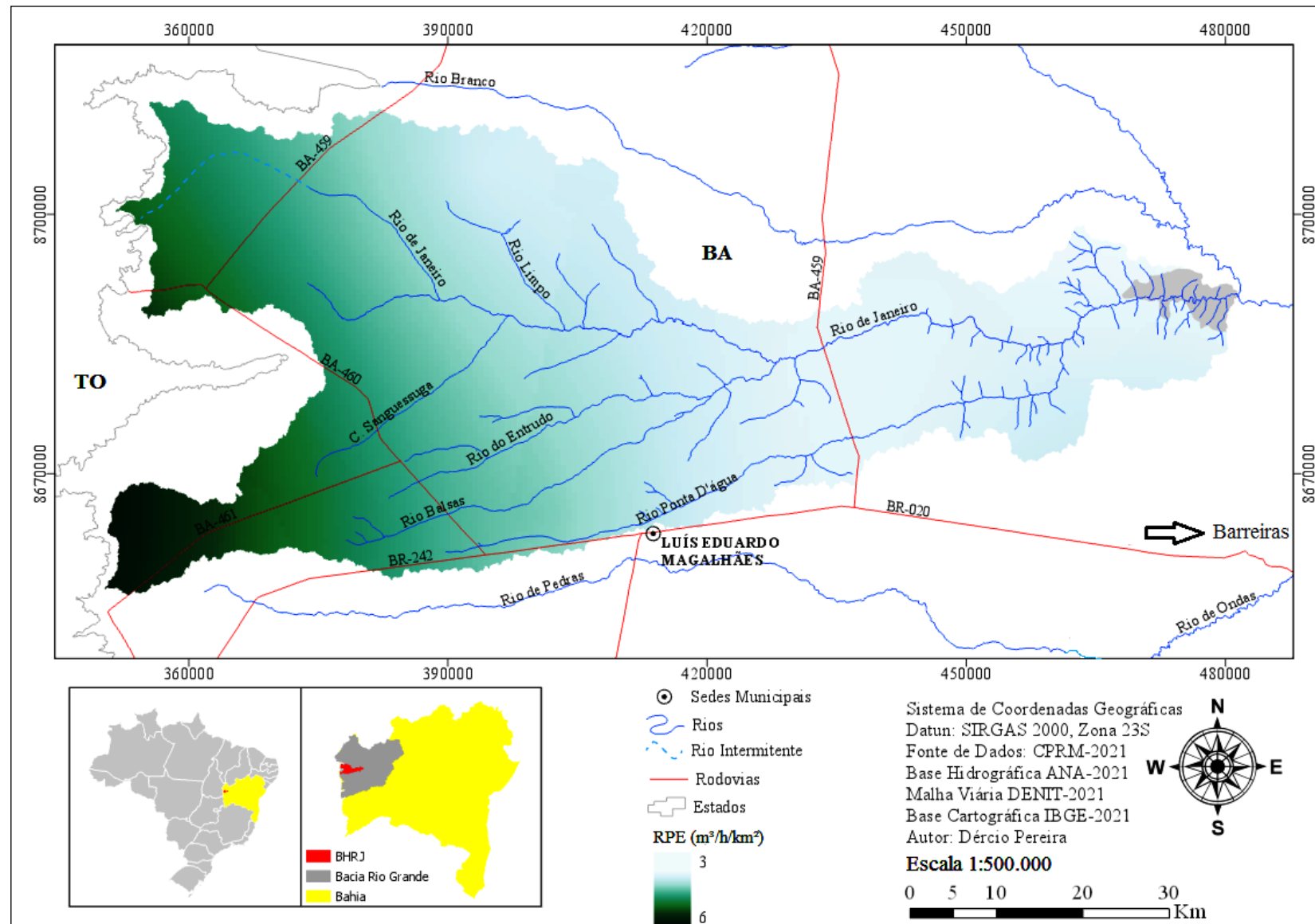


Figura 31 - Mapa de distribuição da Reserva Potencial Explotável – RPE ($m^3/h/km^2$) anual estimada para o aquífero Urucuia na bacia do rio de Janeiro.



9.1. Saldo Hídrico

A disponibilidade efetiva de água subterrânea de um aquífero constitui os recursos hídricos exploráveis disponíveis para uso, sem comprometer as reservas sustentáveis do aquífero, considerando os usos atualmente instalados em determinada bacia. Essa disponibilidade efetiva, denominada aqui neste estudo de saldo hídrico, considera como disponibilidade uma parcela do volume da reserva reguladora para exploração, conforme estimada no item anterior.

O saldo hídrico subterrâneo estimado para a bacia do rio de Janeiro neste estudo foi calculado a partir da subtração da Reserva Potencial Explorável (RPE) dos dados da exploração total dos poços cadastrados neste estudo, para os diversos usos na bacia do rio de Janeiro (Figura 32).

Essa estimativa foi apenas para o sistema aquífero Urucuia na bacia do rio de Janeiro, utilizando os dados da exploração dos poços na bacia e os localizados no entorno. Essa metodologia foi utilizada para garantir uma coerência na interpolação dos dados da exploração dos poços, conforme pode ser observado no mapa da Figura 33.

Os valores do saldo hídrico subterrâneo foram espacializados na área da BHRJ a partir da interpolação, onde é possível observar que nas áreas em azul são encontradas as áreas com reserva disponível, enquanto as regiões em vermelho apresentam valores de saldo hídrico subterrâneo negativo, ou seja, indicando que a exploração supera a disponibilidade hídrica subterrânea adotada neste estudo.

É possível notar que a região onde o saldo hídrico subterrâneo está comprometido na parte central da bacia – margem direita do rio Limpo e trecho médio do rio Balsas, onde se concentram os poços com maiores valores de vazão de exploração, utilizados na irrigação.

Figura 32 - Mapa de exploração de água subterrânea para o aquífero Urucuaia na bacia do rio de Janeiro, com cadastro de poços de 2020.

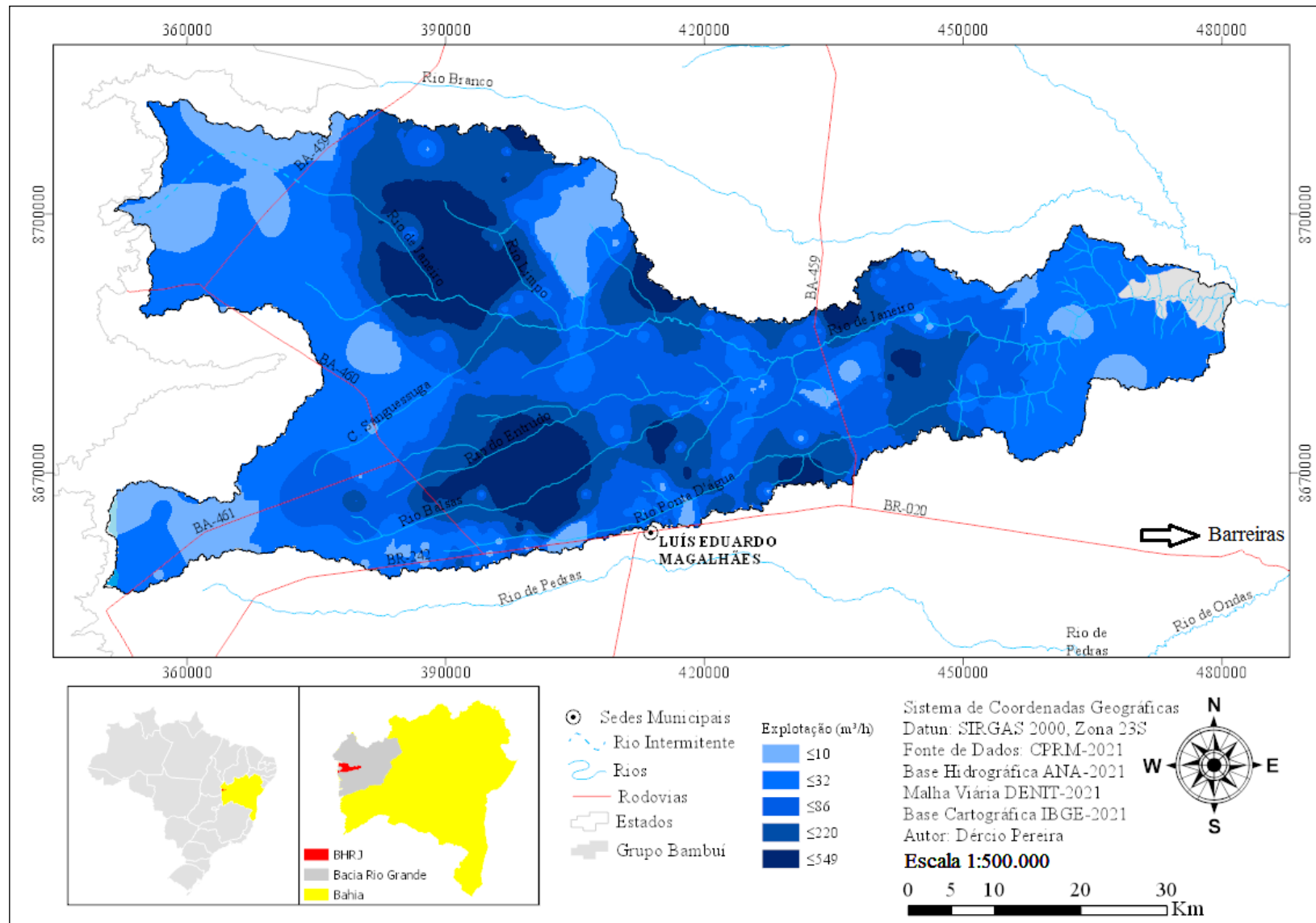
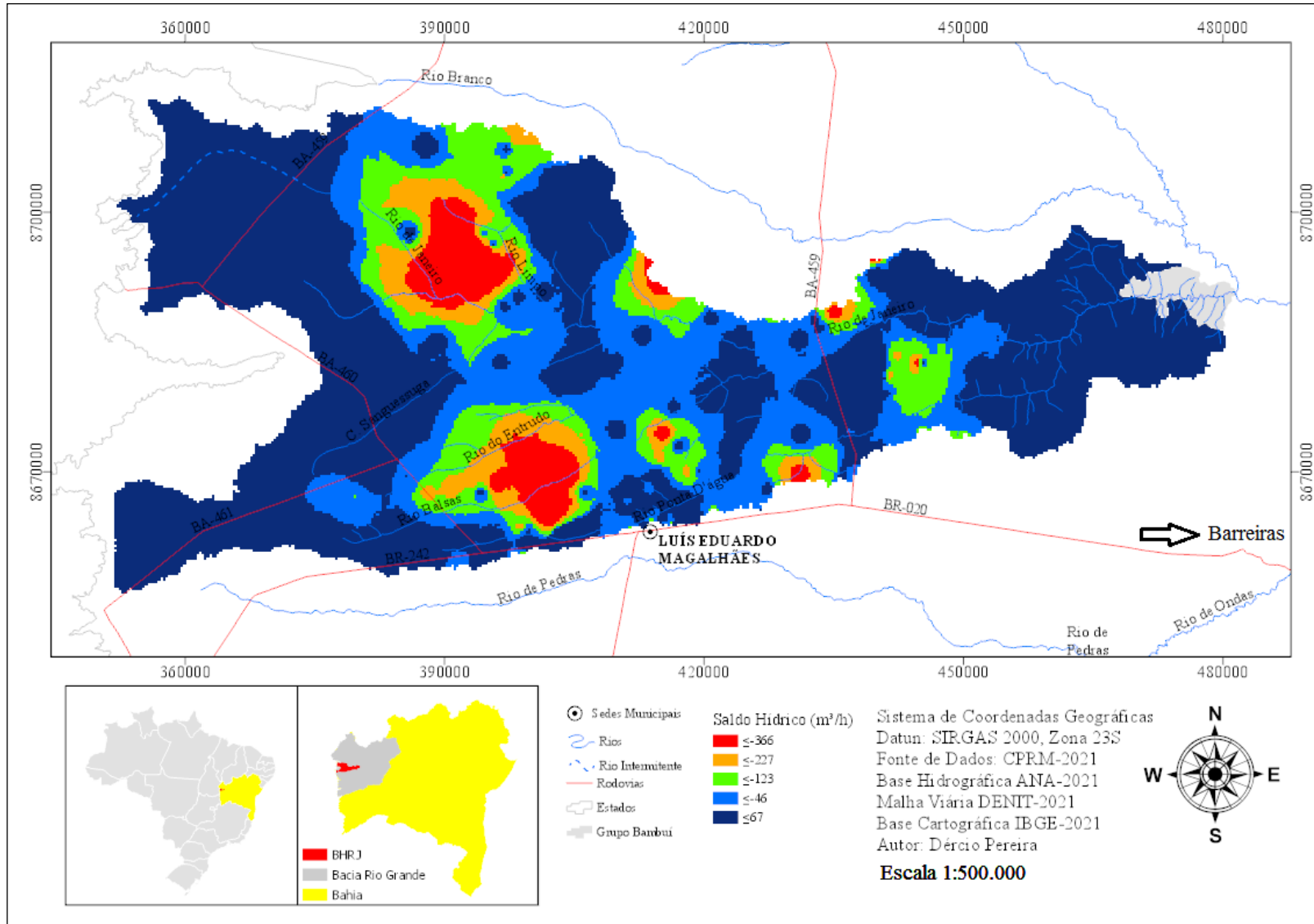


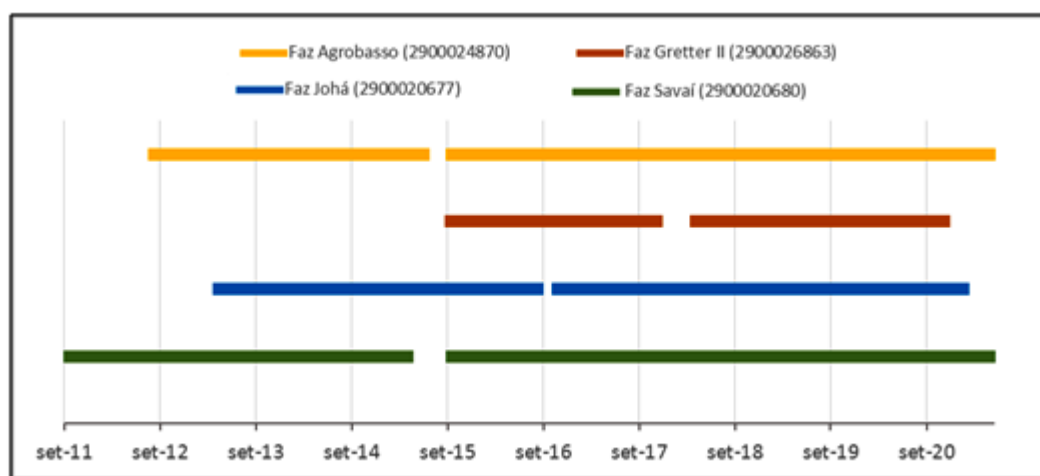
Figura 33 - Mapa do saldo hídrico do aquífero Urucuia na bacia do rio de Janeiro, com cadastro de poços de 2020.



9.2. Comportamento do Nível d'Água Subterrânea

A avaliação do comportamento do nível d'água subterrânea na BHRJ foi realizada a partir de quatro poços de monitoramento da RIMAS/CPRM um período de 10 anos, contudo não coincidentes entre todos os poços avaliados. Foram observadas algumas falhas no registro do monitoramento em todos os poços, sendo que o poço da Fazenda Johá foi que o apresentou o maior período sem registros, 484 dias no total. No entanto, essas falhas não comprometeram a análise dos dados para o comportamento do nível da água subterrânea (Figura 34).

Figura 34 - Gráfico de Grant mostrando início do monitoramento dos poços da RIMAS/CPRM.

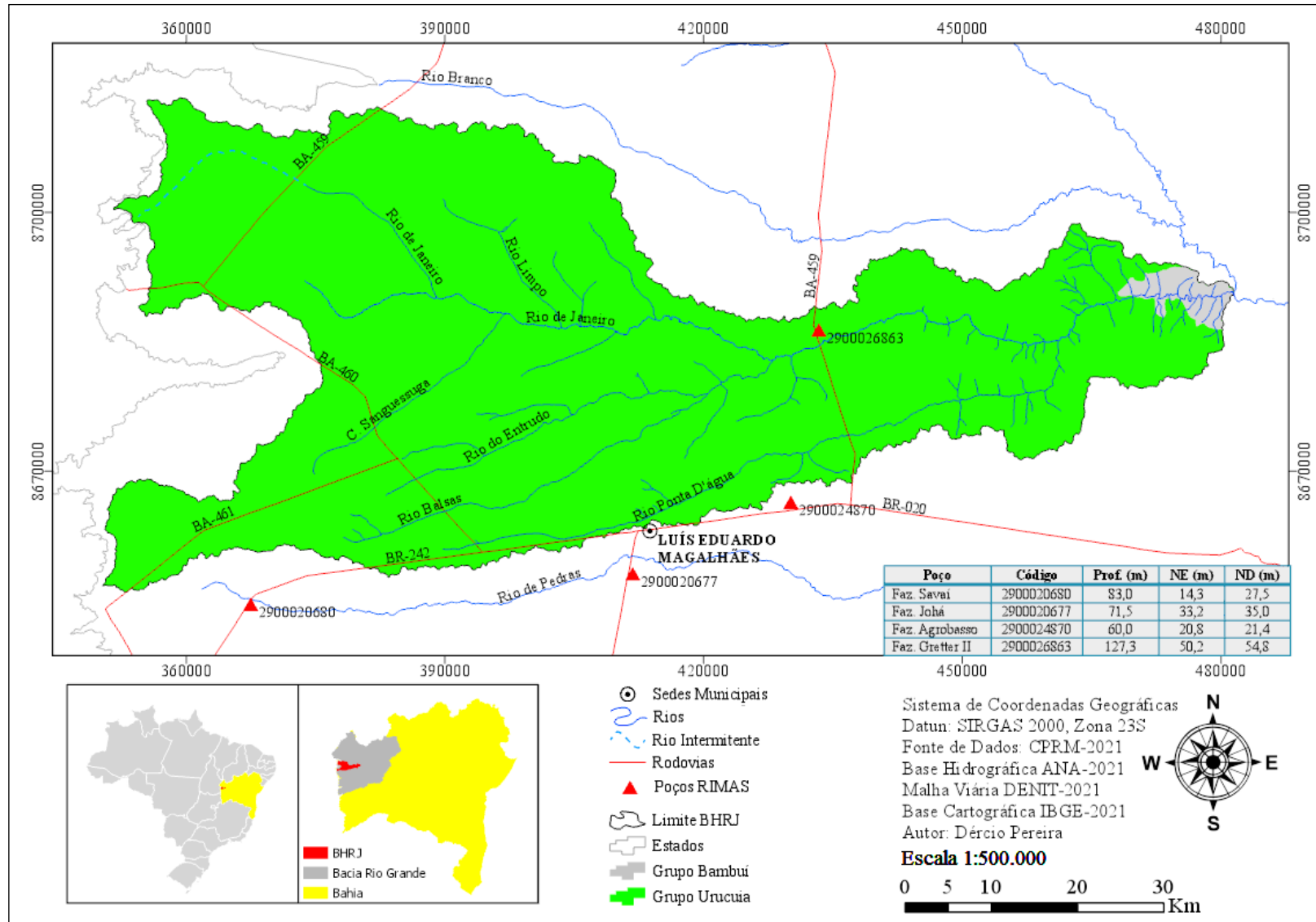


Avaliou-se o comportamento da variação sazonal dos níveis d'água subterrânea (NA) e a pluviometria das estações localizadas na bacia do rio de Janeiro e no seu entorno. Os quatro poços (Tabela 13) exibem variações ao longo do período de monitoramento, os quais manifestam uma tendência de rebaixamento. Dentre os 04 poços de monitoramento, um deles é situado dentro dos limites da BHRJ e os outros três em suas adjacências (Figura 35).

Tabela 13: Poços de monitoramento da RIMAS/CPRM estudados na bacia do rio de Janeiro e adjacências.

Código RIMAS/CPRM	Nome do Poço	Início/Final Monitoramento	Nível Inicial (m)	Nível final (m)	Varição Nível (m)
2900020680	Faz. Savaí	06/09/2011 a 22/05/2021	15,06	21,43	-6,37
2900020677	Faz. Johá	16/04/2013 a 23/01/2021	33,11	33,55	-0,44
2900024870	Faz. Agrobasso	14/08/2012 a 20/05/2021	21,47	24,69	-3,07
2900026863	Faz. Gretter II	02/10/2015 a 13/11/2020	49,87	49,8	0,07

Figura 35 - Mapa de poços da RIMAS/CPRM utilizados na avaliação do nível d'água subterrânea na bacia hidrográfica do rio de Janeiro.



Observam-se ainda no registro de monitoramento as oscilações sazonais do nível d'água subterrânea, em que as elevações do nível começam a partir do mês de outubro, quando começa a estação chuvosa na região; continua até o mês de março, onde alcança o seu pico máximo. A partir do mês de abril a carga hidráulica diminui, quando diminuem também os volumes precipitados na região. Essa variação sazonal marca o ano hidrológico no oeste baiano que inicia no mês de outubro e vai até abril (Figura 36).

Os dados de níveis de todos os poços exibem a oscilação sazonal devido à recarga do período chuvoso e embora exista uma tendência geral de rebaixamento dos níveis, cada poço mostra um comportamento individualizado, sendo influenciado pela hidrogeologia local (perfil atravessado) e pelas condições locais (uso da terra, da água). Assim, apresenta-se a seguir uma análise individualizada do comportamento da variação dos níveis em cada poço.

Figura 36 - Gráfico da variação da carga hidráulica acumulada do nível da água subterrânea, nos poços da bacia do rio de Janeiro e seu entorno.

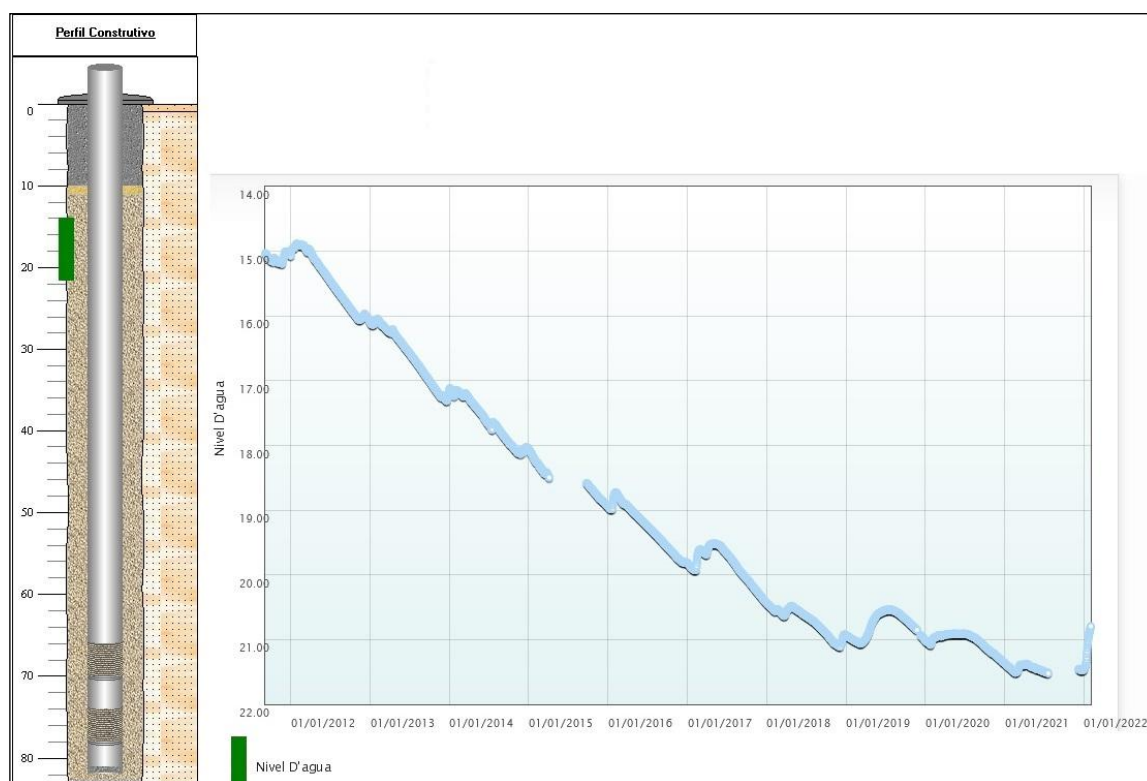


9.2.1. Poço RIMAS/CPRM 2900020680 (Fazenda Savaí)

O poço Fazenda Savaí está localizado no município de Luís Eduardo Magalhães próximo a Serra Geral de Tocantins, oeste da área de estudo e no divisor hidrogeológico do SAU, numa região com intensa atividade agrícola de sequeiro, sendo que a exploração da água subterrânea se dá em sua maior parte para abastecer as sedes das fazendas e a atividade de pulverização agrícola.

Esse poço tem 83 metros de profundidade e seu perfil litológico mostra o aquífero Urucuia mais homogêneo, composto por um arenito fino e com intercalações de arenito fino a médio (Figura 37).

Figura 37 - Perfil construtivo e gráfico de evolução do nível d'água no poço de monitoramento Fazenda Savaí (2900020680). Fonte: RIMAS/CPRM (2022).



Na avaliação do nível d'água subterrânea foi possível observar uma tendência de rebaixamento constante desde o início do monitoramento (setembro/2011), com padrão decrescente até o final do período de dados analisados (maio/2021). Apresenta variações médias da ordem de -0,66 m/ano; e um rebaixamento de cerca de -6,50 metros, considerando todo o período histórico de monitoramento analisado. Numa análise mais detalhada, por ano hidrológico, observou-se que a amplitude máxima de rebaixamento do nível d'água de 1,0 m ocorrida no ano hidrológico de 2012/2013, com declínio contínuo do nível, atingindo uma estabilidade no ano de 2021.

Nota-se, contudo, que o nível d'água inicia uma tendência de estabilidade a partir do final de 2018, quando o rebaixamento diminui para o patamar 0,30 m/ano.

A variação do nível d'água comporta-se de forma sazonal, com picos de elevação, em geral, no mês de março, sem, no entanto, recuperar o nível registrado no início do monitoramento (Tabela 14).

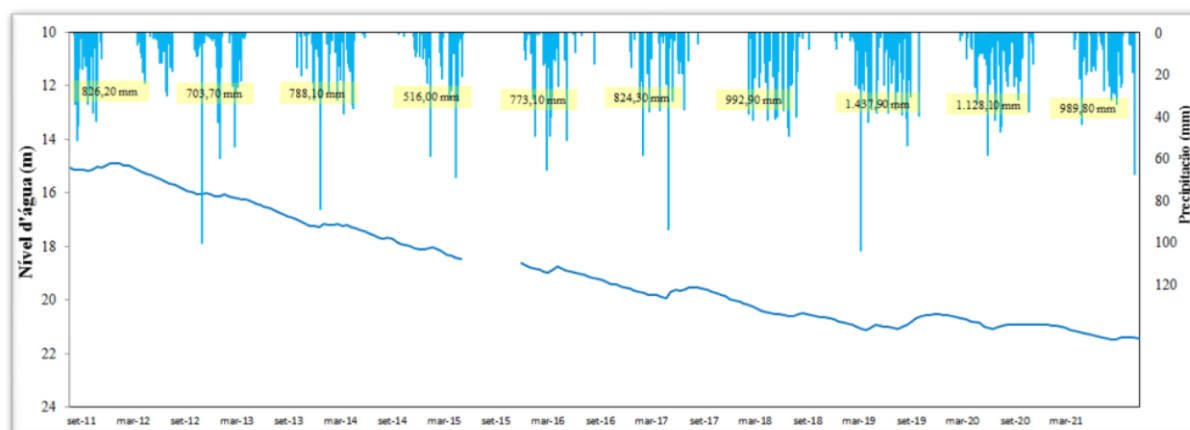
Tabela14: Variação anual do nível da água subterrânea ($\Sigma\Delta h$, em metros) do Sistema Aquífero Urucuia, com a precipitação anual correspondente (Estação Pluviométrica Faz. Savaí- 1246008).

Período de Monitoramento	$\Sigma\Delta h$ (m)	Precipitação (mm)
2011-2012	-0,71	836,2
2012-2013	-1,17	703,7
2013-2014	-0,79	788,1
2014-2015	-0,73	516
2015-2016	-0,87	773,1
2016-2017	-0,37	824,3
2017-2018	-0,84	992,9
2018-2019	-0,32	1.437,90
2019-2020	-0,4	1.128,10
2020-2021	-0,38	989,8
Média	0,66	899,01

O gráfico da Figura 38 mostra as precipitações diárias e sua relação com a variação do nível da água subterrânea registrados no período de 2011-2021 para os anos hidrológicos analisados. Foi registrado um volume anual médio precipitado de 899,01 mm/ano para esse período de 10 anos. O maior declínio do nível (1,17 m) registrado no ano hidrológico de 2012/2013 provavelmente está relacionado a uma sequência de baixos volumes anuais precipitados na bacia, abaixo da média anual (1.200 mm); assim como a diminuição da tendência de rebaixamento de 1,0 para 0,30 metros, a partir do ano hidrológico de 2018/2019 também reflete o aumento sequencial do volume anual de chuva na bacia.

Esse comportamento de declínio do nível da água subterrânea observado no poço para o intervalo estudado pode ter uma relação com a sua posição geográfica dentro da bacia hidrográfica, visto que este poço está na região do principal divisor hidrogeológico o SAU.

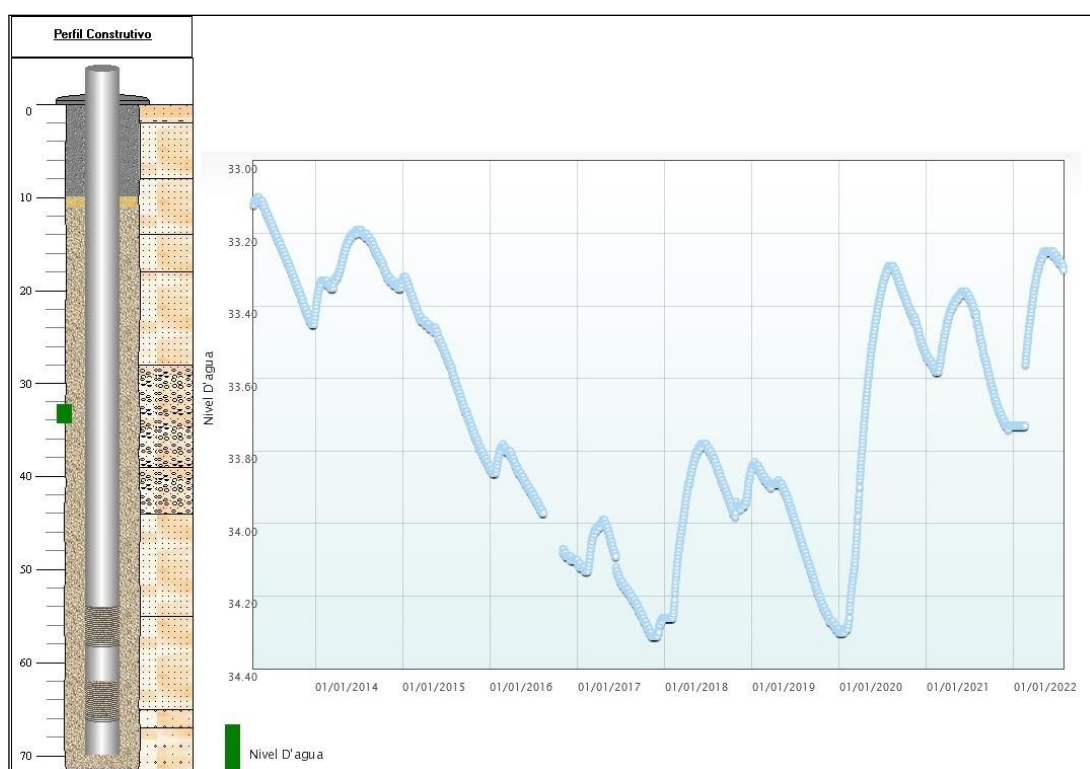
Figura 38 - Relação do registro da precipitação com a variação do nível da água subterrânea no poço Fazenda Savaí, no período de 2011 a 2021.



9.2.2. Poço RIMAS/CPRM 2900020677 (Fazenda Johá)

O poço de monitoramento Fazenda Johá está situado ao sul, cerca de 2,5 km da sede municipal de Luís Eduardo Magalhães, parte externa central da área estudada. Está numa área com intensa atividade de agricultura de sequeiro e de irrigação de águas superficiais, com poços de pequenas vazões, mas também com a presença de poços de grandes vazões que chegam a 500 m³/h. Esse poço de monitoramento tem 71,50 metros de profundidade, instalado numa área com solo arenoargiloso. Quanto ao contexto hidrogeológico o poço atravessa uma sequência de arenitos finos a médio, seguido de arenitos associados com seixos quartzosos e na base da sequência arenitos grossos (Figura 39).

Figura 39 - Perfil construtivo e gráfico de evolução do nível d'água no poço de monitoramento Fazenda Johá (2900020677). Fonte: RIMAS/CPRM (2022).



O monitoramento do nível d'água subterrânea no poço Fazenda Johá iniciou em 2013, sendo avaliado neste trabalho até 2021 (Tabela 15). A representação gráfica desse monitoramento (Figura 39) mostra uma tendência de ascensão do nível da água subterrânea no final do registro analisado, com uma pequena falha de observação comprometida em meados de 2016. A variação média anual do nível d'água subterrânea nesse poço analisado é de -0,10 m/ano. Segundo observado no gráfico, o nível da água começa a rebaixar de forma constante desde no ano de 2013, quando atinge seu valor mínimo em todo o registro analisado e inicia uma recuperação no início de janeiro de 2020.

Tabela 15: Variação anual do nível da água subterrânea ($\Sigma\Delta h$, em metros) do Sistema Aquífero Urucuaia, no poço Fazenda Johá RIMAS/CPRM (2900020677) e precipitação anual correspondente (estação pluviométrica Fazenda Johá - 1245014).

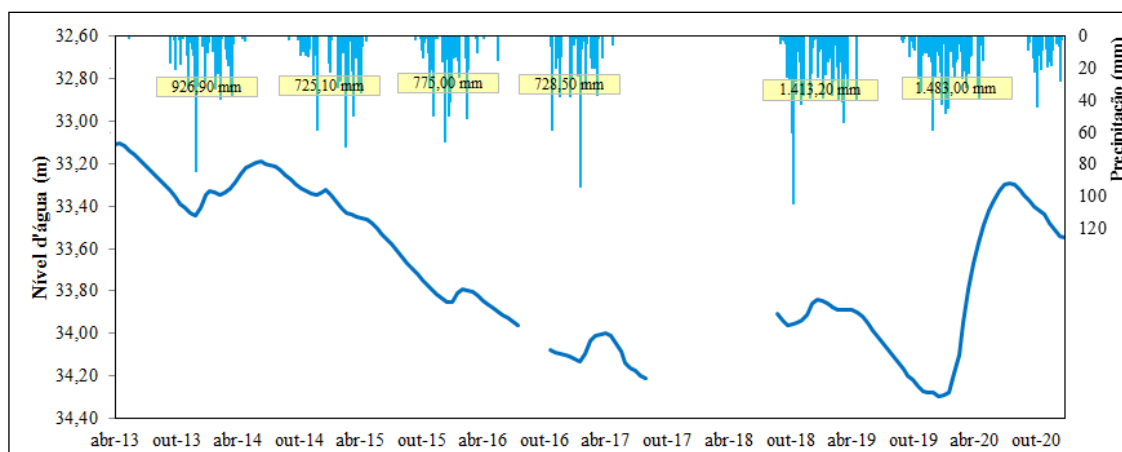
Período de Monitoramento	$\Sigma\Delta h$ (m)	Precipitação (mm)
2013-2014	-0,11	926,90
2014-2015	-0,41	725,10
2015-2016	-0,30	775,00
2016-2017	-0,13	775,00
2018-2019	-0,20	1.413,20
2019-2020	0,56	1.483,00
Média	0,10	1.116,37

É possível observar também que o ano hidrológico de 2014/2015 registrou o maior rebaixamento do nível d'água (-0,41 metros), provavelmente resultado de três anos seguidos com precipitações anuais com cerca de 33% abaixo da média na bacia.

O gráfico da Figura 40 mostra ainda um comportamento cíclico anual, com pequenas variações sazonais. Essas variações possuem uma relação direta com os eventos de precipitação. As flutuações do nível d'água subterrânea coincidem com o período das chuvas na região, em uma resposta direta, no entanto, mais lenta, onde é possível observar que as elevações (picos), ocorrem a partir de dezembro, um mês após os eventos chuvosos que se inicia no final de outubro e o início do rebaixamento nos meses de março e abril.

Nesta mesma figura, nota-se que o período de maior frequência das chuvas ocorre entre os meses de outubro a março e com período mais seco nos meses de maio a setembro.

Figura 40 - Relação do registro da precipitação com a variação do nível da água subterrânea do poço Fazenda Johá (2900020677), no período de 2013 a 2021.

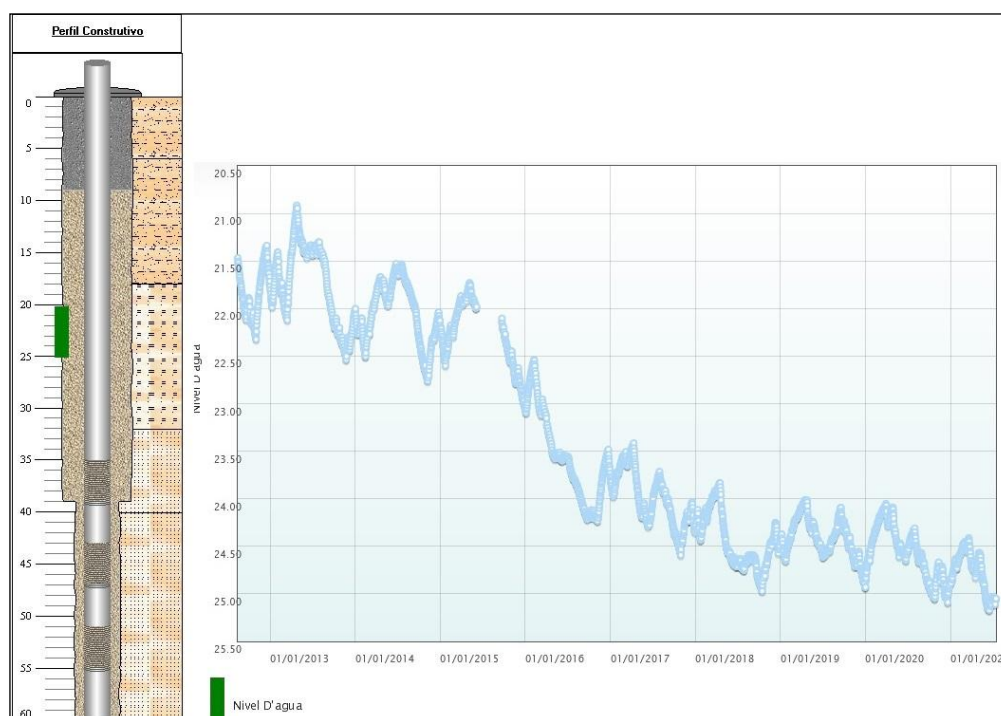


O comportamento de declínio observado para o intervalo estudado pode ter uma relação com a chuva como resposta pela precipitação abaixo da média nos anos de 2013-2016. Mesmo com a falta de informações observa-se uma recuperação do nível da água subterrânea, essas variações podem ser explicadas pelo aumento na precipitação, como mostra no gráfico uma recuperação brusca do nível observado a partir do ano de 2018, quando o NA máximo foi de 33,51 metros.

9.2.3. Poço RIMAS/CPRM 2900024870 (Fazenda Agrobasso)

O poço de monitoramento Fazenda Agrobasso está instalado no município de Barreiras, na parte central externa da área da bacia, próximo à BR-020. A atividade agrícola da região de influência do poço é de sequeiro e irrigação com exploração de poços de alta vazão. O poço de monitoramento está instalado a 1.800 metros de um poço de alta vazão (500 m³/h) utilizado para irrigação, bem como existem os poços de pequenas vazões para usos insignificantes em seu entorno. A litologia do poço atravessado com profundidade de 60,0 m, consiste em arenito argiloso, posteriormente arenito siltoso conglomerático e a partir da metade da perfuração até o final arenitos silicificados e conglomeráticos (Figura 41).

Figura 41 - Perfil construtivo e evolução do nível d'água no poço de monitoramento Fazenda Agrobasso (2900024870). Fonte: RIMAS/CPRM (2022).



A Tabela 16 apresenta a variação do nível d'água subterrânea no poço Fazenda Agrobasso, no período analisado, com a precipitação anual correspondente.

Tabela 16: Variação anual do nível da água subterrânea ($\Sigma\Delta h$, em metros) do Sistema Aquífero Urucua, no poço Fazenda Agrobasso RIMAS/CPRM (2900024870) e precipitação anual correspondente (estação pluviométrica Fazenda Johá - 1245014).

Período de Monitoramento	$\Sigma\Delta h$ (m)	Precipitação (mm)
2012-2013	-0,07	897,7
2013-2014	0,11	788,1
2014-2015	0,02	721,5
2015-2016	-1,9	775,9
2016-2017	0,17	843,5
2017-2018	-0,51	978,6
2018-2019	0,22	1.413,20
2019-2020	-0,35	1.128,10
2020-2021	-0,32	989,8
Média	0,29	948,49

Nota-se no gráfico da Figura 40, que desde o início do monitoramento, o nível da água subterrânea tende a um declínio constante ao longo dos anos hidrológicos estudados. Esse comportamento de queda do nível vai até o final do ano hidrológico 2015-2016, com uma variação anual de rebaixamento de cerca de -2,0 metros; após esse ano hidrológico observa-se uma diminuição dessa tendência, quando o rebaixamento médio anual diminui para -0,30 metros em média por ano, até o final de período analisado. Esse comportamento de diminuição da tendência de rebaixamento nos últimos anos, provavelmente se deve ao aumento da precipitação média anual.

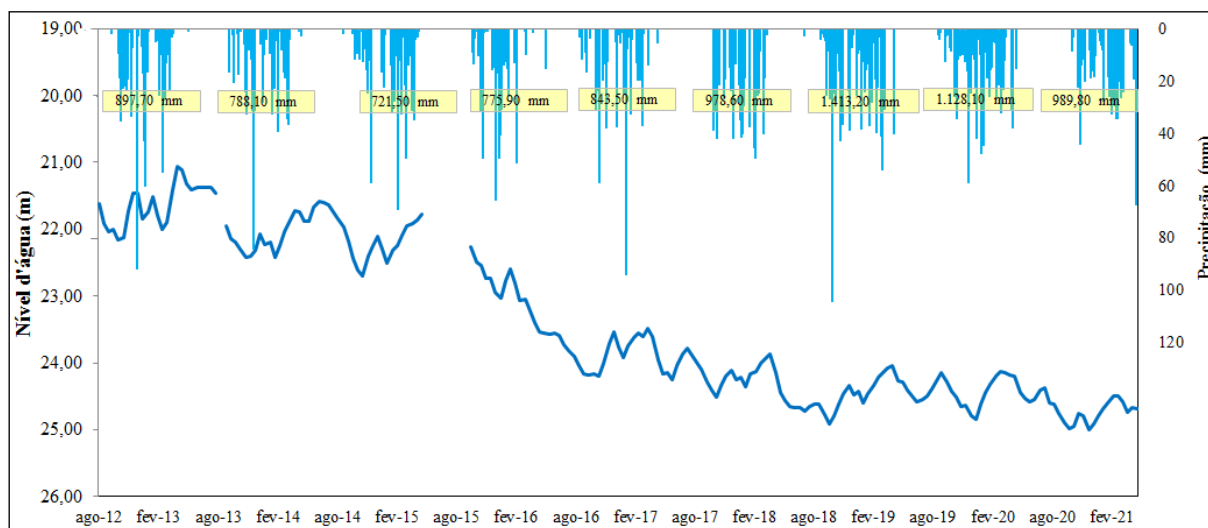
É possível observar que o ano hidrológico de 2012/2013, teve o menor rebaixamento do seu nível (- 0,07 m); enquanto nos hidrológicos 2016-2017 e 2018-2019, apresentaram o mesmo comportamento com uma recuperação média de 0,20 m/ano do nível da água subterrânea.

O gráfico mostra que o nível da água apresenta um comportamento de várias subidas e descidas ao longo do ano, além do comportamento relacionado ao período chuvoso. Esse comportamento pode estar relacionado à sua posição geográfica na parte central da bacia, visto que esse poço de monitoramento está localizado próximo a outro para exploração de alta vazão para irrigação via pivô e uma área de descarga do aquífero.

O comportamento de declínio observado para o intervalo estudado, pode não ter uma relação com a chuva como, sendo que neste período a precipitação é constante não possível observar chuvas abaixo da média que justifique o declínio do nível da água subterrânea, como pode ser visto na Figura 42 do gráfico a precipitação tende um pequeno aumento a partir do

ano 2015-2016, o que pode explicar à pequena recuperação e estabilização do nível da água observada a partir do ano de 2015-2016.

Figura 42 - Relação do registro da precipitação com a variação do nível da água subterrânea do poço Fazenda Agrobasso (2900024870), no período de 2012 a 2021.

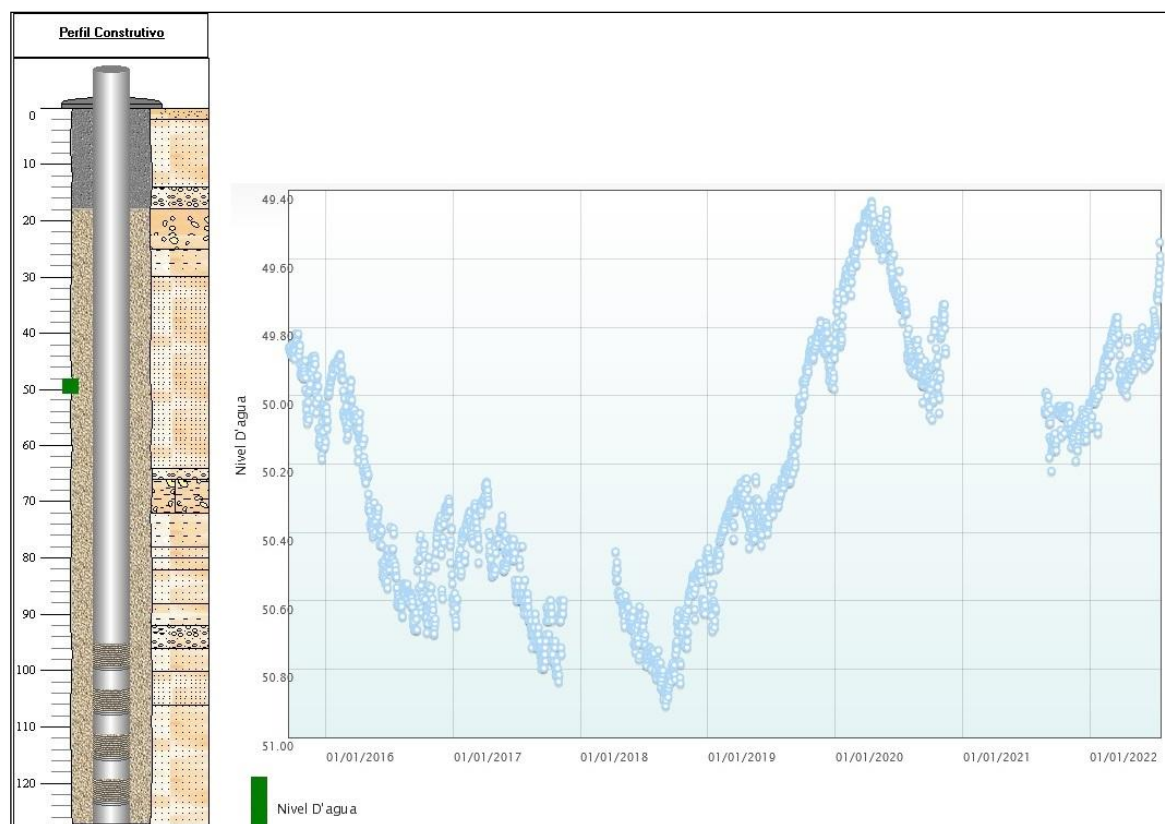


9.2.4. Poço RIMAS/CPRM 2900026863 (Fazenda Gretter II)

O poço de monitoramento Fazenda Gretter II, está localizado no município de Barreiras, na parte leste da bacia, sendo o único dos poços de monitoramento analisados dentro dos limites da bacia hidrográfica do rio de Janeiro, próximo a Cachoeira do Acaba Vida. O poço situa-se em uma região de intensa atividade agrícola principalmente irrigada com captações subterrâneas. Está instalado a 2.500 m do poço de alta vazão (500 m³/h) utilizado para irrigação desde 2012, como também existência de poços para captação de pequenas vazões para usos, como abastecer as sedes das fazendas, pulverização agrícola e dessedentação animal.

No contexto hidrogeológico este é o poço de monitoramento mais profundo (127,30 m) analisado e com as maiores oscilações do NA. O perfil é composto por vários níveis de conglomerado e arenito silicificado. Na base é constituído por um arenito fino que intercala com arenito silicificado e gradando para um arenito com seixos quartzosos, alternando com um arenito fino que intercala com arenitos silicificados, conglomerados, arenitos com seixos de quartzos e no topo apresenta arenitos finos (Figura 43).

Figura 43 - Perfil construtivo e gráfico de evolução do nível d'água no poço de monitoramento Fazenda Gretter II (2900026863). Fonte: RIMAS/CPRM (2022).



A Tabela 17 apresenta a variação do nível d'água subterrânea no poço e chuva correspondente do ano, onde é possível observar que os picos de elevação apresentam valores assimétricos com alternâncias nos picos de elevação, com um rebaixamento médio total de -0,32 m ao ano, sendo que se observa uma inversão nesse comportamento nos dois últimos anos do período analisado, quando ocorre uma elevação de cerca de 0,34 metros no registro. Observa-se que o ano hidrológico de 2015/2016, teve o maior rebaixamento do seu nível (-0,75 m); enquanto nos anos hidrológicos 2018-2019 e 2019-2020 apresentaram uma recuperação com estabilização de 0,34 m/ano do nível da água subterrânea.

Tabela 17: Variação anual do nível da água subterrânea ($\Sigma\Delta h$, em metros) do Sistema Aquífero Urucuia, no poço Fazenda Gretter II RIMAS/CPRM (2900026863) e precipitação anual correspondente (estação pluviométrica Ponte do Serafim – Montante – 1145013).

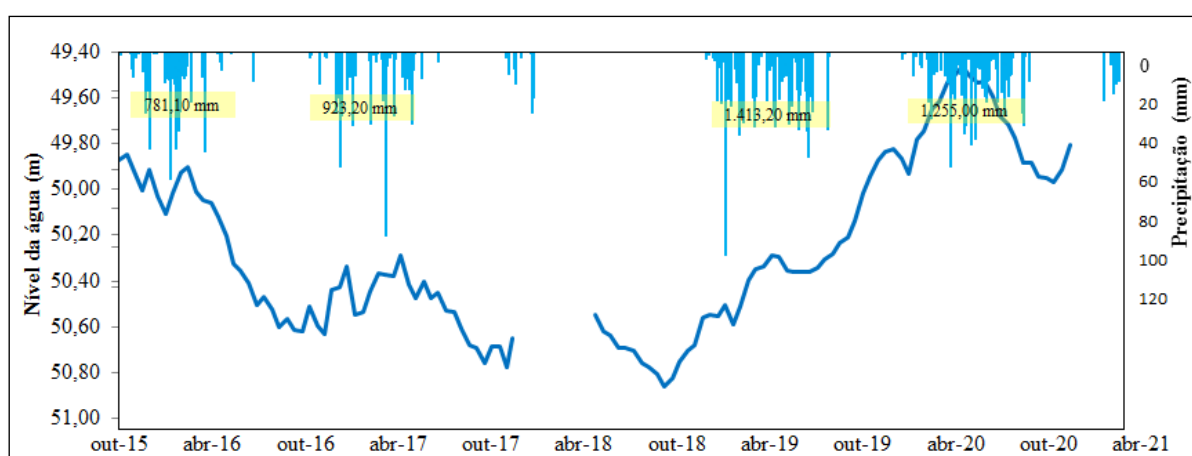
Período de Monitoramento	$\Sigma\Delta h$ (m)	Precipitação (mm)
2015-2016	-0,75	781,80
2016-2017	-0,25	923,20
2018-2019	0,34	1.413,20
2019-2020	0,34	1.225,00
Média	0,08	1.085,80

Desde o início do monitoramento, mesmo com as falhas de dados observadas no intervalo de novembro de 2017 a abril de 2018, é visível que o nível da água subterrânea tende a um declínio constante até meados de outubro de 2018, quando inicia uma recuperação também constante até meados de abril de 2020, não rebaixando mais a patamares dos anos anteriores até o final do registro avaliado.

O gráfico da Figura 44 mostra que o comportamento do nível d'água subterrânea ao longo do tempo em comparação com a chuva. O monitoramento mostra que as elevações do nível da água têm um comportamento cíclico anual com pequenas variações menores, semelhante aos registros na maioria dos poços da região.

Essas variações do nível da água subterrânea possuem uma relação com precipitação, e pode-se notar que as flutuações coincidem com o período das chuvas na região, em uma resposta direta, onde é possível observar que as elevações (picos) ocorrem a partir do mês de novembro, quando inicia os eventos chuvosos na região e começa a rebaixar a partir de abril que é final do período de chuva região.

Figura 44 - Relação do registro da precipitação com a variação do nível da água subterrânea do poço Fazenda Gretter II (2900026863), no período de 2015 a 2021.



9.3. Estimativa da Recarga com VNA

A partir da avaliação da variação dos níveis d'água subterrânea nos poços de monitoramento procedeu-se a estimativa da recarga do aquífero Urucua na bacia, com aplicação do método WTF (*Water Table Flutation*) ou VNA (Variação do Nível d'Água). Para essa estimativa utilizou-se a observação do comportamento do nível d'água subterrânea nos anos hidrológicos da região. Para a recarga, o S_y (rendimento específico) utilizado para os cálculos foi de 0,154715 determinados a partir da média do cálculo da condutividade hidráulica (K), obtidos nos testes realizados por Schuster (2001) na sub-bacia do rio do Cachorro ou Ponta D'Água, afluente do Rio de Janeiro, através fórmula denominada de

equação de Bieciniski (Equação 9), conforme detalhado no item 5.4, onde a recarga é igual o S_y multiplicado pelo Δh .

$$S_y = 0,117 \cdot \sqrt[3]{K} \quad (\text{Equação 9})$$

A Tabela 18 mostra o resumo das estimativas de recarga nos quatro poços de monitoramento da BHRJ com o método VNA. A recarga média foi de 227,01 mm, que corresponde a 23,66% da precipitação na bacia nos anos hidrológicos avaliados (985,48 mm).

Tabela 18: Parâmetros da estimativa da recarga pelo método VNA, para os poços de monitoramento da RIMAS/CPRM na bacia do rio de Janeiro.

Código RIMAS do Poço	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)	Estação Pluviométrica
Fazenda Savaí (2900020680)	82,77	9,17	899,01	Fazenda Savaí 1246008
Fazenda Johá (2900020677)	68,07	6,03	1.008,62	Fazenda Johá 1245014
Fazenda Agrobasso (2900024870)	484,9	53,61	948,49	Fazenda Johá 1245014
Fazenda Gretter II (2900026863)	272,3	25,83	1.085,80	Ponte Serafim 1145013
Média	227,01	23,66	985,48	

Ao analisar a tabela observa-se que dois poços (Savaí e Johá) apresentaram estimativas semelhantes de recarga, enquanto os demais (Gretter II e Agrobasso), valores bem destoantes.

9.3.1. Poço RIMAS/CPRM 2900020680 (Fazenda Savaí)

Utilizou o registro de dez anos de monitoramento do nível d'água subterrânea do poço Fazenda Savaí para calcular a recarga anual do SAU. Nessa avaliação observou-se a relação da recarga calculada anualmente com a precipitação registrada na estação pluviométrica 1246008 - Fazenda Savaí (Tabela 19). Segundo análise do período analisado, a recarga registrada neste poço foi em média 82,77 mm, o que representa cerca de 9,17% da precipitação da estação pluviométrica analisada. O ano hidrológico de 2014-2015 registrou a menor a recarga, com valor de 37,00 mm, correspondendo a apenas 7,0% de precipitação registrada no mesmo ano hidrológico (516 mm).

Nota-se que no período de 2011-2019, o nível da água subterrânea apresenta um comportamento sazonal que vai até o ano de 2017, com uma recarga média de 74,0% das precipitações registradas para os anos hidrológicos estudados, exceto para o ano 2014-2015

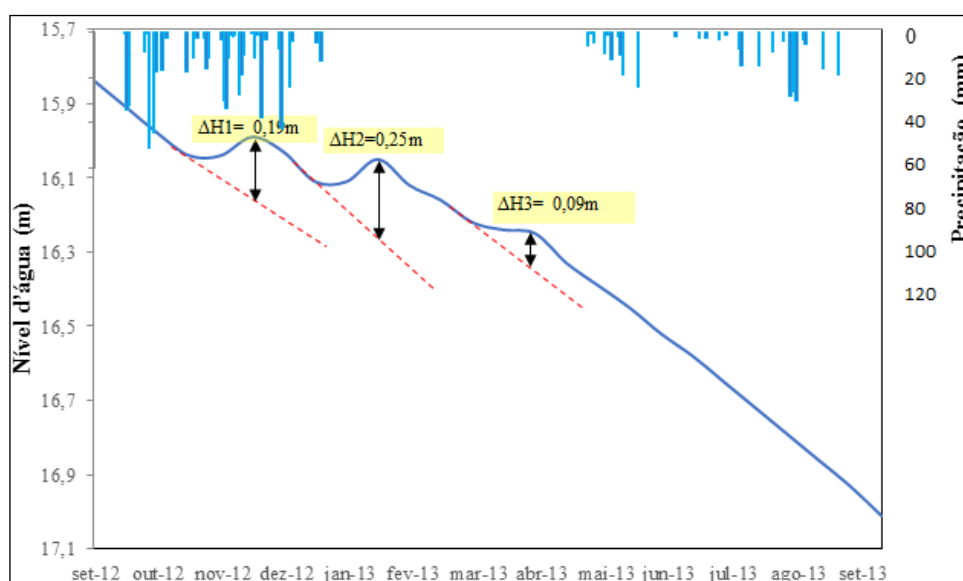
que houve uma queda na precipitação, registrando o valor máximo de 516 mm, muito abaixo da média registrado em anos anteriores (Tabela 19).

Tabela 19: Parâmetros da estimativa da recarga pelo método VNA para o poço RIMAS 2900020680.

Período de Monitoramento	Δh (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2011-2012	0,53	82,00	9,81	836,20
2012-2013	0,61	94,37	13,41	703,70
2013-2014	0,45	69,62	8,83	788,10
2014-2015	0,24	37,13	7,20	516,00
2015-2016	0,34	52,60	6,80	773,10
2016-2017	0,76	117,57	14,26	824,30
2017-2018	0,43	66,52	6,70	992,90
2018-2019	1,15	177,92	12,37	1.437,90
2019-2020	0,41	63,43	5,62	1.128,10
2020-2021	0,43	66,52	6,72	989,80
Média	0,53	82,77	9,17	899,01

A partir do 2017-2018 o comportamento do nível da água subterrânea apresenta sinais de recuperação com menor patamar de rebaixamento, inclusive tendendo a uma estabilidade, devido ao aumento da precipitação com médias registradas acima dos 1.000 mm. Esse comportamento mostra a influência da precipitação e uma resposta lenta na elevação dos níveis da água subterrânea e conseqüentemente na recarga do aquífero. Na Figura 45 pode ser observado um exemplo da estimativa da recarga a partir da variação sazonal do nível da água no poço, refletindo as variações das precipitações anuais.

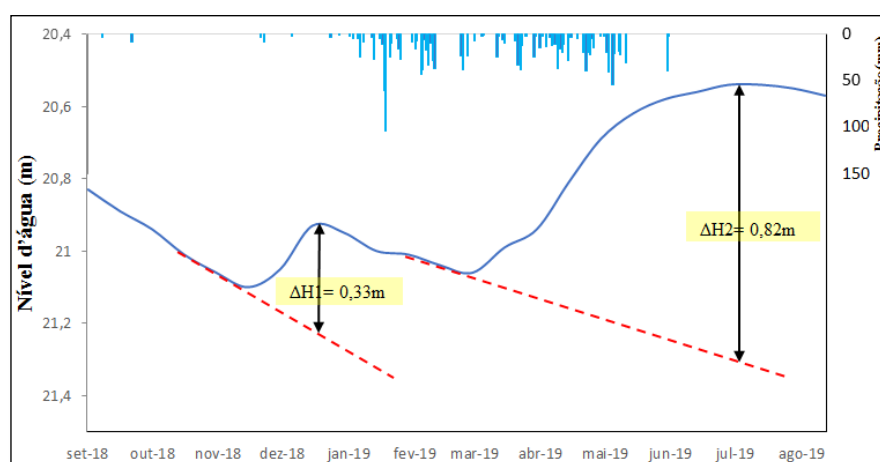
Figura 45 - Exemplo de gráfico da precipitação *versus* níveis estáticos diários, no período de 20/09/2011 a 14/09/2012, para o poço da Fazenda Savaí (2900020680).



A precipitação inicia-se no final de outubro e a influência da precipitação na recarga do aquífero é mais evidente logo após o período chuvoso no final de abril, quando é observada uma elevação significativa no nível da água (Δh), evidenciando uma relação direta entre as oscilações do nível da água subterrânea e a precipitação com a recarga do aquífero.

No ano hidrológico de 2019-2020, a estimativa da recarga é mostrada no gráfico da Figura 46. Observa-se que o nível da água começa a variar a partir de dezembro e sua maior variação ocorreu no mês junho de 2020, quando começa um decaimento e vai até o final do mês de julho, mesmo com um aumento da precipitação, e no final do mês de agosto, quando se observa a variação do nível da água subterrâneas e final do ano hidrológico.

Figura 46 - Gráfico da precipitação *versus* níveis estáticos diários, no ano hidrológico 2018-2019, para o poço Fazenda Savaí (2900020680).



9.3.2. Poço RIMAS/CPRM 2900020677 (Fazenda Johá)

Na avaliação da variação da altura do nível d'água (Δh) e a precipitação registrada na estação pluviométrica - 01245014 (Fazenda Johá), foi possível relacionar a recarga do aquífero com a precipitação, com os dois avaliados na mesma escala de tempo (Tabela 20).

Tabela 20: Parâmetros da estimativa da recarga pelo método VNA para o poço de monitoramento RIMAS/CPRM 2900020677.

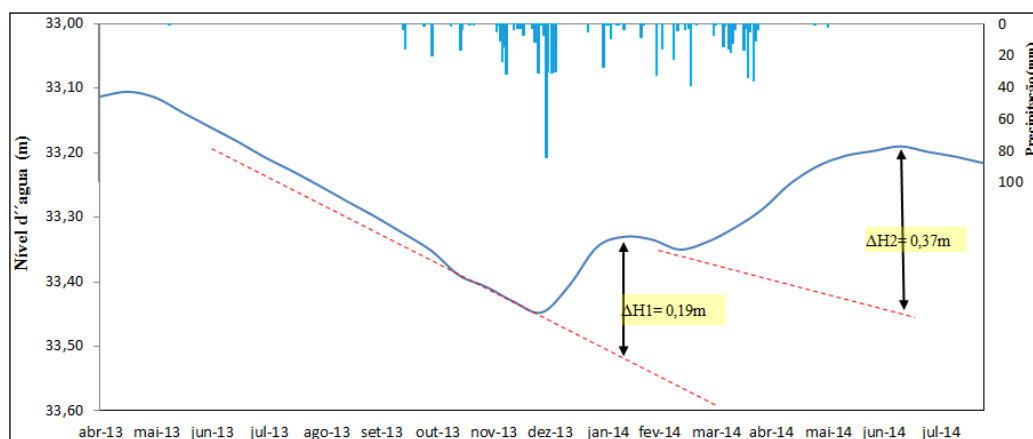
Período de Monitoramento	Δh (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2013-2014	0,56	86,63	9,35	926,9
2014-2015	0,16	24,75	3,41	725,1
2015-2016	0,13	20,11	2,59	775
2016-2017	0,18	27,85	3,82	728,5
2018-2019	0,38	58,79	4,16	1.413,20
2019-2021	1,23	190,28	12,83	1.483,00
Média	0,44	68,07	68,03	1.008,68

A oscilação do nível d'água subterrânea inicia-se no mês de novembro, no entanto as maiores variações ocorrem no mês de dezembro a março, quando a recarga do aquífero é maior e se estende até o mês de maio, quando cessa o período de chuvas na região e inicia a recessão do nível da água subterrânea e a diminuição da recarga. Nota-se, no entanto, que a recarga do aquífero tem um comportamento sazonal, apesar da precipitação registrada no período de 2013 a 2017 apresentar valores constantes, a recarga teve variações ao longo dos anos observados.

O maior evento de recarga foi registrado nos anos 2019-2021 com valor de 190,28 mm correspondendo a 13% da precipitação anual registrada para o ano hidrológico estudado. Para os anos hidrológicos de 2014-2015 a 2015-2017, a recarga mostra valores próximos a 25 mm correspondendo a 3,5% das precipitações, observa-se que os valores precipitações registradas são iguais para os anos observados. Observa-se a importância da relação variação da altura do nível d'água (Δh) e os eventos da precipitação para a recarga do aquífero, onde é possível observar que, quanto maior a variação do nível d'água maior será o valor da recarga do aquífero.

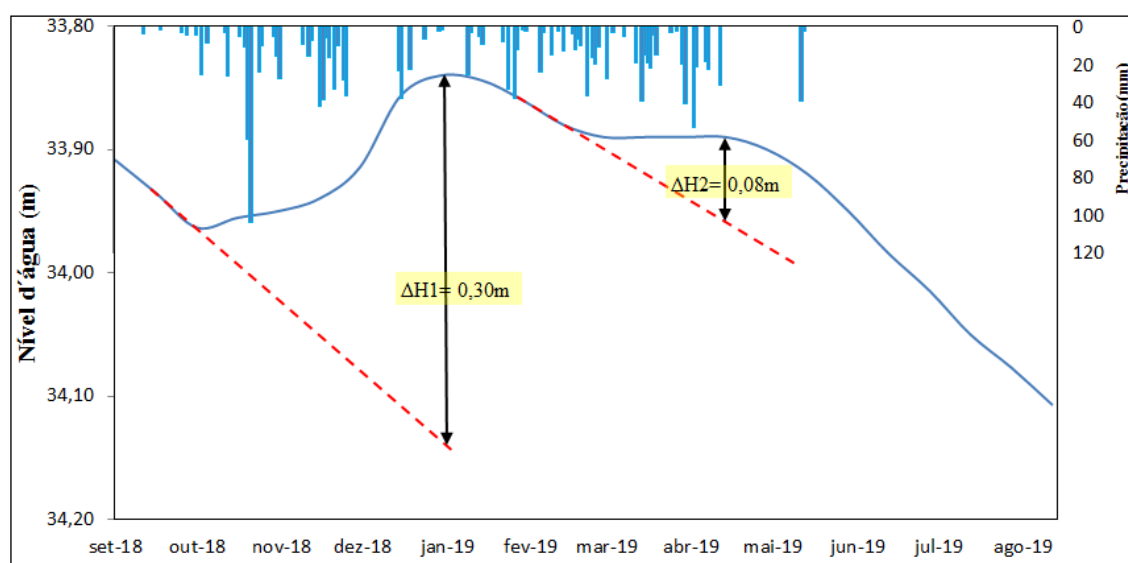
Nos gráficos das figuras a seguir são apresentados os resultados das variações do nível d'água, as precipitações, a estimativa de recarga e a relação entre a recarga total e a precipitação total anual no período de setembro de 2011 a maio de 2021. Nota-se na Figura 47, que nos anos de 2013-2014 o comportamento do poço é caracterizado por um pico em seu nível no final de dezembro de 2013 e seu menor nível no final de fevereiro de 2014. No entanto, observa-se um declive do nível mesmo durante o período chuvoso na região. Neste ano hidrológico a precipitação foi de 926,90 mm e a relação entre a recarga/precipitação total é de 9,35%.

Figura 47 - Gráfico da precipitação *versus* níveis estáticos diários, no período de 30/04/2013 a 23/08/2014, para o poço da Fazenda Johá.



O total precipitado no ano hidrológico 2018/2019 foi de 1413,20 mm e a relação recarga/precipitação é de 4,16. Na Figura 48, pode ser observada uma tendência de declive no seu nível de água até o final de 2018 em pleno período de chuvas na região, quando o nível da água tende um pequeno aumento e o reflexo da precipitação na oscilação do nível sendo observado no final de abril de 2019.

Figura 48 - Gráfico da precipitação *versus* níveis estáticos diários, no período de 21/09/2018 a 01/09/2019, para o poço da Fazenda Johá.



9.3.3. Poço RIMAS/CPRM 2900020680 (Fazenda Agrobasso)

A oscilação do nível d'água subterrânea inicia-se no mês de novembro, no entanto, as maiores variações ocorrem no mês de dezembro a março, quando a recarga do aquífero é maior e se estende até o mês de maio, quando cessa o período de chuvas na região e inicia a recessão do nível da água subterrânea e a diminuição da recarga. Desde o início do monitoramento observa-se que o volume precipitado se mantém constante, já o nível d'água está em declínio até o mês de outubro de 2016, quando tende a uma recuperação e estabilização. Entretanto, nota-se que a precipitação constante e o nível d'água se estabilizam a partir do ano de 2017. Este comportamento indica uma lenta resposta dos eventos de precipitação sobre a elevação dos níveis da água e na recarga do aquífero.

A partir da análise dos dados do nível d'água subterrânea e as precipitações registradas na estação pluviométrica - 01245014 (Fazenda Johá), foi relacionado à variação da altura do nível d'água (Δh) e a precipitação, com os eventos de recarga do aquífero em função das variações do nível d'água subterrânea.

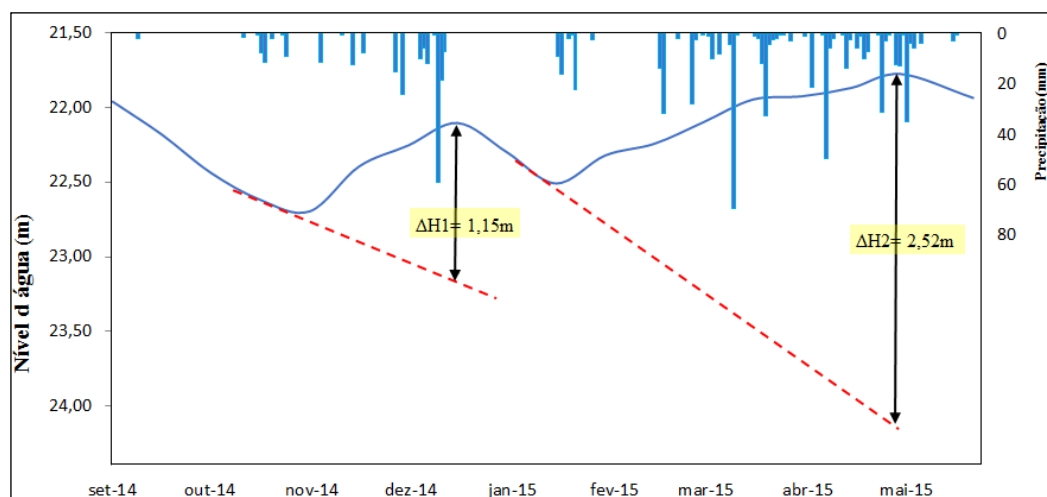
Na análise da recarga, o poço da Fazenda Agrobasso apresentou valores discrepantes em relação aos outros (Tabela 21), onde o maior evento de recarga registrado nos anos 2012-2013 foi de 881,88 mm, correspondendo a 98,24% da precipitação anual registrada de 897,70 mm. Para os anos hidrológicos de 2014-2015, 2017 a 2019 e 2020-2021, apresentaram valores da recarga próximos. A menor recarga foi registrada nos anos de 2019-2020 com uma recarga de 259,92 mm, correspondendo a 23,72% da precipitação registrada para o período.

Tabela 21: Parâmetros da estimativa da recarga pelo método VNA para o poço RIMAS 2900020680.

Período de Monitoramento	Δh (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2012-2013	5,26	813,72	90,65	897,70
2013-2014	3,03	468,74	59,48	788,10
2014-2015	3,67	567,75	78,69	721,50
2015-2016	1,95	301,67	38,88	775,90
2016-2017	3,11	481,12	57,04	843,50
2017-2018	3,85	595,60	60,86	978,60
2018-2019	3,1	479,57	33,94	1.413,20
2019-2020	1,73	267,63	23,72	1.128,10
2020-2021	2,51	388,30	39,23	989,80
Média	3,13	484,9	53,61	948,49

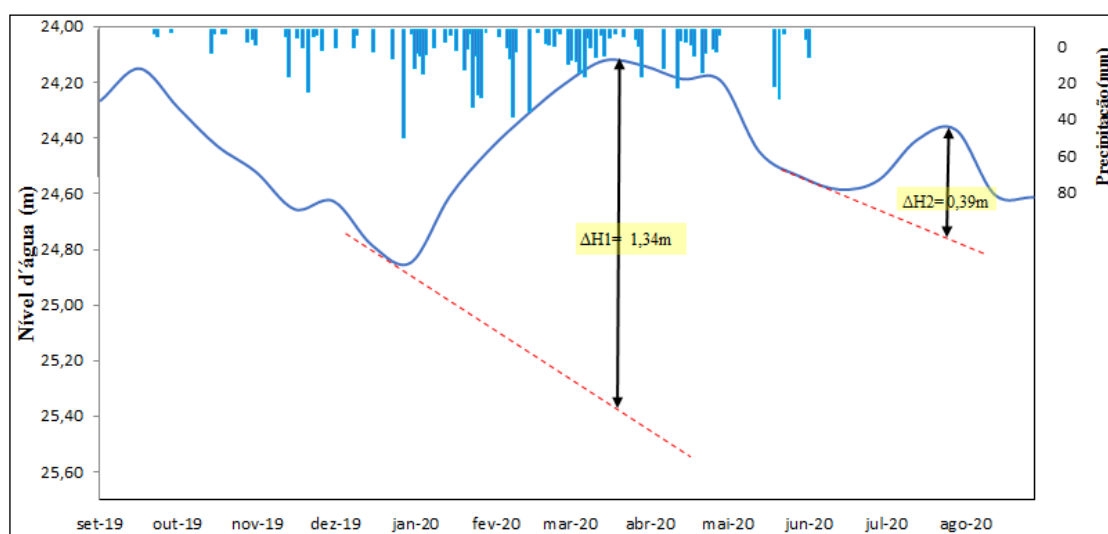
Observando a Figura 49, o nível de água subterrânea tem pouca variação ao longo do ano hidrológico 2014-2015, com menor valor em novembro de 2014. Com uma tendência de queda observada novembro de 2014, em dezembro tende uma recuperação do nível em respostas aos eventos de chuva. A precipitação média no período de observação foi de 721,50 mm e uma recarga de 567,75 mm, que corresponde a 78,69% da precipitação.

Figura 49 - Gráfico da precipitação *versus* níveis estáticos diários entre 17/09/2014 a 06/06/2015.



A precipitação no período de setembro de 2019 a agosto de 2020 foi de 1.128,10 mm e uma recarga de 267,63 mm, que corresponde a 23,72% da precipitação. Observando a Figura 50, o nível de água subterrânea tem menor valor em janeiro de 2020. Com uma tendência de queda entre setembro de 2019 e janeiro de 2020, quando começa a recuperar o nível em respostas aos eventos de chuva.

Figura 50 - Gráfico da precipitação *versus* níveis estáticos diários, no período de 10/09/2019 a 05/09/2020, para o poço da Fazenda Agrobasso.



9.3.4. Poço RIMAS/CPRM 2900026863 (Fazenda Gretter II)

A oscilação do nível d'água subterrânea inicia-se no mês de novembro, no entanto, as maiores variações ocorrem no mês de dezembro a março, quando a recarga do aquífero é maior, e se estendendo até o mês de maio, quando cessa o período de chuvas na região e inicia a recessão do nível da água subterrânea e diminuindo a recarga do aquífero.

Na avaliação da variação da altura do nível d'água subterrânea (Δh) e a precipitação registrada na estação pluviométrica - 01145013 (Ponte Serafim - Montante), foi calculado a relação da recarga do aquífero com a precipitação em função da variação do nível d'água na mesma escala de tempo (Tabela 22).

Tabela 22: Parâmetros da estimativa da recarga pelo método VNA para o poço de monitoramento RIMAS/CPRM 2900026863.

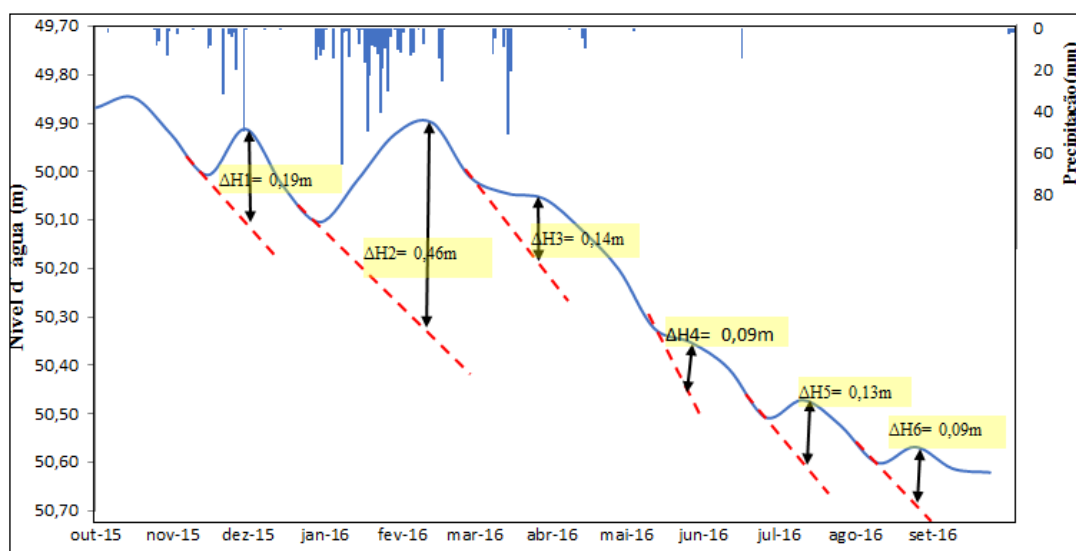
Período de Monitoramento	Δh (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2015-2016	1,1	170,19	21,77	781,8
2016-2017	2,43	375,96	40,72	923,2
2018-2019	2,09	323,36	22,88	1.413,20
2019-2020	1,42	219,70	17,93	1.225,00
Média	1,76	272,30	25,82	1.085,80

O poço de monitoramento tem poucas informações com apenas 04 (quatro) anos de monitoramento com início em outubro de 2015 e término em novembro de 2020, com um período sem informações entre meados de novembro de 2017 e abril de 2020. O maior evento de recarga neste poço foi registrado nos anos 2016-2017 com um valor de 375,96 mm correspondendo a 40,72% da precipitação anual registrada para o ano hidrológico estudado.

Para o ano hidrológico de 2015-2016, a recarga do aquífero apresentou o menor valor com 170,19 mm que corresponde a 21,77% do valor precipitado no ano que foi de 781,80 mm registrado para o ano hidrológico.

Para o período de 2015-2016, nota-se através do gráfico da Figura 51 uma relação entre a precipitação e o nível da água subterrânea, no entanto, o tempo de resposta entre a precipitação e a variação do nível da água não é imediato após a precipitação. Observa-se uma pequena variação durante o período de chuva, mas o nível da água subterrânea tem uma subida em fevereiro de 2016 e continua com uma tendência de queda até o final do período hidrológico. Pequenas recargas (subidas de nível) são observadas ao longo do ano, mesmo sem registros de eventos de chuva (a partir de abril/2016), o que pode indicar influência e recarga secundária (artificial) proveniente da irrigação das lavouras próximas a esse poço. A precipitação no período foi de 781,80 mm e recarga de 170,19 mm.

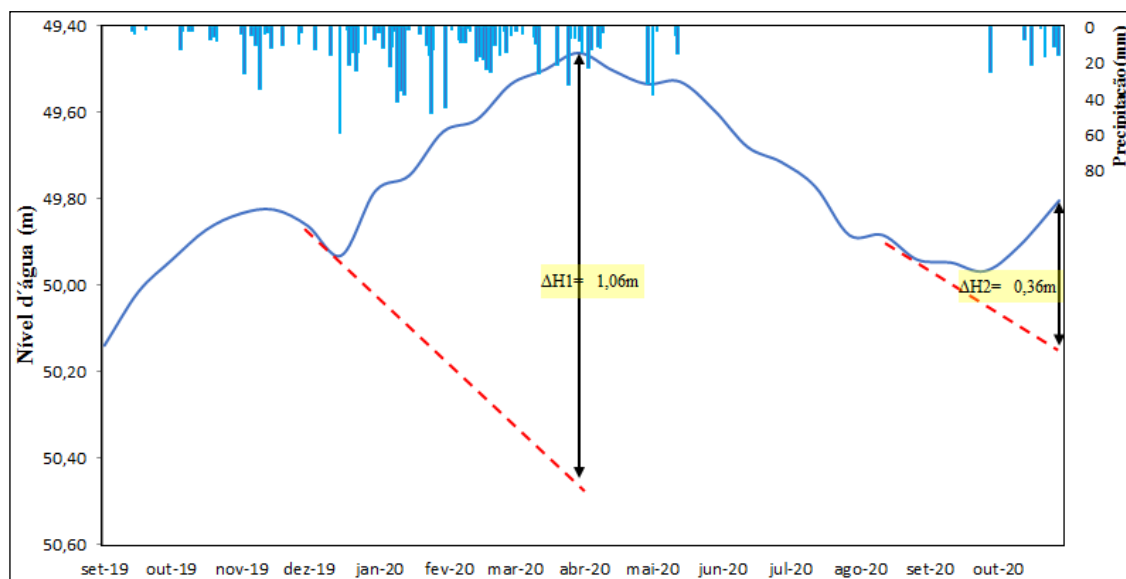
Figura 51 - Gráfico da precipitação *versus* níveis estáticos diários, no período de 02/10/2015 a 25/09/2016, para o poço da Fazenda Gretter II.



Nota-se através do gráfico da Figura 52 que o nível da água da subterrânea tem uma tendência de aumento desde o início do ano hidrológico 2019/2020 e apresenta uma

importante variação (subida) durante o período de chuvas, mas continua a subir até o próximo período chuvoso no mês de outubro de 2020. A precipitação no período 2019/2020 foi de 1.225,00 mm e recarga de 219,70 mm correspondendo a 17,93% da precipitação.

Figura 52 - Gráfico da precipitação *versus* níveis estáticos diários, no período de 17/09/2019 a 13/11/2020, para o poço da Fazenda Gretter II.



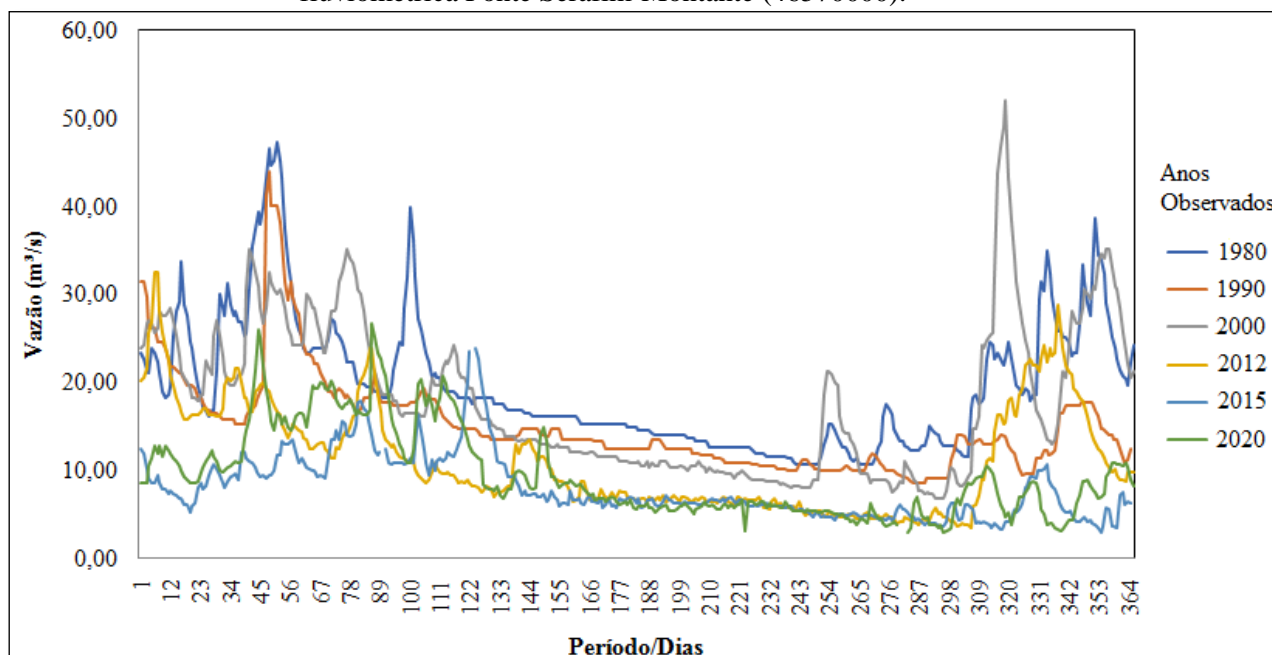
9.4. Análise da Interação Rio/Aquífero

A análise interação rio/aquífero na bacia do rio de Janeiro foi feita com base na observação da curva de recessão dos hidrogramas anuais de uma estação fluviométrica selecionada que drena parte da área de afloramento do Sistema Aquífero Urucua na bacia. Essa análise considera que na época da estiagem as vazões do rio são mantidas exclusivamente pela exsudação das águas subterrâneas, e que os pequenos barramentos presentes em alguns afluentes do rio de Janeiro não influenciam na sua regularização.

Segundo apresentado no item 6.7, utilizou-se para esta análise os registros diários de vazão da estação fluviométrica Ponte Serafim-Montante (46570000), situada na parte baixa da bacia, com área de drenagem de 2.710 km² (70% da área da BHRJ), em conjunto com a estação pluviométrica homônima (1145013).

O gráfico da Figura 53 apresenta as vazões do rio de Janeiro nessa estação no período de 1978 a 2020, onde é possível observar uma variação do período da recessão (início, duração e fim), mais facilmente marcante nos últimos anos do registro. Também é claro no gráfico a diminuição das vazões ao longo do período analisado, em que os anos mais recentes apresentam vazões menores do que no início do registro, tanto no período chuvoso, como na recessão, época das vazões mínimas.

Figura 53 - Registro anual das vazões diárias do rio de Janeiro entre anos de 1980 a 2020, na estação fluviométrica Ponte Serafim-Montante (46570000).



A análise das curvas de recessão foi realizada para o período entre os anos de 1978 e 2020, em que se observou valores médios dos seguintes parâmetros (Tabela 23):

- Número de dias de recessão
- Vazão inicial (Q_0) e vazão final (Q) do período de recessão, em m^3/s
- Coeficiente de recessão (α)
- Constante de recessão (k)
- Volume restituído do aquífero para o rio na recessão (h), em mm/ano
- Percentual do volume restituído em relação à precipitação anual

Tabela 23: Valores médios da análise da relação rio/aquífero, da série de dados histórica da estação fluviométrica (46570000) e pluviométrica (1145013) Ponte Serafim-Montante, na BHRJ.

Período (anos)	Tempo (dias)	Q_0 (m^3/s)	Q (m^3/s)	α	k	P (mm/ano)	h (mm/ano)	% P
1978-2020	146,47	12,22	5,89	0,005	0,995	1.117,4	85,18	7,88

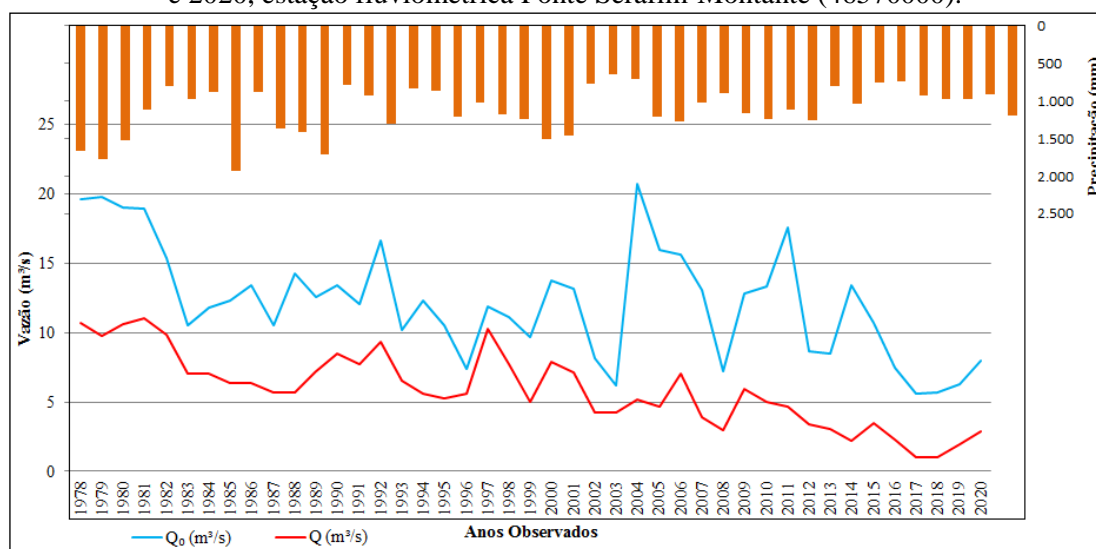
A duração do período de recessão na bacia do rio de Janeiro, segundo avaliado na estação Ponte Serafim-Montante, é de um pouco mais de 4,5 meses. O volume restituído do aquífero Urucua para o rio de Janeiro é de cerca de 85 mm, que corresponde a quase 8% do volume de chuva anual. Os gráficos e tabelas correspondentes da restituição do aquífero

Urucuia para o rio de Janeiro na estação fluviométrica Ponte Serafim-Montante estão no Anexo I.

Na análise anual da relação rio/aquífero, dos dados fluviométricos e pluviométricos, observou-se que a curva de recessão apresenta dois comportamentos distintos; um entre os anos de 1978 e 2011, e o outro entre 2012 e 2020. Devido a esse comportamento diferenciado procedeu-se neste estudo uma análise mais detalhada para esses dois períodos distintos, para uma comparação entre as curvas nos dois períodos da série histórica.

Nota-se no gráfico da Figura 54, que nos anos de 1978 a 1983, a vazão final do período da recessão, apresentou um decaimento médio de aproximadamente 41% em relação à vazão inicial do período. Essa queda é pouco acentuada nos anos em que o período de recessão é menor que 100 dias. Nos anos de 1996, 1997 e 2003, por exemplo, o percentual de decaimento da vazão inicial para a final da recessão cai para patamares da ordem de 20%, como se observa no gráfico da Figura 54, quando a linha de registro da Q_0 se aproxima da Q .

Figura 54 - Vazões iniciais Q_0 (m^3/s) e finais Q (m^3/s) dos períodos de recessão analisados entre 1978 e 2020, estação fluviométrica Ponte Serafim-Montante (46570000).

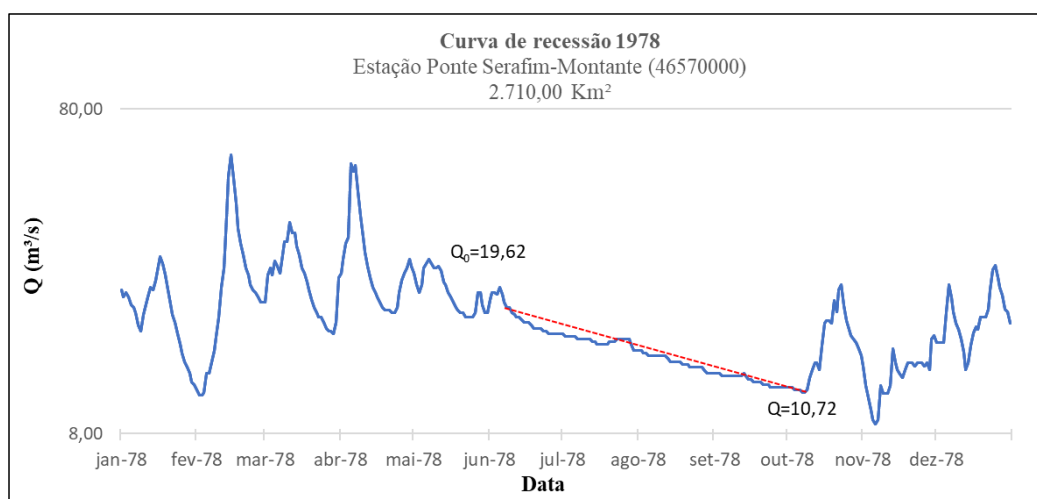


No período entre anos de 1978 e 2020, a recessão durou em média 146 dias, sendo possível observar que a vazão do final da recessão tem uma redução de aproximadamente 48% em relação à vazão inicial. O comportamento das vazões mínimas, registradas no período da recessão, mostra um decaimento contínuo ao longo do tempo estudado. A diminuição das vazões torna-se evidente a partir de 2010, quando a curva de decaimento apresenta um comportamento de declínio constante, sem uma recuperação.

O gráfico da Figura 55 representa o comportamento da curva de recessão para 1978, como exemplo. Nesse exemplo a recessão iniciou em junho, com duração de 122 dias. Para esse ano, quando teve início o monitoramento da descarga nessa estação, a vazão no início da

recessão (Q_0) foi de 19,62 m³/s e a vazão final (Q) foi de 10,72 m³/s, que corresponde a uma diminuição de cerca de 45% na vazão no rio, durante o período sem a ocorrência de chuvas.

Figura 55 - Vazões diárias do rio de Janeiro do período de recessão em 1978 (estação fluviométrica 46570000).



Para esse primeiro período analisado (1978-2011), a menor vazão na recessão ocorreu em 2008, com um valor de 2,97 m³/s e uma menor restituição do aquífero para o rio em comparação com a pluviometria de 3,89%.

O hidrograma das vazões mostra um decaimento contínuo da curva de recessão a partir de 2011, com vazões abaixo de 4,0 m³/s no ano de 2020, sugerindo uma diminuição das vazões mínimas. A Tabela 24 mostra os valores médios anuais da série de dados histórica dos dois períodos analisados (1978-2011; 2012-2020), em que se observa uma queda de 55% do volume restituído do aquífero para o rio.

Tabela 24: Parâmetros médios da análise da relação rio/aquífero da estação fluviométrica Ponte Serafim-Montante, na bacia do rio de Janeiro.

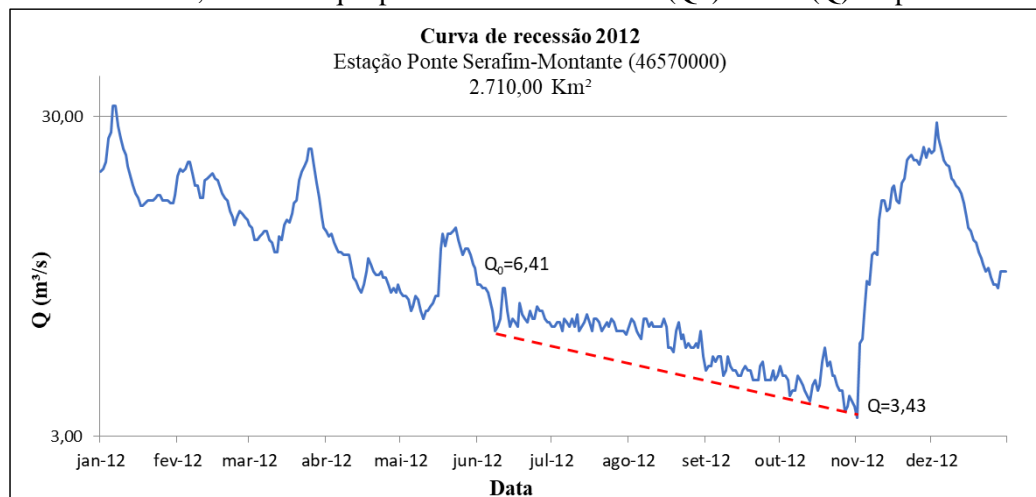
Período (anos)	Tempo (dias)	Q_0 (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	α	k	P (mm/ano)	h (mm/ano)	% P
1978-2011	141,4	13,14	6,72	0,005	0,995	1.157,91	96,91	8,82
2012-2020	166,56	8,25	2,35	0,008	0,992	924,48	35,1	3,98

No exemplo da curva de recessão do hidrograma de 2012 (Figura 56), a delimitação do início do período de recessão gera dúvidas, ou seja, se começaria no mês de maio ou junho. Neste estudo, contudo, considerou-se o seu início no mês junho, quando o decaimento da vazão é constante.

Para o ano de 2012, quando houve uma mudança no comportamento da curva, a descarga no início da recessão (Q_0) foi de 6,41 m³/s e num intervalo de 146 dias a vazão final

(Q) foi de 3,43 m³/s, resultando numa restituição de cerca de 48 mm ou 6% da chuva nesse ano na bacia.

Figura 56 - Vazões diárias registradas na estação fluviométrica Ponte Serafim-Montante na bacia do rio de Janeiro em 2012, com destaque para as vazões do início (Q₀) e final (Q) do período de recessão.



Para o período analisado a menor restituição do aquífero para o rio ocorreu em 2017, com menos de 2% da precipitação anual. Os menores valores de restituição dos anos mais recentes podem ter muita influência da exploração direta da água do rio para a irrigação na bacia.

10. DISCUSSÕES

A avaliação da sustentabilidade hídrica subterrânea da bacia do rio de Janeiro teve como fundamentos principais quantificar a recarga, a exploração e a quantidade de água disponível para o cenário de uso analisado, ou seja, o saldo hídrico subterrâneo na bacia.

Com a estimativa do saldo hídrico subterrâneo na bacia foi possível identificar que várias regiões da bacia já estão com saldo negativo, demonstrando que a retirada é maior que a disponibilidade hídrica adotada como sustentável na presente pesquisa.

As áreas mais atingidas são aquelas onde há a concentração de poços que exploram altas vazões para a finalidade de irrigação, especialmente na parte central da BHRJ.

Nesta pesquisa foi possível avaliar a recarga do Sistema Aquífero Urucua (SAU) nesta sub-bacia com base em três métodos diferentes, com dados de entrada (RPD e VNA) e com dados de saída (curvas de recessão) considerando o aquífero como o sistema de análise. Embora esses métodos tenham sido empregados para obtenção de um mesmo parâmetro observou-se particularidades entre as estimativas obtidas, até mesmo devido aos diferentes dados utilizados para se obter a recarga. E, embora tenham sido encontrados falhas nos registros, sua utilização foi satisfatória para o estudo.

As estimativas de recarga do SAU obtidas com os dados de entrada foram de: 168 mm (RPD) e 227,00 mm (VNA) e, com os dados de saída, foi de 85 mm (Tabela 25).

Tabela 25: Valores de recarga média obtida pelos três métodos utilizados na pesquisa.

Ordem	Método de Recarga	Recarga Média (mm)	Precipitação (mm)	r%
1	RPD	168,00	1.200,00	14,00
2	VNA	227,00	985,48	23,66
3	Curva de Recessão	85,00	1.117,40	7,61
Média/Métodos		160,00	1100,96	15,09
Desvio Padrão		71,34	108,20	8,08

O método de cálculo da recarga pela RPD considera a variação da precipitação da bacia e um coeficiente de infiltração (0,14) único ao longo de todo o período de análise, não sendo possível considerar variações relacionadas às mudanças da capacidade de infiltração da água da chuva nos solos ocasionadas, por exemplo, pelas inúmeras intervenções na bacia que ocasionam a compactação do solo.

Os resultados da recarga obtido com o método da Variação do Nível d'água (VNA) mostrou-se eficiente e prático, em função de sua simplicidade para o cálculo da estimativa da recarga do SAU na bacia. Das limitações encontradas na utilização do método destaca-se a existência de um período de monitoramento relativamente curto (máximo de 10 anos em apenas um poço) e não coincidente entre os quatro poços analisados e o fato de que apenas um poço está situado dentro dos limites da BHRJ. No entanto, esses fatores não comprometeram a aplicação do método em si. Os quatro poços de monitoramento mostraram que a recarga possui uma variabilidade espacial na bacia, em os poços da parte oeste (Faz. Savaí e Johá) apresentaram menores volumes de recarga do que os da parte mais central (Gretter II e Agrobasso).

Nos estudos das estimativas de recarga com o método de VNA obteve-se uma recarga média de 227,0 mm, representando 23,66% da precipitação. O resultado da estimativa da recarga reflete o comportamento dos níveis d'água subterrânea nesses poços, que mostra um rebaixamento sazonal e uma recuperação no final do período analisado (Tabela 26).

Tabela 26: Estimativa da recarga média (mm/ano) nos poços de monitoramento.

Período de monitoramento	Poço monitoramento	Recarga média (mm)
2011-2021	Fazenda Savaí	82,77
2013-2021	Fazenda Johá	68,07
2012-2021	Fazenda Agrobasso	484,90
2015-2020	Fazenda Gretter II	272,30

Em todos os poços analisados foi observado um comportamento sazonal do nível d'água subterrânea influenciado pelo período chuvoso e um declínio do nível, seguindo uma tendência da variação da precipitação ao longo do tempo observado; contudo, observou-se uma recente recuperação dos níveis apenas nos poços Fazenda Johá e Fazenda Gretter II. Além da influência da precipitação é possível associar a influência de outros fatores no comportamento dos níveis d'água subterrânea do SAU na BHRJ, tais como: a geologia da área, visto que a região onde estes poços estão localizados, apresenta lentes de arenitos silicificados e arenitos com seixos, como também pode estar sendo influenciados por recarga secundária proveniente da irrigação, observa-se que na região dos poços existe muita irrigação tanto com água superficial como subterrânea.

No que se refere às estimativas de recarga com os dados de saída, as análises das curvas de recessão foram coerentes, e mostraram uma diminuição crescente do período analisado da restituição do aquífero para o rio, seguindo a tendência da precipitação na bacia. Segundo essa avaliação a restituição média obtida foi de 85 mm, que representa cerca de 8% do volume médio de chuva na bacia. Esses valores mais recentes além de seguirem a tendência da precipitação na bacia, também são muito influenciados pela exploração direta de água superficial no rio de Janeiro, bem como das águas subterrâneas pelos poços instalados na bacia.

11. PROPOSTAS DE MELHORIAS NA GESTÃO

Dos resultados obtidos nesta pesquisa propõe-se algumas mudanças nas normativas vigentes quanto ao uso da água subterrânea do Sistema Aquífero Urucua no estado da Bahia e algumas pontualmente para a bacia do rio de Janeiro.

O estado da Bahia desde 2010 estabeleceu critérios de uso das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Urucua, quando da publicação da Instrução Normativa N° 15/2010 do INGÁ¹ que trouxe regras de uso das águas do SAU na Bahia. A IN N° 15/2010 estabeleceu critérios técnicos para perfuração de poços tubulares, principalmente limitando a distância entre os poços e entre os poços e rios.

A IN 15/2010 do INGÁ foi recentemente revogada pela Instrução Normativa N° 03/2022 do INEMA², cuja principal modificação em relação ao normativo revogado refere-se às distâncias entre os poços que exploram água subterrânea no SAU e a distância entre os poços e os rios conectados.

¹INGÁ: Instituto de Gestão das Águas e Clima da Bahia. Autarquia da Secretaria do Meio Ambiente do Estado da Bahia
²INEMA: Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídrico da Bahia. Autarquia vinculada à Secretaria de Meio Ambiente da Bahia (SEMA); criada em 2011 a partir da junção do Instituto do Meio Ambiente – Ima e o Instituto de Gestão das Águas e Clima – Ingá. É responsável dentre outras pautas por executar a Política estadual de Recursos Hídricos.

A Tabela 27 traz um detalhamento comparativo das modificações nas distâncias entre os poços perfurados no SAU entre os dois atos normativos.

Tabela 27: Comparação entre as Instruções Normativas Nº 15/2010 (INGÁ/BA) e a Nº 03/2022 (INEMA/BA) que tratam das regras de uso do Sistema Aquífero Urucuia na Bahia.

Instrução Normativa INGÁ Nº 15/2010		Instrução Normativa INEMA Nº 003/2022	
Distância entre poços no aquífero Urucuia		Distância entre poços no aquífero Urucuia	
Vazão do Poço	Distância entre poços	Distância entre poços	Volume m ³ /dia
> 30 m ³ /h	600 m	500 m	43,2
≤ 30 m ³ /h e > 100 m ³ /h	1000 m	500 a 1.000 m	1.800
≤ 100 m ³ /h e > 200 m ³ /h	1.500 m	< 1.000 e 1.500 m	3.600
≤ 200 m ³ /h e > 300 m ³ /h	2.000 m	< 1.500 e 2.000 m	5.400
≤ 300 m ³ /h e ≥ 500 m ³ /h	2.500 m	< 2.000 e 2.500 m	7.200
-	-	< 2.500 m	9.000
Distância entre poços e corpos hídricos superficiais		Distância entre poços e cursos d'água	
Vazão do Poço (m ³ /h)	Distância entre poços	Vazão do poço (m ³ /dia)	Distância entre poços
> 20	500 m	43,2	500 m
< 20	2.500 m	1.800	500 a 1.000 m
-	-	3.600	< 1.000 e 1.500 m
-	-	5.400	< 1.500 e 2.000 m
-	-	7.200	< 2.000 e 2.500 m
-	-	9.000	< 2.500 m
Vazão máxima	500 m ³ /h	Vazão máxima	9.000 m ³ /dia
Período máximo de bombeio	18 h/dia	Período máximo de bombeio	Não definido
Capacidade máxima de exploração do SAU	Vazão máxima instantânea de 360.000 m ³ /h	Capacidade máxima de exploração do SAU	Não definido

Nas regras da norma anterior a vazão dos poços era limitada a 500 m³/h, baseava-se na unidade de volume por hora (m³/h), com tempo de bombeamento diário máximo de 18 horas (IN INGÁ Nº 15/2010, Art. 7º). Contudo, na nova normativa (IN INEMA Nº 03/2022) as regras são estabelecidas com base num volume captado diariamente (m³/dia), sem definir a quantidade de horas diárias que o usuário pode bombear, mas apenas o volume total diário. Essa simples mudança de unidade no normativo pode parecer inofensivo, mas permite que o usuário bombeie seu poço pelo tempo que quiser; além de complicar a comparação das mudanças nas regras.

No que se refere às distâncias dos poços e os cursos d'água, a norma de 2010 estabelecia que qualquer poço com vazão maior que 20 m³/h, deveria estar a 2.500 metros de distância dos corpos d'água superficiais. A nova instrução normativa estabeleceu distâncias diferenciadas, de acordo com o volume captado por dia, permitindo, por exemplo, que poços que captam 100 m³/h, com um tempo de bombeamento de 18 horas por dia, estejam a apenas 500 metros de distância dos corpos d'água superficiais. A redução das distâncias entre poços e rios chega a 80% em relação à norma anterior.

No caso das distâncias entre poços que exploram água no SAU, na Bahia, as novas regras estabelecidas na IN INEMA Nº 03/2020 mantiveram apenas a distância máxima de 2.500 metros para poços que capturem 9.000 m³/dia, que poderia ser uma captação de 375 m³/h com tempo de bombeamento de 24 horas ou mesmo 500 m³/h por 18 horas de bombeamento. De uma forma geral os valores das distâncias diminuíram para uma mesma faixa de vazão; além de permitir que poços situados em um perímetro que caracterize um único empreendimento e usuário de recursos hídricos a locação ficará a critério do usuário, podendo adotar distanciamentos diferenciados da norma, de acordo com projeto apresentado (Art. 12º §2º da IN INEMA Nº 02/2020).

Art. 12º

§2º- Para um conjunto de poços situados em um perímetro que caracterize um único empreendimento e usuário de recursos hídricos, será adotada a regra do §1º para determinar o número máximo de poços no perímetro. A locação dos poços ficará a critério do usuário de recursos hídricos obedecendo à expectativa de captação máxima, entretanto pode se adotar distanciamentos diferenciados de acordo com projeto apresentado. (Grifo nosso)

Outro ponto importante da norma vigente está em seu Art. 22º, que permite aos usuários utilizarem vazões maiores do que aquelas estabelecidas no Art.12, desde que apresente estudo específico da hidrogeologia da área alvo da solicitação de outorga, com comprovação da não influência nas vazões de poços tubulares pré-existentes e/ou recursos hídricos superficiais do entorno, de modo a não acarretar prejuízos a terceiros e aos cursos d'água. Essa modificação favorece uma diminuição das distâncias entre poços e o aumento das vazões de exploração do SAU, possibilitando que mais poços sejam perfurados na região.

“Art. 22º. A vazão máxima a ser outorgada poderá ultrapassar os limites estabelecidos no Art.12, respeitando o Art.203, desde que o empreendedor apresente estudo específico da hidrogeologia da área alvo da solicitação de outorga, com comprovação da não influência nas vazões de poços tubulares

³ “Art. 20º. A captação máxima a ser autorizada em poços perfurados no SAU é de até 9.000 m³/dia”

pré-existentes e/ou recursos hídricos superficiais do entorno, de modo a não acarretar prejuízos a terceiros e aos cursos d'água. O estudo deve ser acompanhado de ART do profissional responsável”

Como avanço destaca-se em seu Art. 23º da IN INEMA Nº 03/2022, ser obrigatório o usuário construir poço piezômetro com distância entre 25 e 50 metros do poço produtor e instalar medidor de nível de água automático.

Em conformidade a portaria de nº 22.181/2021 determinando que todos os usuários instalem medidores de vazões; para as intervenções subterrâneas até 900 m³/dia com sistema de medição analógico e enviar a planilha mensal; entre 900 m³/dia e 9.000 m³/dia sistema automático e envio das informações semanais; acima de 9.000 m³/dia sistema automático com sistema de telemetria e envio diário dos dados, embora os agricultores instalando os medidores, ainda não existe um banco de dados para receber as informações.

E, por fim, a antiga normativa (Art. 8º da IN INEMA Nº 15/2010) limitava a capacidade de exploração das águas subterrâneas no aquífero Urucuia em uma vazão máxima instantânea de 3.600 m³/h; regra que não foi mantida, tampouco atualizada na norma vigente (IN INEMA Nº 03/2022).

Como propostas na gestão dos recursos hídricos na bacia, sugere-se uma atualização da IN INEMA Nº 03/2022, para a inclusão de um limite para a capacidade de exploração das águas subterrâneas no aquífero Urucuia, utilizando o território das bacias hidrográficas como área de delimitação e não a área do aquífero como um todo no estado. Sugere-se replicar as metodologias adotadas nesta pesquisa para as principais bacias do SAU, para avaliar a sustentabilidade do uso da água subterrânea.

Como sugestão diante dos resultados obtidos para o saldo hídrico subterrâneo da BHRJ, sugere-se que não seja autorizado novos poços de alta vazão para irrigação nas áreas onde apresentaram déficit no saldo hídrico subterrâneo (Figura 30), autorizando apenas para as necessidades indispensáveis como o abastecimento humano conforme a legislação no que se refere a escassez de água.

Quanto aos poços de alta vazão para irrigação, sugere-se que seja realizada uma avaliação hidrológica por sub-bacia, analisando os aspectos relacionados à recarga e ao volume armazenado na bacia, com o intuito de mapear as áreas disponíveis para novas outorgas de água subterrânea. Realizar estudos de monitoramento integrado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos por sub-bacia, buscando assim uma melhor avaliação da disponibilidade hídrica e gestão da bacia.

Conforme as instruções do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Grande, que aprova o Plano da Bacia do Rio Grande, para o planejamento, gerenciamento, exploração e proteção dos recursos hídricos, que sejam observadas as diretrizes estabelecidas no Plano de Bacia para a emissão de novas outorgas e autorização de perfuração de novos poços na BHRJ, como:

- I. Ampliação da rede de monitoramento existente de modo que possa ser capaz de obter valores representativos das condições hidrogeológicas dos aquíferos e assim refletir a intensidade do uso da água;
- II. Caracterizar os parâmetros de armazenamento, de desempenho hidráulico, de variação sazonal e espacial dos níveis potenciométricos;
- III. Reconstruir a evolução da superfície potenciométrica/freática em diferentes cenários de precipitação e variações climáticas;
- IV. Efetuar estimativas das recargas anuais durante a estação chuvosa;
- V. Definir o volume máximo explotável para o próximo período seco e a disponibilidade explotável de longo prazo;
- VI. Estabelecer limites de exploração por Unidade de Balanço.

As ações de gestão em toda a bacia e a região do oeste do estado da Bahia devem objetivar o plantio direto, visando minimizar os efeitos da compactação dos solos nas áreas de recarga, como também avaliar o impacto do uso do solo nas sub-bacias, e implantar sistema de monitoramento que avalie a qualidade e quantidade da água superficial e subterrânea da bacia, e depois replicar para as outras bacias da região do oeste do estado da Bahia.

12. CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos nesta pesquisa, especialmente aqueles relacionados ao saldo hídrico subterrâneo na bacia, propõe-se algumas mudanças nas normativas vigentes quanto ao uso da água subterrânea na bacia do rio de Janeiro.

Os resultados do estudo realizado considerando a Reserva Potencial Direta - RPD como disponibilidade hídrica subterrânea mostram que a bacia do rio de Janeiro já apresenta sinais de déficit hídrico, principalmente na sua parte central, onde estão concentradas as maiores captações de águas subterrâneas. A pesquisa mostra uma tendência sazonal nos valores da precipitação e essa tem uma relação direta na recarga, uma vez que os níveis exibem comportamentos sazonais, e provavelmente influenciados por recargas secundárias

(ou artificiais) das águas de rio e subterrânea utilizada para irrigar as lavouras próximas a alguns poços de monitoramento. O comportamento dos níveis d' água subterrânea também pode ter uma relação com a sua posição geográfica dentro da bacia hidrográfica e seu divisor hidrogeológico dentro do SAU.

A grande variação espacial dos valores de recarga encontrados pelo método do VNA, pode estar relacionada com alguns fatores como a geologia da localidade de instalação dos poços ou outros tais como: declive topográfico, condições de uso e ocupação do solo (condições de infiltração do solo) e exploração da água subterrânea.

No que tange às normas de gestão e sua aplicabilidade prática, observa-se que o cenário apresentado no uso da água na bacia é crítico em alguns setores, conforme método empregado, mesmo após 12 anos da publicação da primeira norma técnica de exploração do aquífero Urucua e recentemente atualizada. E conclui-se que as águas subterrâneas na BHRJ não estão sendo utilizadas de forma sustentável.

Assim, tendo em vista que a procura pelo uso da água subterrânea vem aumentando ao longo dos anos, faz se necessário rever a gestão dos recursos hídricos da bacia, com o intuito de evitar um colapso hídrico ou mesmo conflitos entre usuários de águas superficiais e subterrâneas, devido a importante relação entre o aquífero e os rios, se o cenário atual continuar e as condições climáticas não melhorarem.

13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - Agência Nacional de Águas (2017). **Estudos Hidrogeológicos e de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuia e Proposição de Modelo de Gestão Integrada e Compartilhada - Relatório Final**. Brasília. 3 Volumes.

ANA (2013). **Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil**: Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 432p.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Bicombustível (2013). **12ª Rodada de Licitações de Petróleo e Gás**. Disponibilizado em: http://rodadas.anp.gov.br/pt/12_rodada_de_licitacao_de_blocos/pacote_de_dados_tecnicos.

AMORIM JÚNIOR, V.; LIMA, O. A. L. **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.

AMORIM JÚNIOR, V.; LIMA, O. A. L. **Aquífero Urucuia: uma avaliação hidrogeológica integrando resistividade e polarização induzida no domínio do tempo**. IN: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 8., 14-18 Sep. 2003, Rio de Janeiro. Technical papers. Rio de Janeiro: SGBF, 2003.

ASSOCIAÇÃO DOS IRRIGANTES DA BAHIA. - AIBA. Dados e pesquisa. Disponível em: <<https://aiba.org.br/>>. Acesso em: 17 novembro. 2022.

BAHIA. **Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do rio Corrente: Documento Síntese**. Salvador: 1995.

BAHIA. Lei 11.612 de 08 de outubro de 2009. **Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos**. Salvador, 2009.

BETIO, M.M. SANTOS, M.M.A. **Monitoramento das oscilações do nível freático na área do antigo lixão de Rolândia – PR**. Águas Subterrâneas. 10.14295/ras.v0i0.28793. 2017.

BRASIL. SRH/FGV. 1998. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**, Brasília, 10 v.

BERTOL, G. A. **Avaliação da Recarga Anual no Aquífero Bauru no Município de Araguari, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Geologia Econômica e Aplicada) - Universidade Federal de Minas Gerais – Instituto de Geociências, Belo Horizonte, MG, 2007. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br>>.

BRASIL. Lei nº 9433, de 08 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Brasília, 1997.

CAMPOS, J. E. G.; DARDENE, M. A. **Origem e Evolução Tectônica da Bacia Sanfranciscana**. Revista Brasileira de Geociências, v. 27, n. 3, p. 283–294, 1997a.

CPRM & UFBA, 2007. **Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Urucuia: Bacias Hidrográficas dos Rios Arrojado e Formoso**. Meta E Suporte ao Planejamento e a Gestão das Águas Subterrâneas. Outubro / 2007.

CPRM, 2012. **Relatório Diagnóstico Sistema Aquífero Urucuia Bacia Sedimentar Sanfranciscana**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. (Brasil). **Aquífero Urucuia: caracterização hidrológica com base em dados secundários**. 2019. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20922>.

CAMARGO, A. P. **Balanco hídrico no Estado de São Paulo**. Instituto Agrônomo. 3. ed. Campinas: IA, 1971. 28 p. Boletim 116.

CAMPOS, J.E.G. 1996. **Estratigrafia, sedimentação, evolução tectônica e geologia do diamante da porção centro-norte da Bacia Sanfranciscana**. Universidade Federal de Brasília, Instituto de Geociências. Tese de Doutorado, 204p.

CHANG, H.K.; BENDER, A.A & KOWSMANN, R.O. **O papel das tensões intraplaca na evolução de bacias sedimentares: exemplo da Formação Urucuia**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37. São Paulo. Anais...São Paulo, SBG. Vol. 2, 568 e 569. 1992.

CAMARGO, M. B. P.; CAMARGO, A. P. (1993) **Representação Gráfica Informatizada do Extrato do Balanco Hídrico de Thornthwaite & Mather**. *Bragantia*, Campinas: v. 52, p.169-172.

CARVALHO, H. P.; DOURADO NETO, D.; TEODORO, R. E. F. MELO, B. **Balanco hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café**. *Biociência Jornal*, v.27, n.2, p.221-229, 2011.

CARVALHO, LUIS GOMES. **Compartimentação Estratigráfica e Estrutural do Sistema Aquífero Urucuia Como Subsídio a Gestão dos Recursos Hídricos na Região Oeste do Estado da Bahia/Luis Gomes Carvalho**. Orientador José Eloi Guimarães Campos. Brasília, 2022. 181p. Tese (Doutorado - Doutorado em Geologia) - Universidade de Brasília, 2022.

DARDENNE, M.A. (1978). **Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central**. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 30, Recife, Anais, v. 2, p. 507-610.

EMBRAPA. 2018. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. – 5. ed., revisada e ampliada. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

FIGUEIREDO, M.A.; AUGUSTIN, C.H.R.R. & FABRIS, J.D. (1999) **Mineralogy, size, morphology and porosity of aggregates and their relationship with soil susceptibility to water erosion**. *Yperfine Interactions*, v.1 (122):177-184.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C. & DEMETRIO, J. G. A. (2008) Organização e Coordenação Científica. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações**. 3ª edição revisada e ampliada. Rio de Janeiro. CPRM: LABHID.

FARIAS, P.V.C. **Flutuação dos níveis de água subterrânea em microbacias hidrográficas do Rio Vacacaí-Mirim**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. RS, p.102. 2011.

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

GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G. & CADAMURO, A. L. M. **Condições de infiltração em solos na região de recarga do sistema aquífero Urucuia no oeste da Bahia sob diferentes condições de usos**. Revista Brasileira de Geociências, 37(3): 542-550. 2007

GASPAR, M. T. P. **Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização regional e propostas de gestão**. 2006. 204 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

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

GONÇALVES, R. D.; ENGELBRECHT, B. Z.; CHANG, H. K. **Análise hidrológica de séries históricas da Bacia do Rio Grande (BA): contribuição do Sistema Aquífero Urucuia**. Águas Subterrâneas, v. 30, n. 2, p. 190, 26 jun. 2016.

HEALY, R.W. **Estimating groundwater recharge**. Cambridge, 2010.

HEALY, R. W.; COOK, P. G. (2002). **Using groundwater levels to estimate recharge**. Hydrogeology Journal, v.10, p.91-109.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – INEMA - BA. **Dados Hidrológicos**. Disponível em: <<http://www.inema.ba.gov.br>>. Acesso em: 23 junho. 2020.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – INEMA - BA. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio de Janeiro**. Disponibilizado pelo gestor da APA da Bacia Hidrográfica do Rio de Janeiro. Acessado em 17/10/2022.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Catálogo de imagens**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/>>. Acesso em: 10 de março. 2020.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DEMETEOROLOGIA. **Dados Meteorológicos/Banco de Dado Meteorológicos**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br>>. Acesso em: 02 novembro. 2019.

KIANG, C. H.; SILVA, F. P. **Contribuição ao Arcabouço geológico do Sistema Aquífero Urucuia**. Geociências - UNESP, v. 34, n. 4, p. 872–882, 2015.

LUZ, J. A. G., OLIVEIRA, L. T. **Estudos de Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação** In: CAMPOS, J.C.V. e OLIVEIRA, L.T (Orgs). Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Urucuia: Bacias Hidrográficas dos Rios Arrojado e Formoso Meta D – Caracterização Hidroquímica e de Vulnerabilidade Salvador: CPRM/UFBA/FINEP, 2007.

LIMA, O. A. L.: **Estudos Geológicos e Geofísicos do Aquífero Urucuia na Bacia do Rio do Cachorro – Oeste da Bahia**. Relatório Técnico, Salvador - BA, 43 p. - Superintendência de Recursos Hídricos - SRH/ Centro de Pesquisas em Geofísica e Geologia - CPGG/UFBA, abril 2000.

MAZIERO, T. A.; WENDLAND, E. (2005) **Avaliação da recarga subterrânea de bacias urbanas no município de São Carlos, SP.** In: XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. Disponível em:<<http://aguassubterraneas.abas.org>.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. **Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 4, p. 793-804, 2011.

MANOEL, J.L. **Levantamento e Análise das Densidades de Drenagens das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe.** Anais XVIII Encontro Nacional de Geógrafos. A construção do Brasil: geografia, ação política e democracia. São Luís, MA, p. 13, 2016.

MENTE, A. 2000. **As Condições Hidrogeológicas do Brasil**, cap, 13. pág. 332 - 340 In.

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

NASCIMENTO, J. L. do; STONE, L. F.; OLIVEIRA, L. F. C. de. **Demanda total de água do feijoeiro nos sistemas de plantio convencional e direto.** Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 159- 161, jul./dez. 2001.

NASCIMENTO, K.R.F. *et al.* **Uso conjunto das águas superficiais e subterrâneas da sub-bacia do rio das Fêmeas – BA:** resumo executivo. Salvador: Superintendência de Recursos Hídricos, 2003.

PARALTA, E. A.; OLIVEIRA, M. M.; LUBCZYNSKI, M. W, RIBEIRO, L. F. **Avaliação da recarga do sistema aquífero dos Gabros de Beja segundo critérios múltiplos: Disponibilidades hídricas e implicações agroambientais.** 6º SILUSBA- Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos países de língua oficial portuguesa, Cabo Verde, Portugal, 2003.

PEREIRA *et al* (2016). **Dolinas em Arenitos do Grupo Urucuia na Formação Chapadão na Bacia Hidrográfica do Rio Grande em Barreiras – Bahia.** In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Campinas – SP.

RAMOS A.M. & SILVA F.F.da. 2002. **Contribuição dos Mananciais Superficiais do Estado da Bahia para o Rio São Francisco.** In: ABRH, Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 6, Maceió.

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

RAWLS, W. J., Ahuja, L. R., Brakensiek, D. L. e Shirmohammadi, A. (1993). **“Infiltration and Soil Water Movement.”** In: Maidment, D. R. (ed.) Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, New York, E.U.A., 5.1-5.51.

ROLIM, G.S., SENTELHAS, P.C., BARBIERI, V. **Planilhas no ambiente Excel TM para cálculos de Balanços Hídricos: Normal, Sequencial, de Cultura e de Produtividade Real e Potencial,** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

VAZ, P.K. *et al.* 2007. **Bacia do Parnaíba**. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, 15:253-263.

RODRIGUES, Z. R. C., Maia, P. H. P., Lima, C. E. S.; Araújo, V. M.; Cruz, L. V. M. 2009. **Hidrodinâmica do Sistema Aquífero Urucuia e Seu Rebatimento para a Gestão da Água na Região Oeste do Estado Da Bahia**. I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo.

SGARBI, G.N., SGARBI, P.B., CAMPOS, J.E., DARDENNE, M.A., PENHA, U.C. 2001. **Bacia Sanfranciscana: o registro fanerozóico da Bacia do São Francisco**. In: Pinto, C.P., Martins-Neto, M.A. (eds.). Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais. Belo Horizonte, SBG – Núcleo de Minas Gerais, 93-138.

SCANLON, B.R.; HEALY, R.W.; COOK, P.G. **Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge**. Hydrogeology Journal, v. 10, p. 18-39, January 2002.

SPIGOLON, A. L. D.; ALVARENGA, C. J. **Fácies e Elementos Arquiteturais Resultantes de Mudanças Climáticas em um Ambiente Desértico: Grupo Urucuia (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana**. Revista Brasileira de Geociências, v. 32, n. 4, p. 579–586, 2002.47 .

SIAGAS – **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas**. CPRM – Serviço Geológico Brasileiro. Disponível em:<<http://siagasweb.cprm.gov.br>>

SOUZA, C. C. 2003. **Relatório Técnico Estudos Geológicos e Geofísicos**. GRUPO CACHOEIRA BRAZIL FARMS LTDA, Luis Eduardo Magalhães (BA). CA - PERFURAÇÃO DE POÇOS ARTESIANOS LTDA – ME. Relatório Técnico Interno. 25p.

SCHUSTER, H. D. M; SILVA, F. F. da; TEIXEIRA, S. L.; BATISTA, L. H. G. & FREITAS, W. A. 2002. **Estudos Hidrogeológicos do Aquífero Urucuia no Oeste baiano para Obtenção de Parâmetros nas outorgas de mananciais Subterrâneos**. In: ABAS, Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 12, Santa Catarina.

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

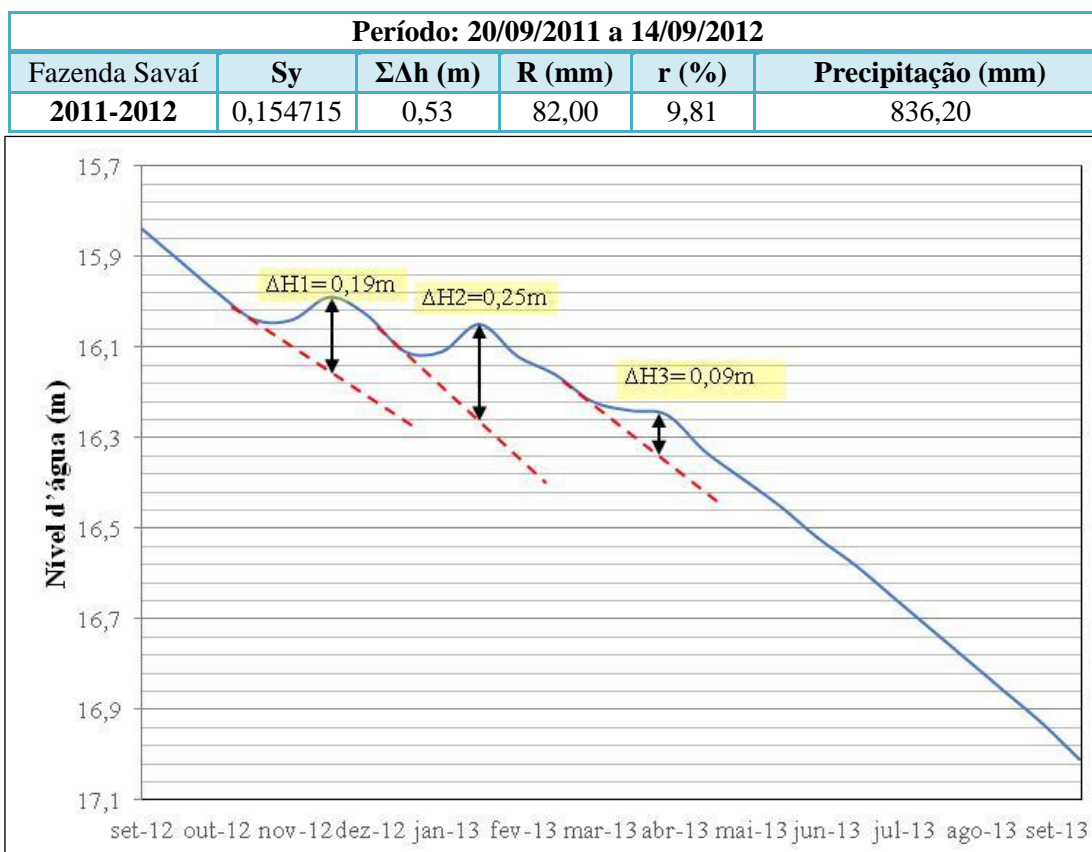
THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. (1955). **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p.

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

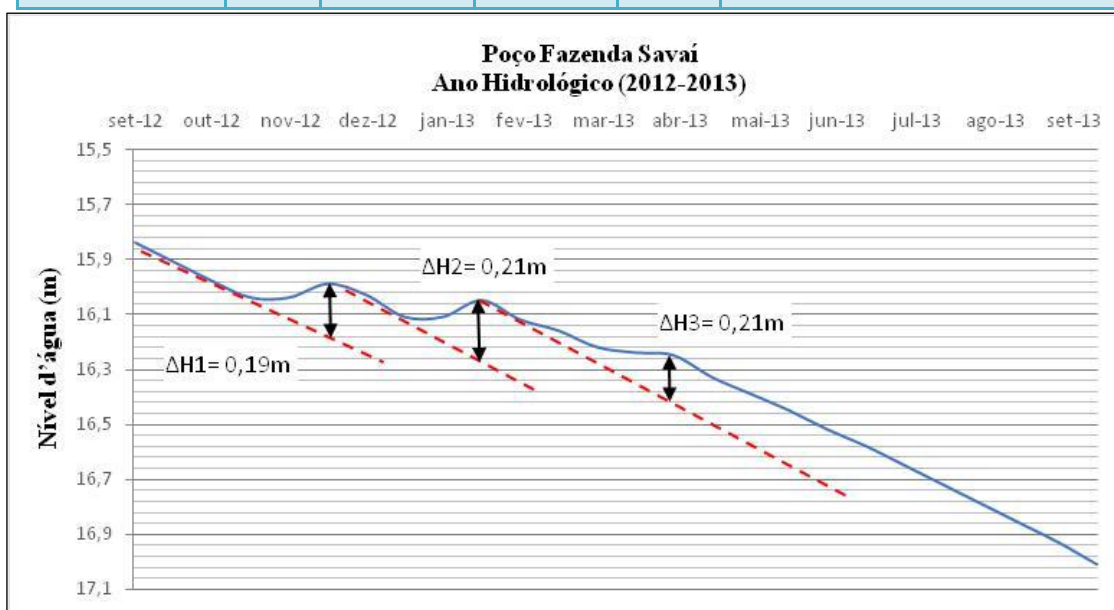
14. ANEXOS

GRÁFICOS - VNA

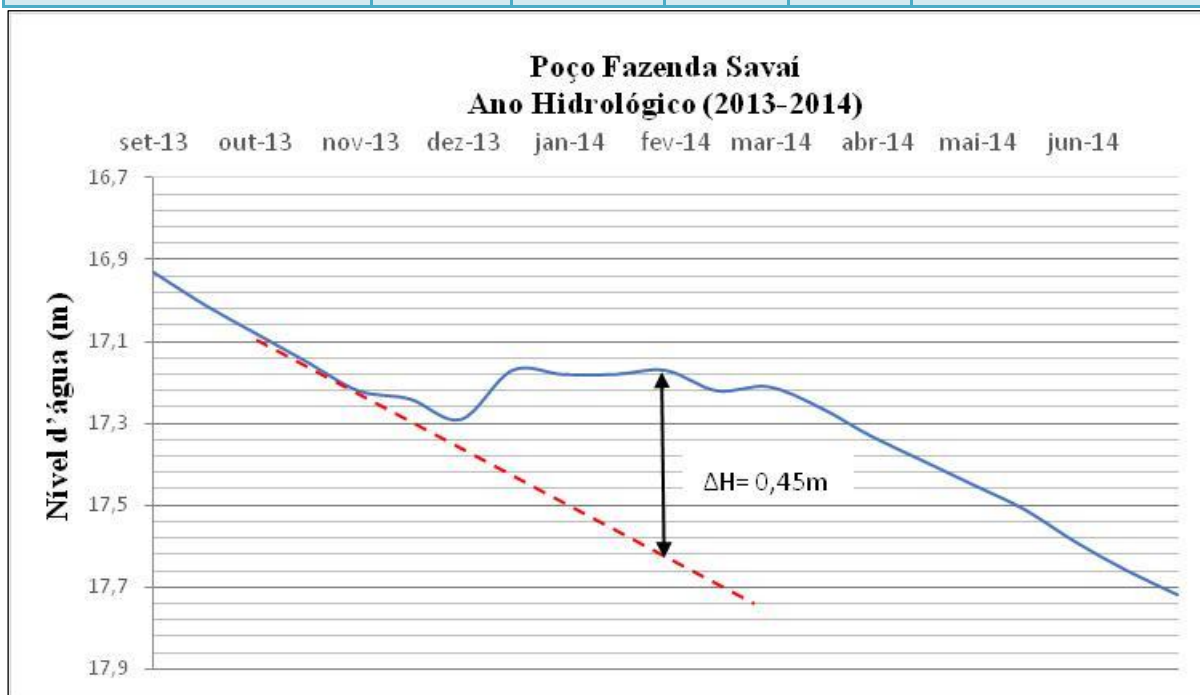
Fazenda Savaí - RIMAS/CPRM 2900020680



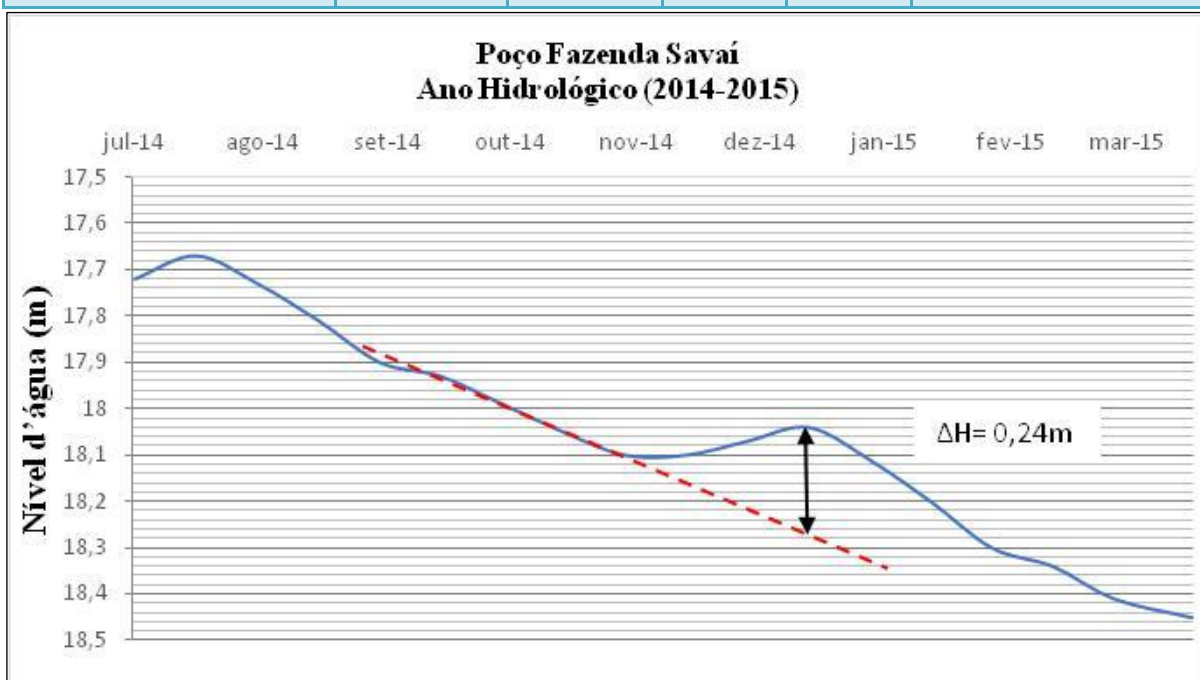
Fazenda Savaí	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2012-2013	0,155	0,61	94,38	13,41	703,70



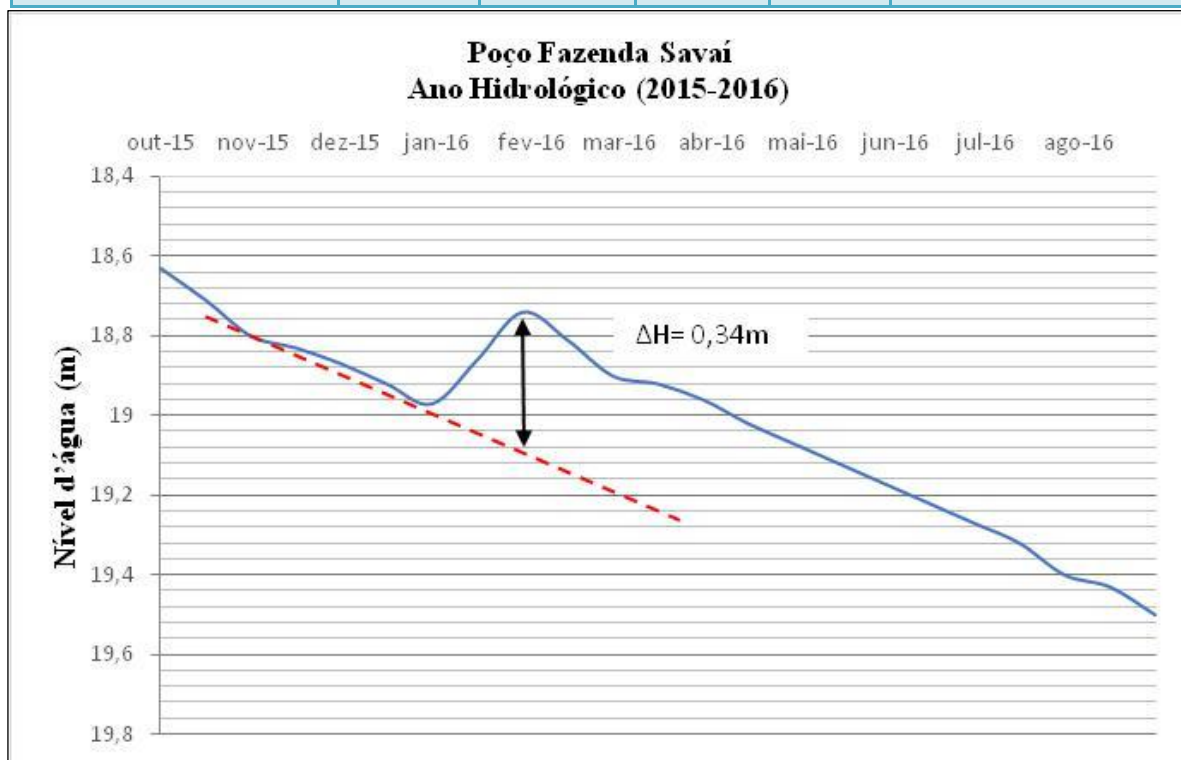
Fazenda Savai	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2013-2014	0,154715	0,45	69,62	8,83	788,10



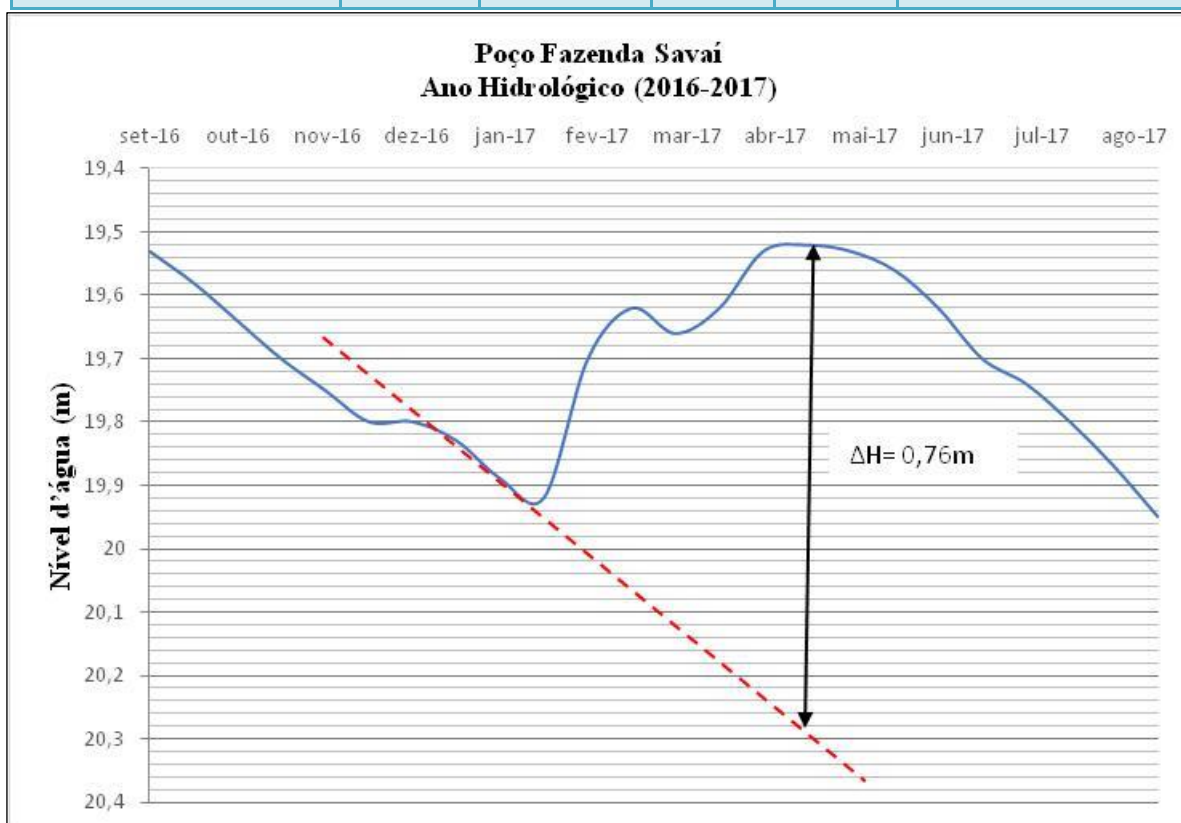
Fazenda Savai	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2014-2015	0,154715	0,24	37,13	7,20	516



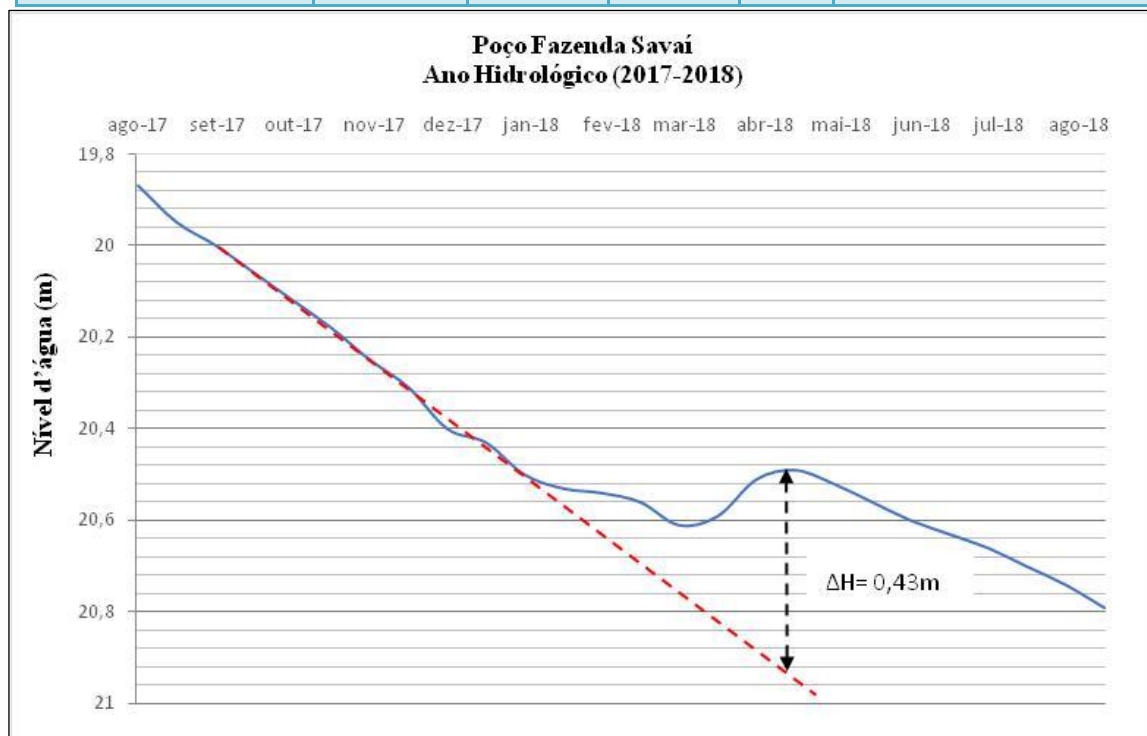
Fazenda Savaí	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2015-2016	0,154715	0,34	52,60	6,80	773,10



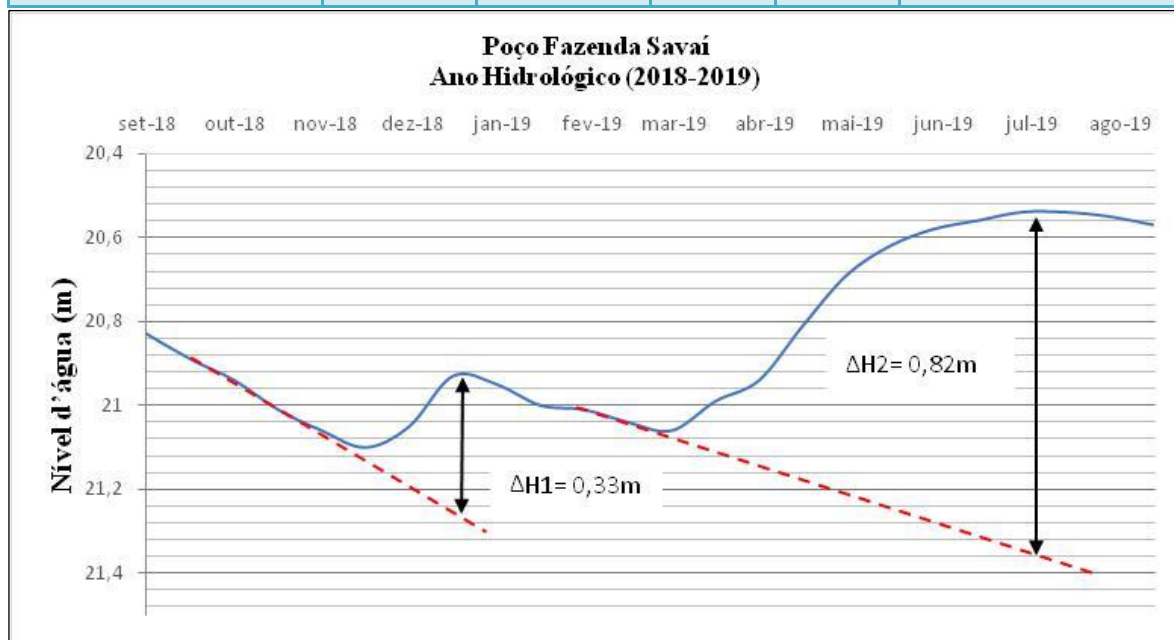
Fazenda Savaí	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2016-2017	0,154715	0,76	117,58	14,26	824,3



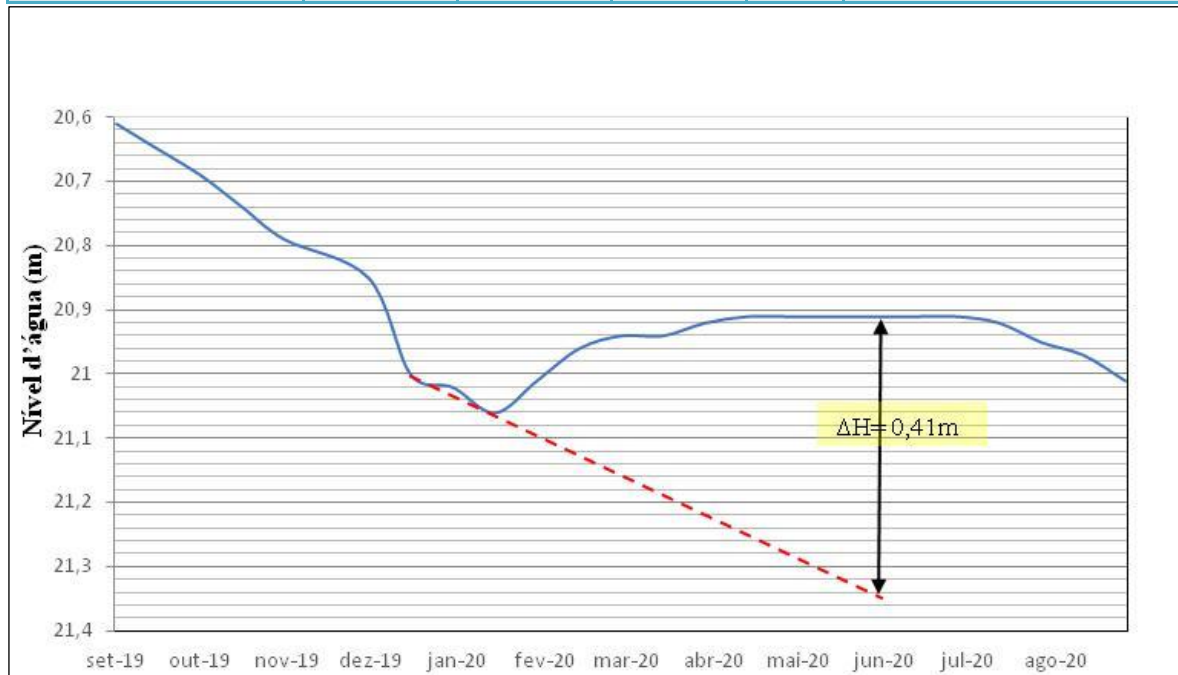
Fazenda Savaí	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2017-2018	0,154715	0,43	66,53	6,70	992,9



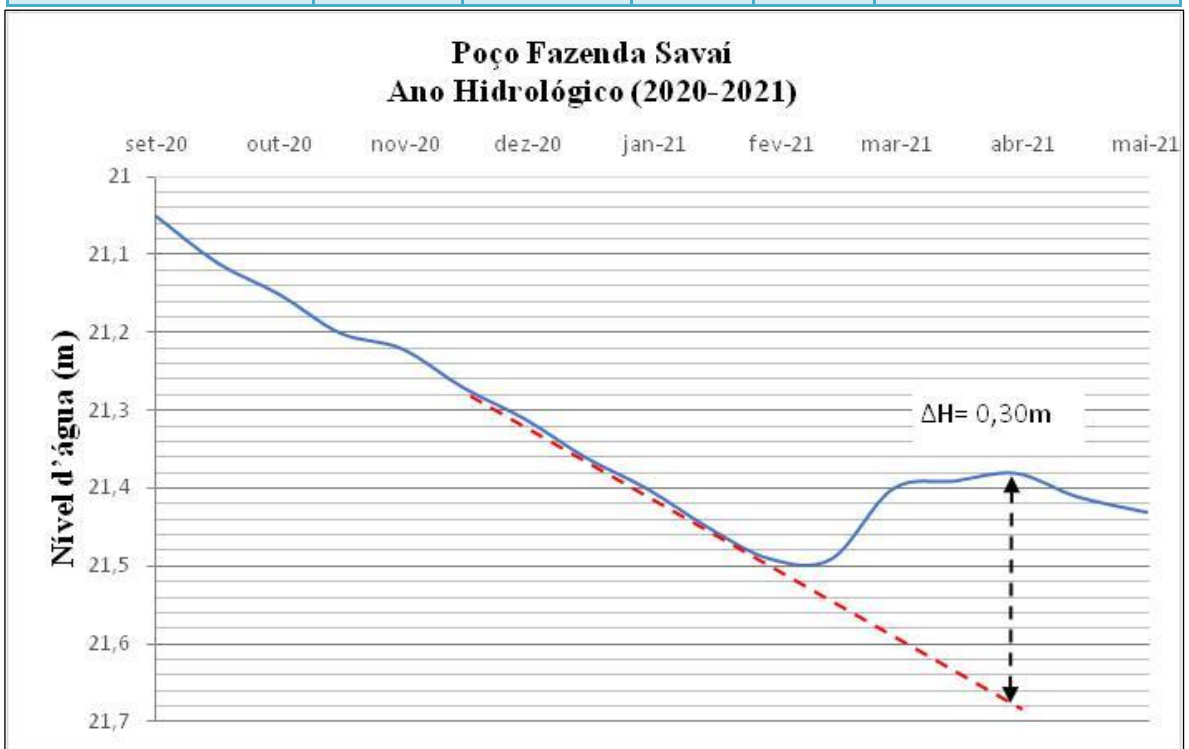
Fazenda Savaí	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2018-2019	0,154715	1,15	177,92	12,37	1437,90



Fazenda Savaí	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2019-2020	0,154715	0,41	63,43	5,62	1.128,10

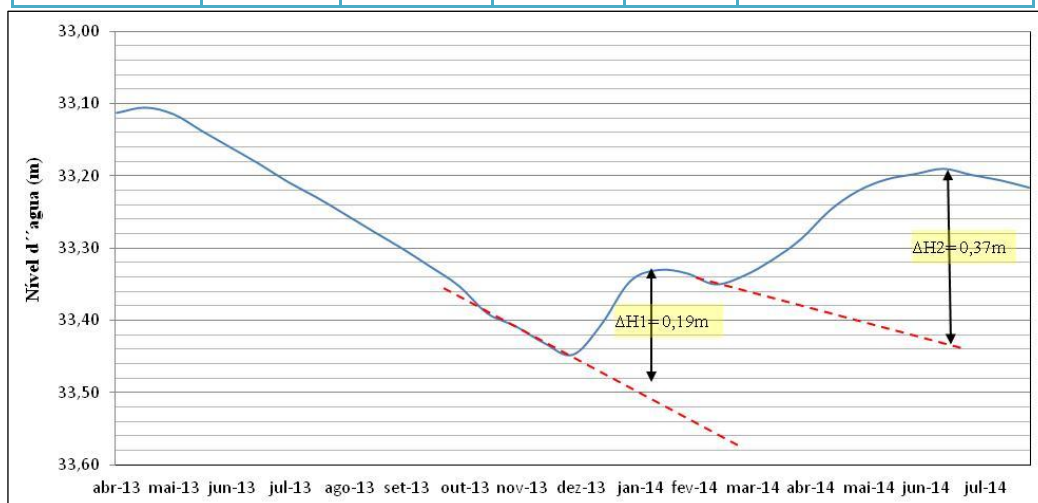


Fazenda Savaí	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2020-2021	0,154715	0,3	46,41	4,69	989,8

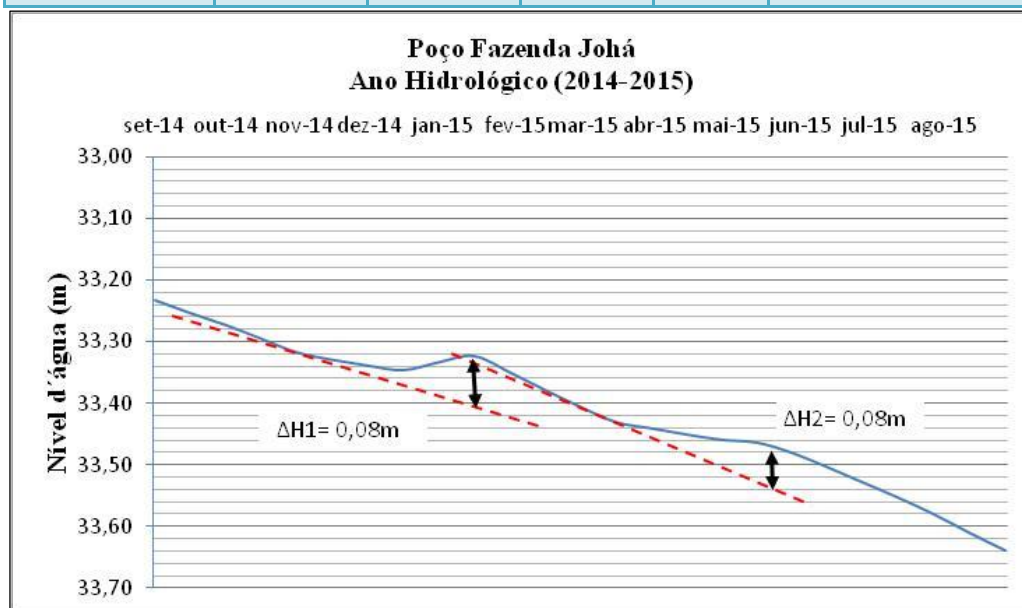


Fazenda Johá - RIMAS/CPRM 2900020677

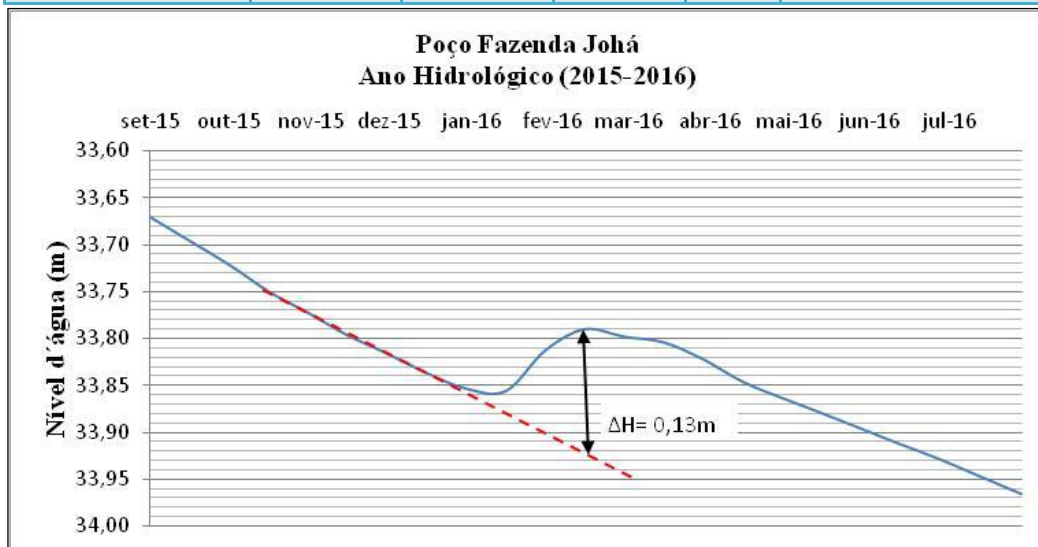
Período: 30/04/2013 a 23/08/2014					
Fazenda Johá	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2013-2014	0,154715	0,56	86,64	9,35	926,9



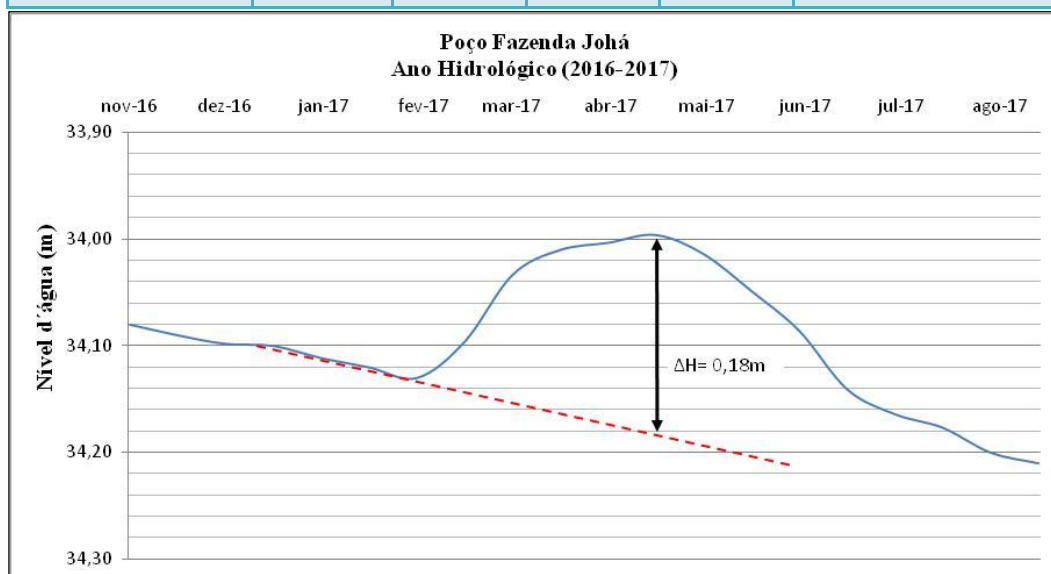
Fazenda Johá	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2014-2015	0,154715	0,16	24,75	3,41	725,1



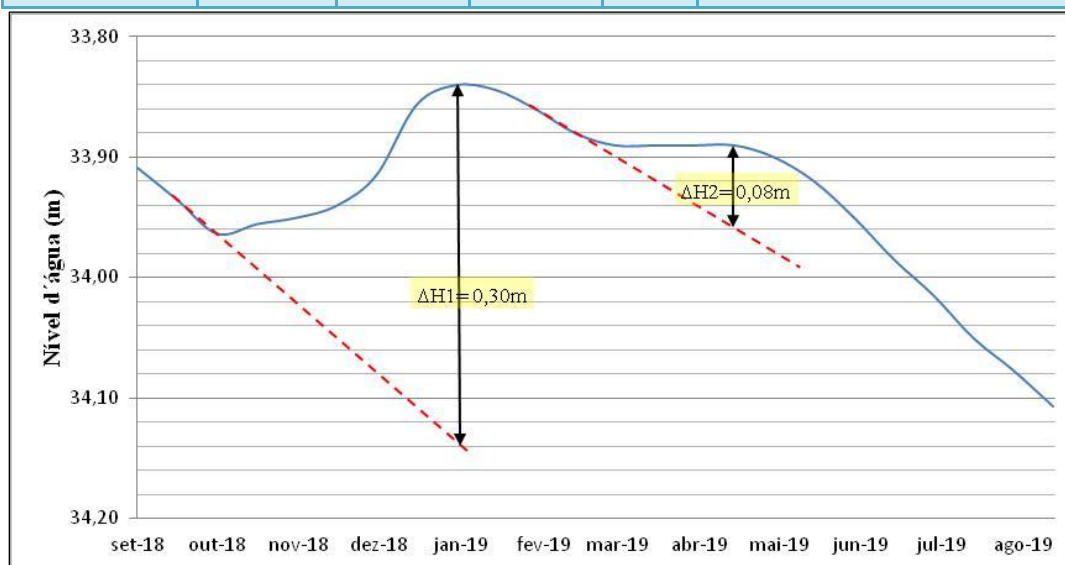
Fazenda Johá	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2015-2016	0,154715	0,13	20,11	2,60	775



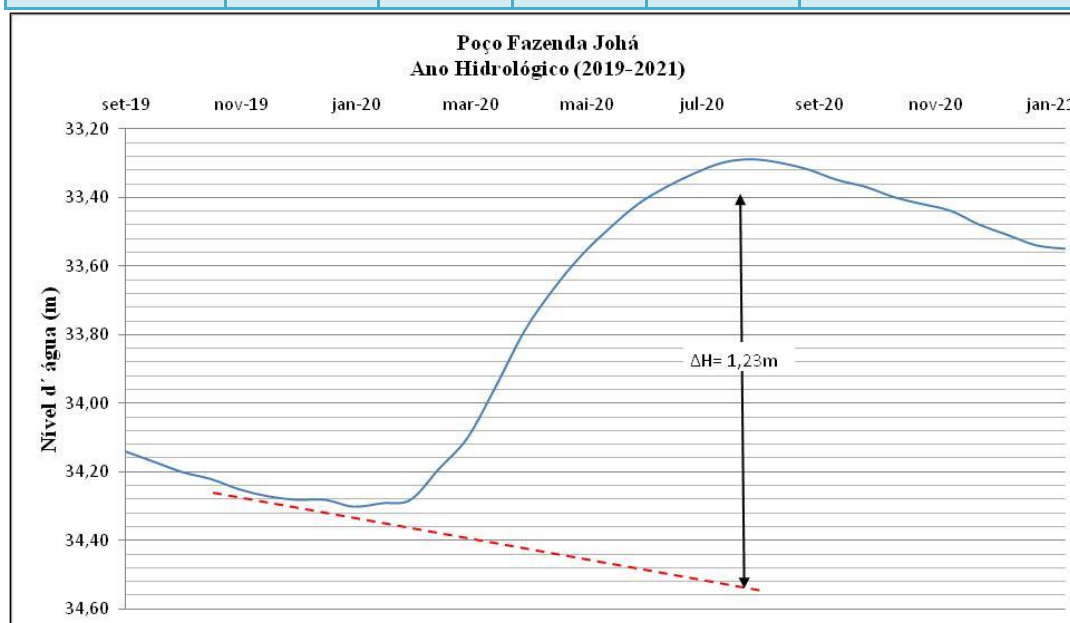
Fazenda Johá	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2016-107	0,154715	0,18	27,85	3,59	775



Fazenda Johá	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2018-2019	0,154715	0,38	58,79	4,16	1413,2

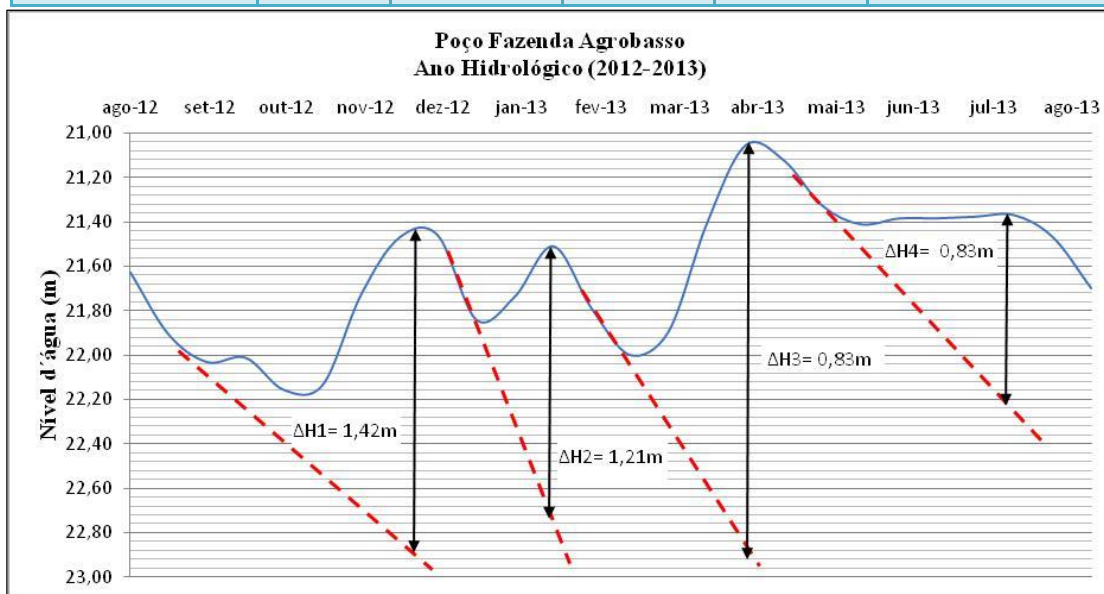


Fazenda Johá	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2019-2020	0,154715	1,23	190,30	12,83	1483

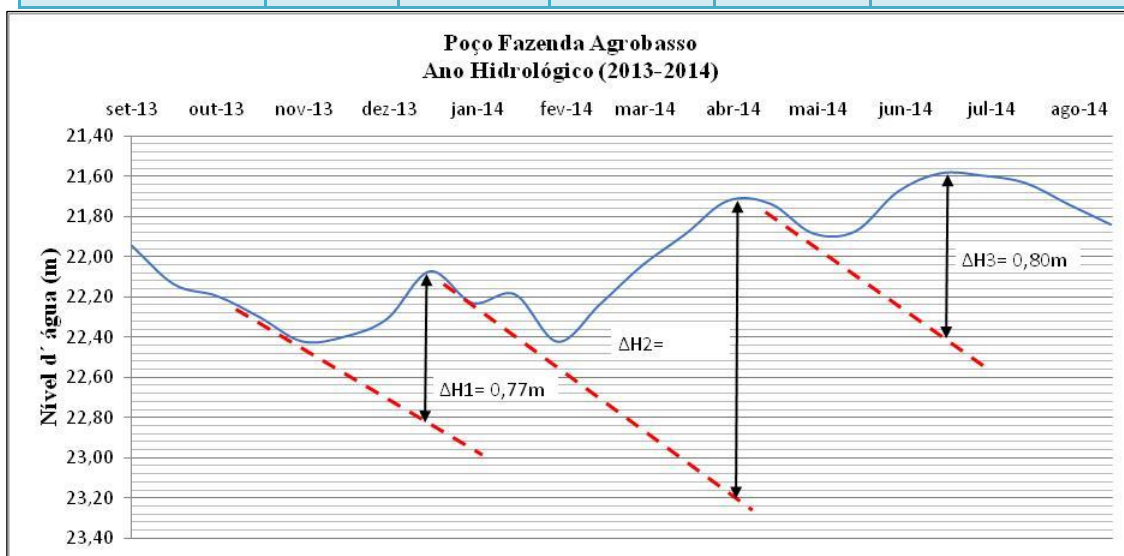


Fazenda Agrobasso - RIMAS/CPRM 2900020680

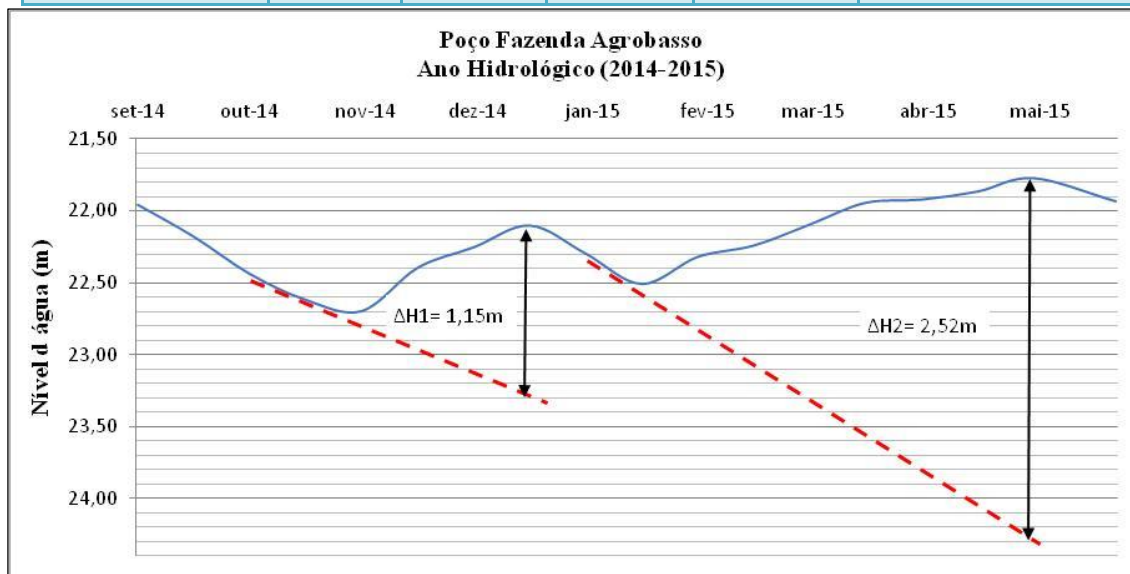
Faz. Agrobasso	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação
2012-2013	0,15472	5,26	813,80	90,65	897,7



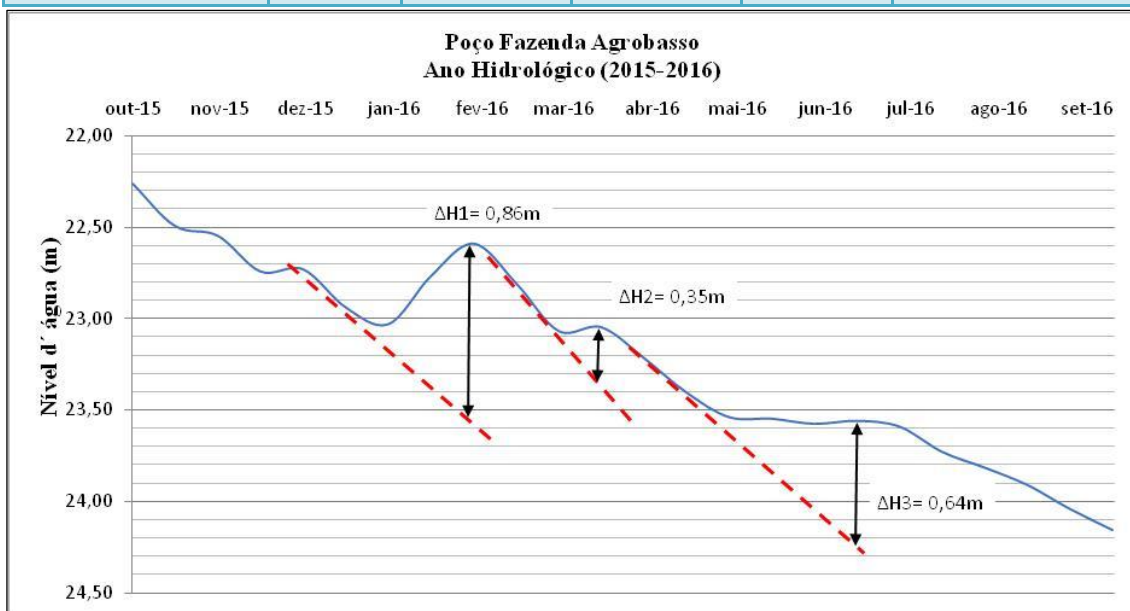
Faz. Agrobasso	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação
2013-2014	0,15472	3,03	468,79	59,48	788,1



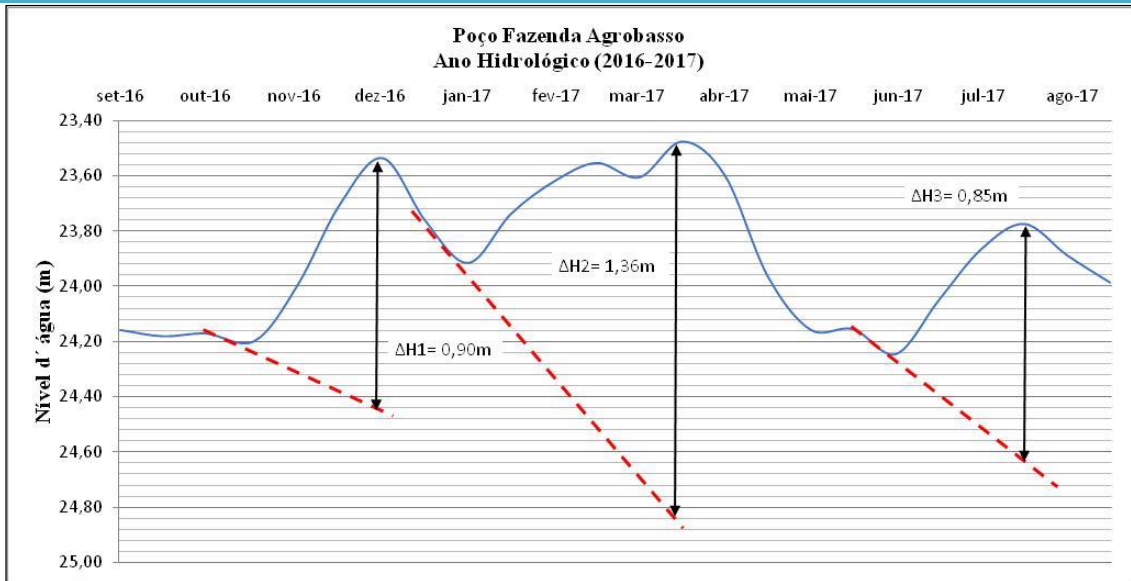
Faz. Agrobasso	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação
2014-2015	0,15472	3,67	567,80	78,70	721,5



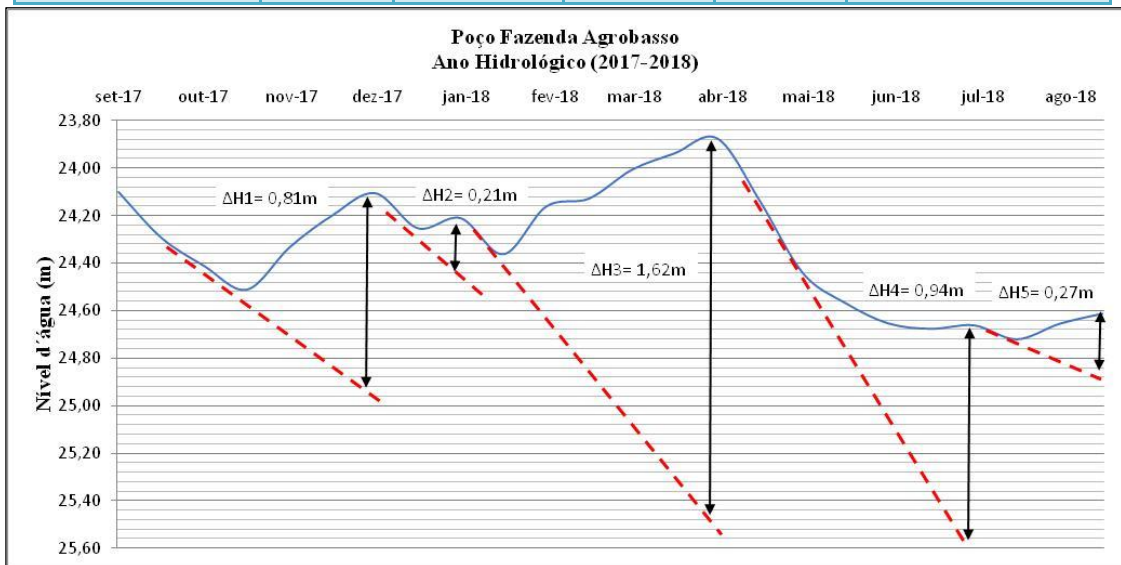
Faz. Agrobasso	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação
2015-2016	0,15472	1,95	301,69	38,88	775,9



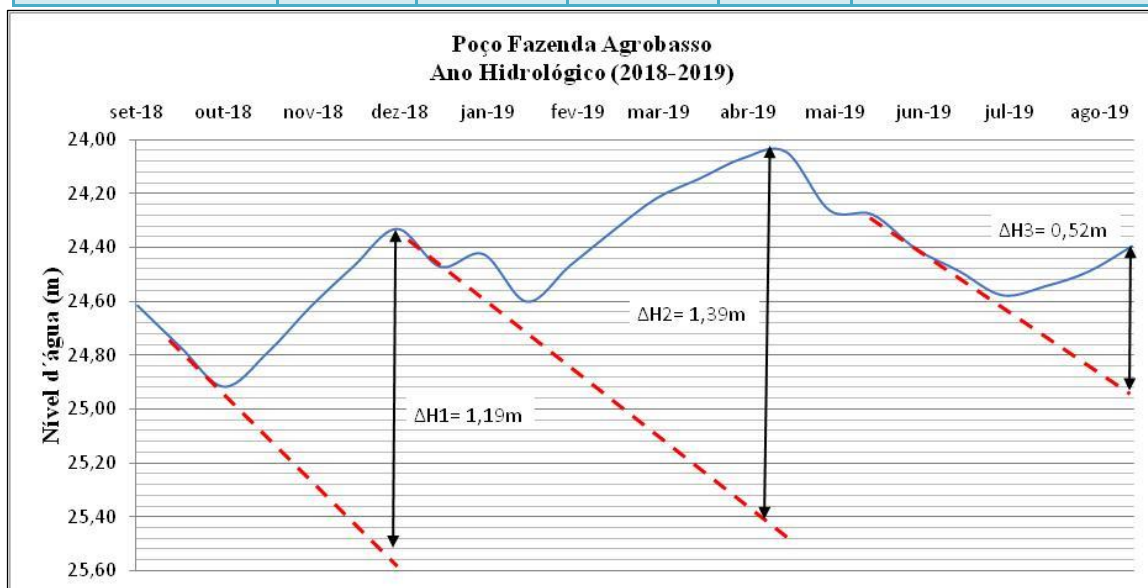
Faz. Agrobasso	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação
2016-2017	0,15472	3,11	481,164	57,0437	843,5



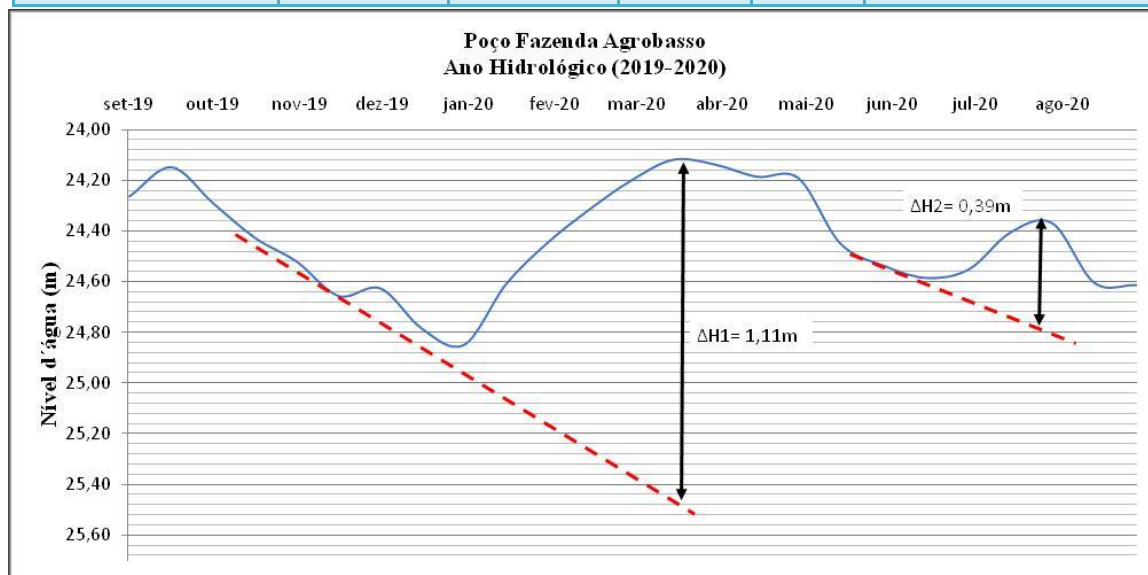
Faz. Agrobasso	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação
2017-2018	0,15472	3,85	595,65	60,87	978,6



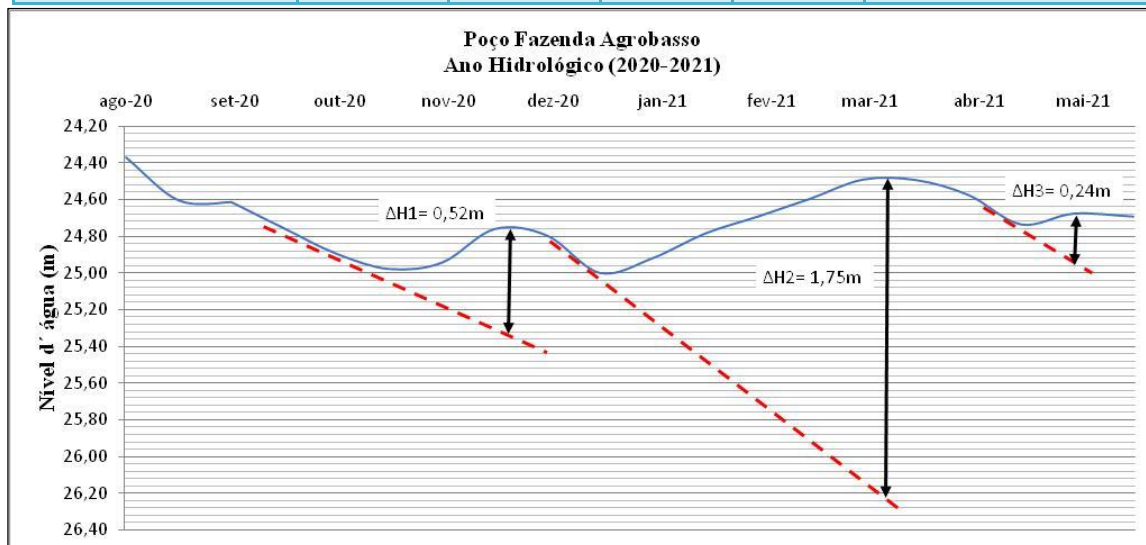
Faz. Agrobasso	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação
2018-2019	0,154715	3,1	479,62	33,94	1413,2



Faz. Agrobasso	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação
2019-2020	0,154715	1,5	232,07	20,57	1128,1

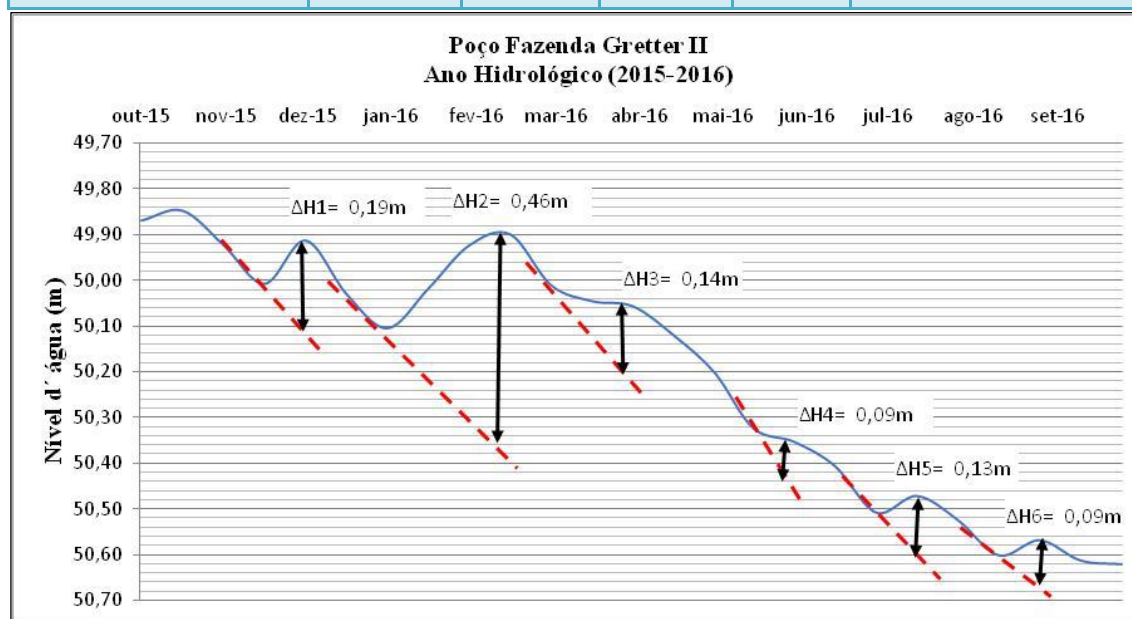


Faz. Agrobasso	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação
2020-2021	0,154715	2,51	388,33	39,23	989,8

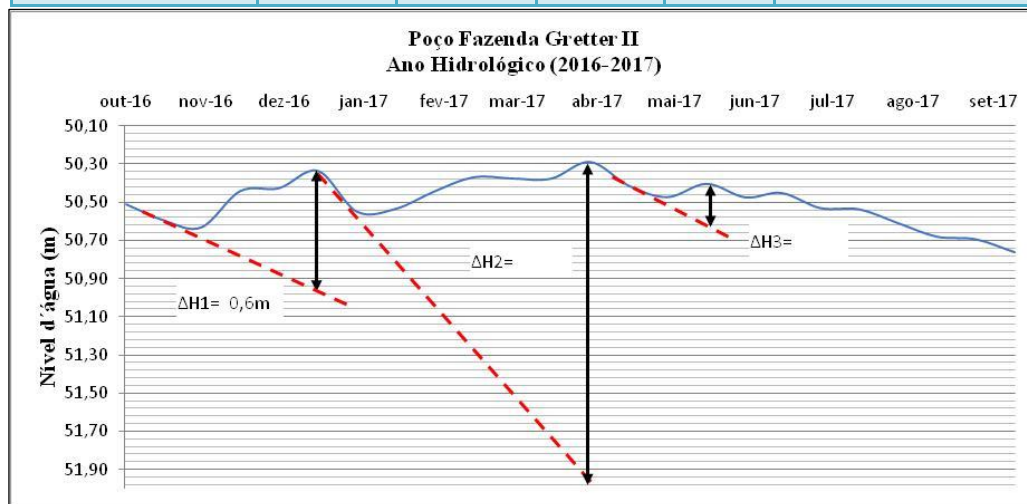


Fazenda Gretter II - RIMAS/CPRM 2900026863

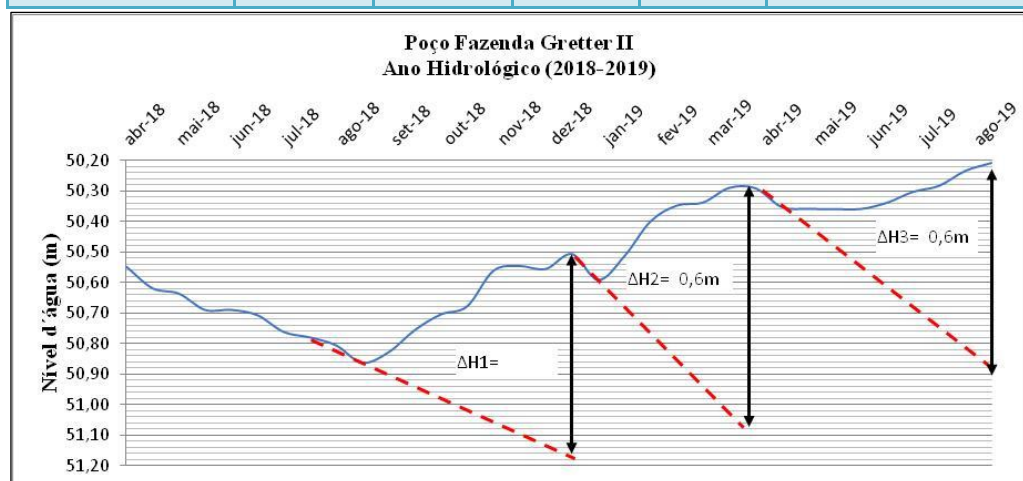
Fazenda Gretter II	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2015-2016	0,154715	1,1	170,19	21,77	781,8



Faz. Gretter II	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2016-2017	0,154715	2,43	375,96	40,72	923,2



Faz. Gretter II	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2018-2019	0,154715	2,09	323,35	22,88	1.413,20



Faz. Gretter II	Sy	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)	Precipitação (mm)
2019-2020	0,154715	1,42	219,70	17,93	1.225

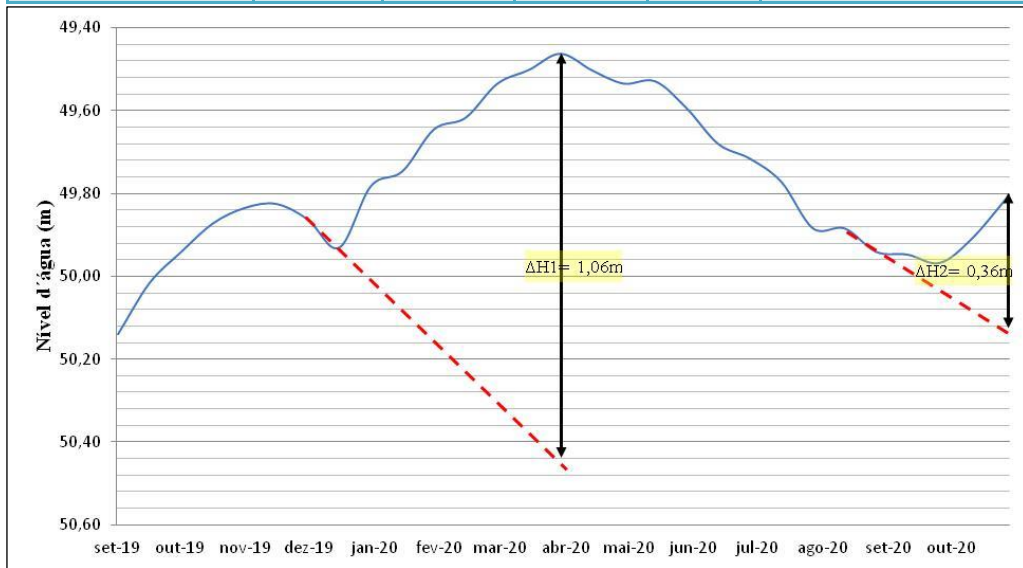
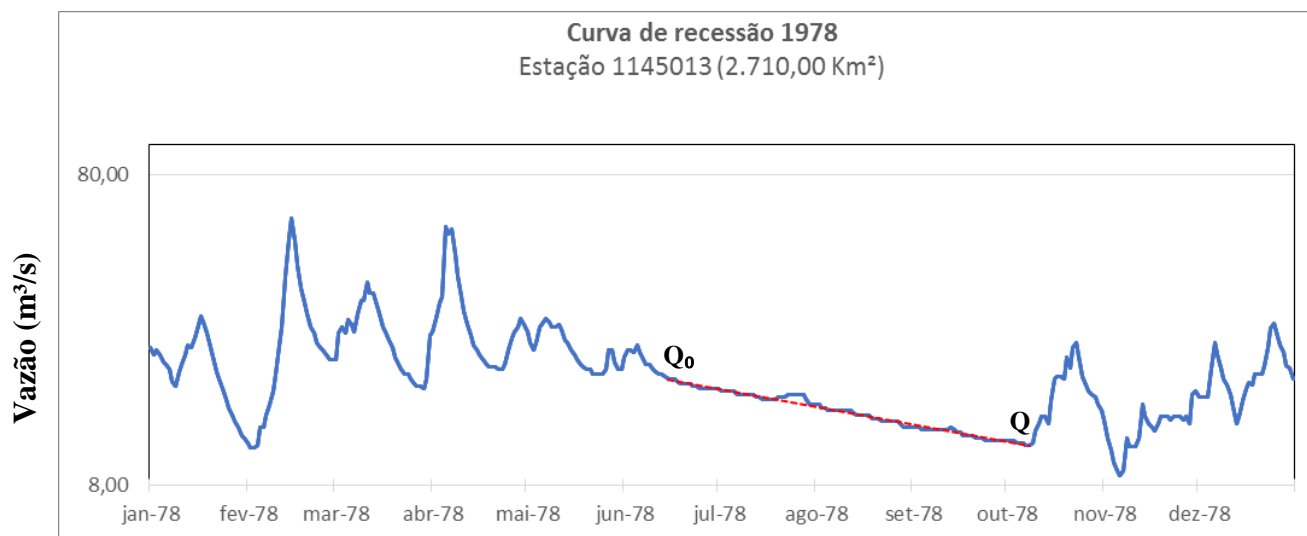
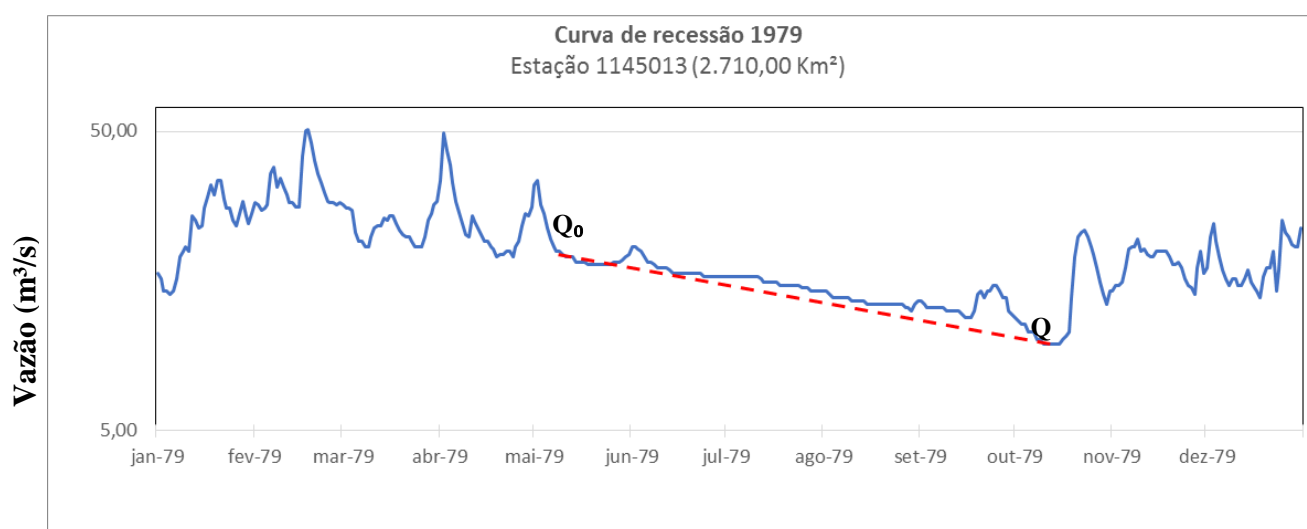


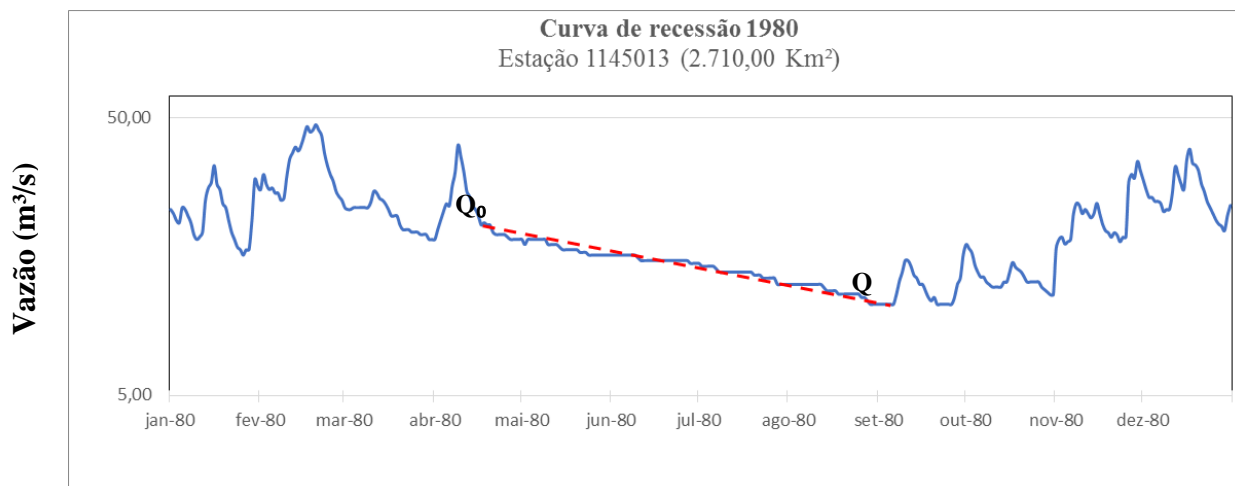
GRÁFICO CURVA DE RECESSÃO



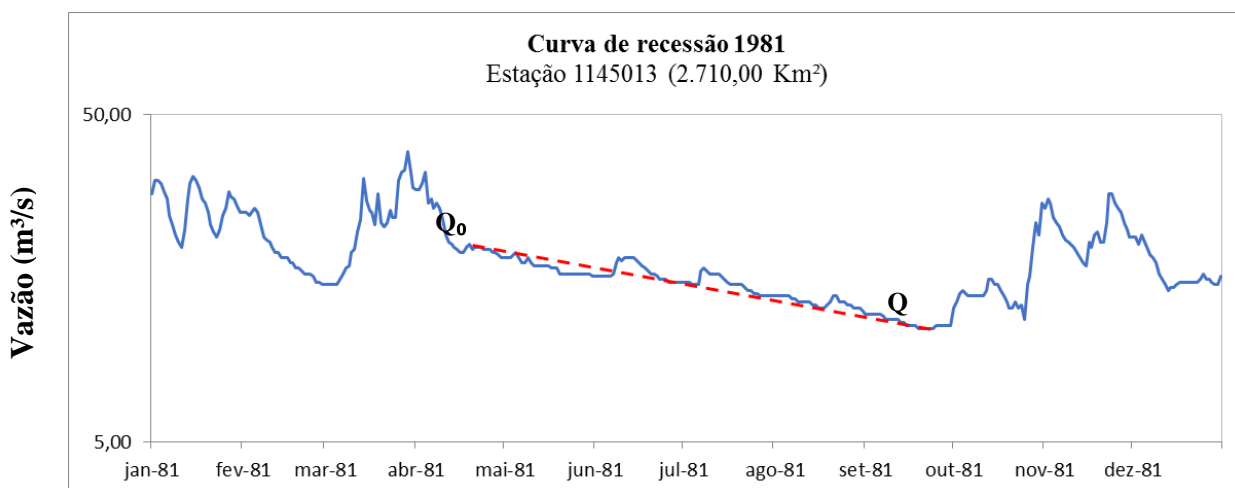
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.664,80	342.153.196,6	126,26	7,58



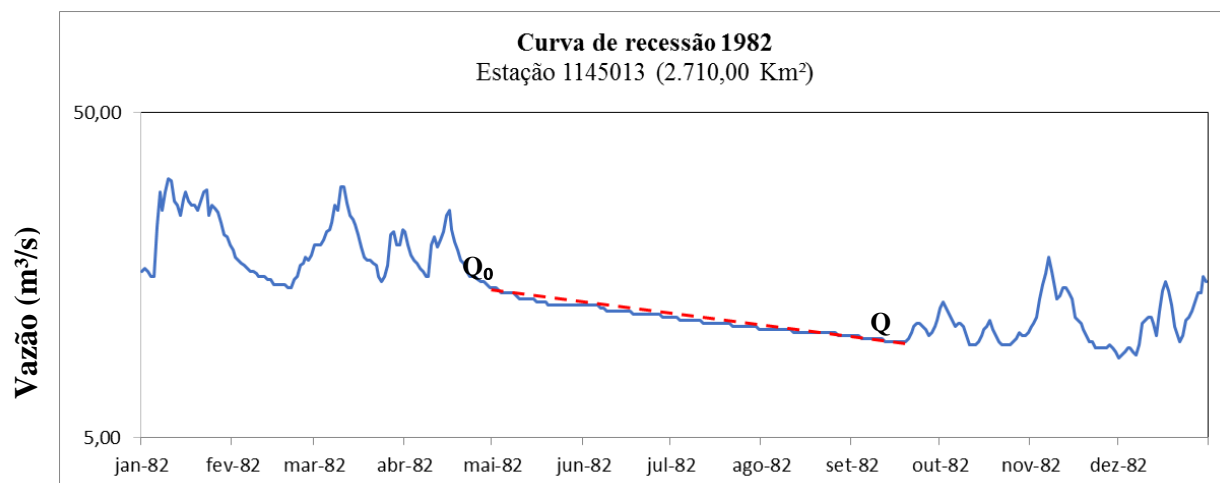
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.777,50	385.499.413,0	142,25	8,00



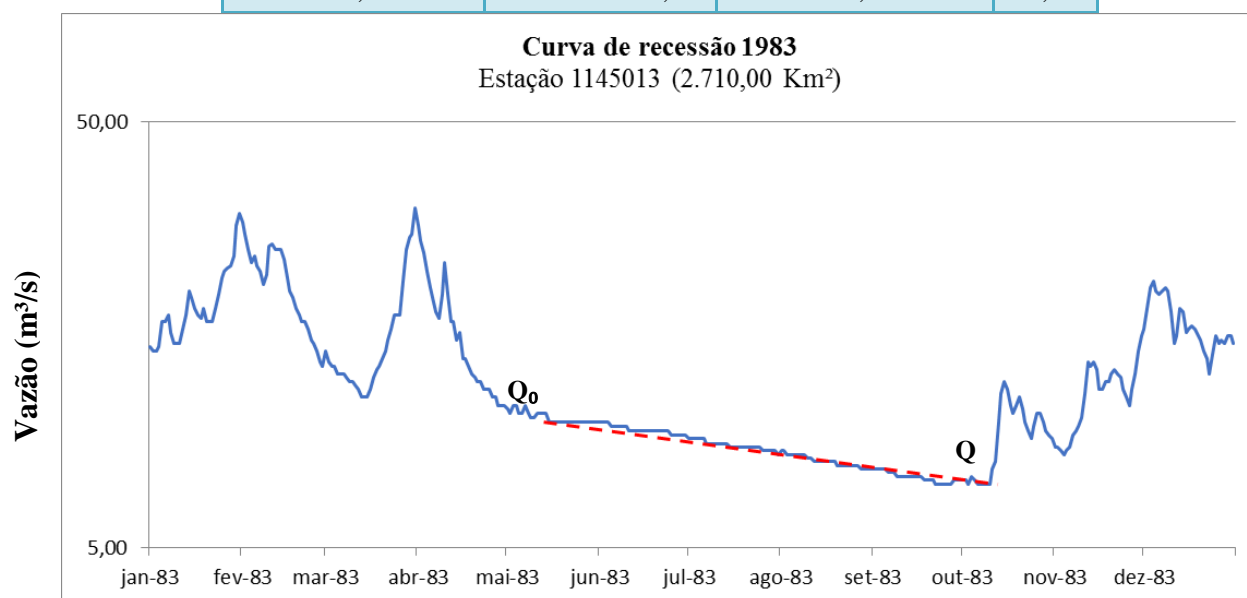
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.518,70	388.508.075,4	143,36	9,44



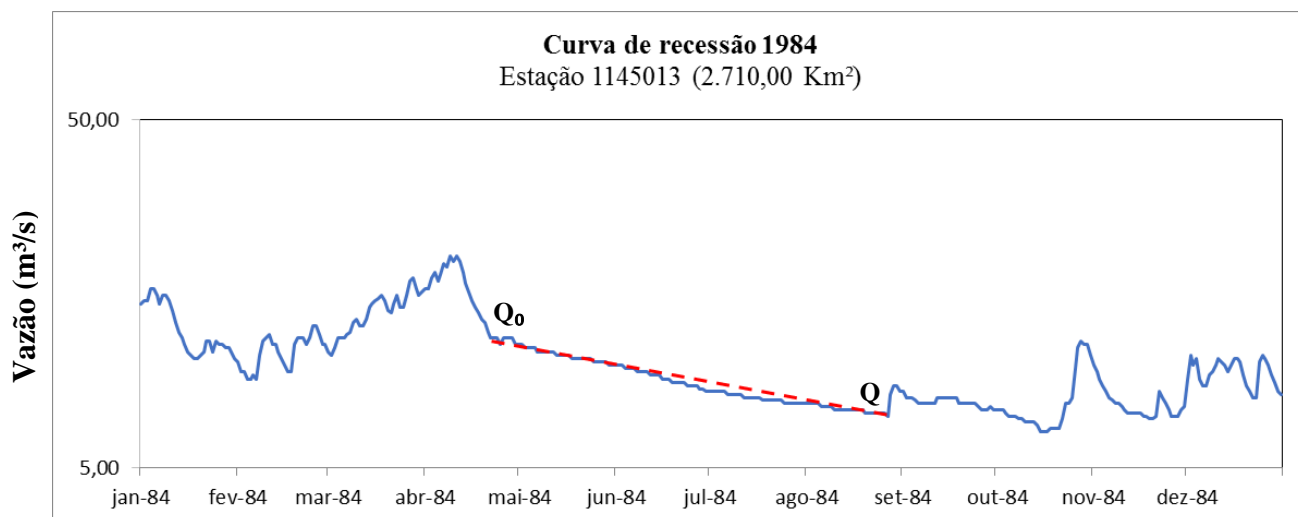
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.121,10	484.710.389,2	178,86	15,95



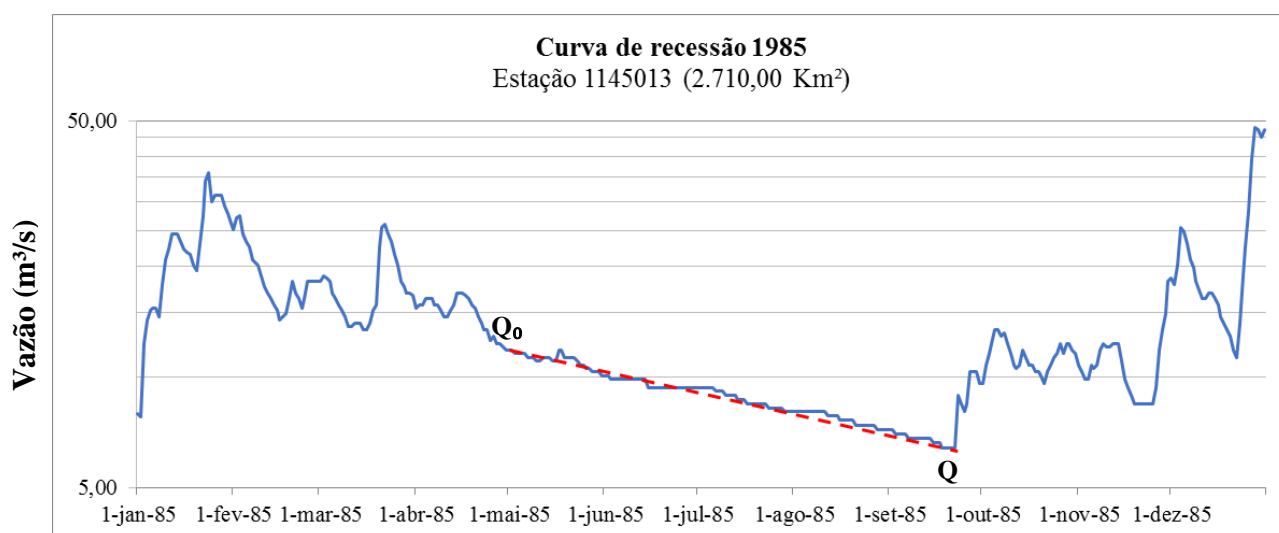
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
802,10	438.100.150,1	161,66	20,15



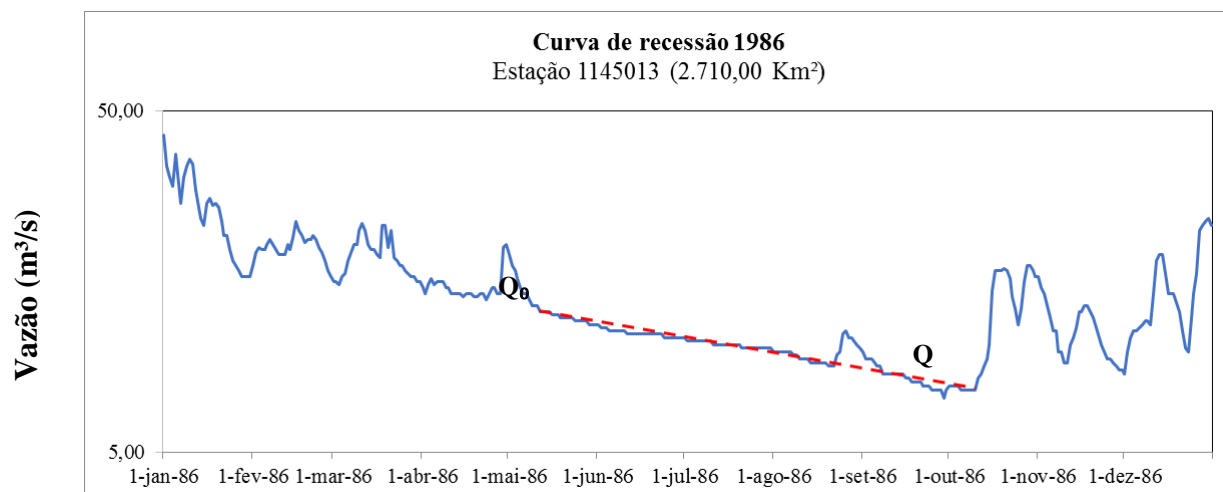
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
982,20	366.328.165,7	135,18	13,76



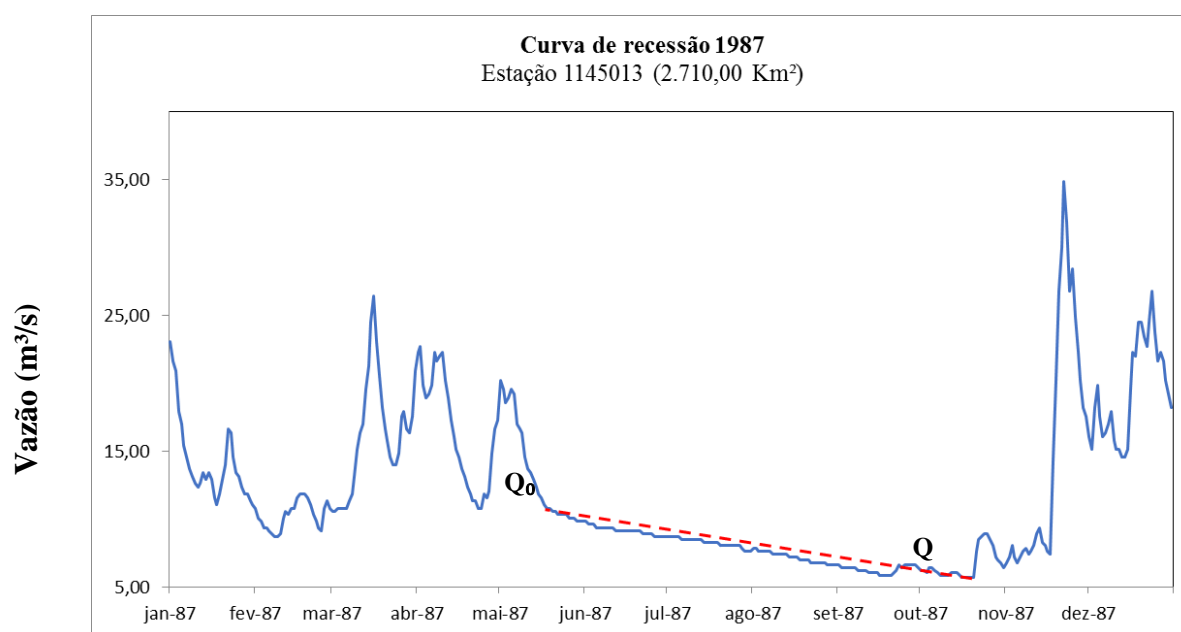
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
878,50	248.018.489,8	91,52	10,42



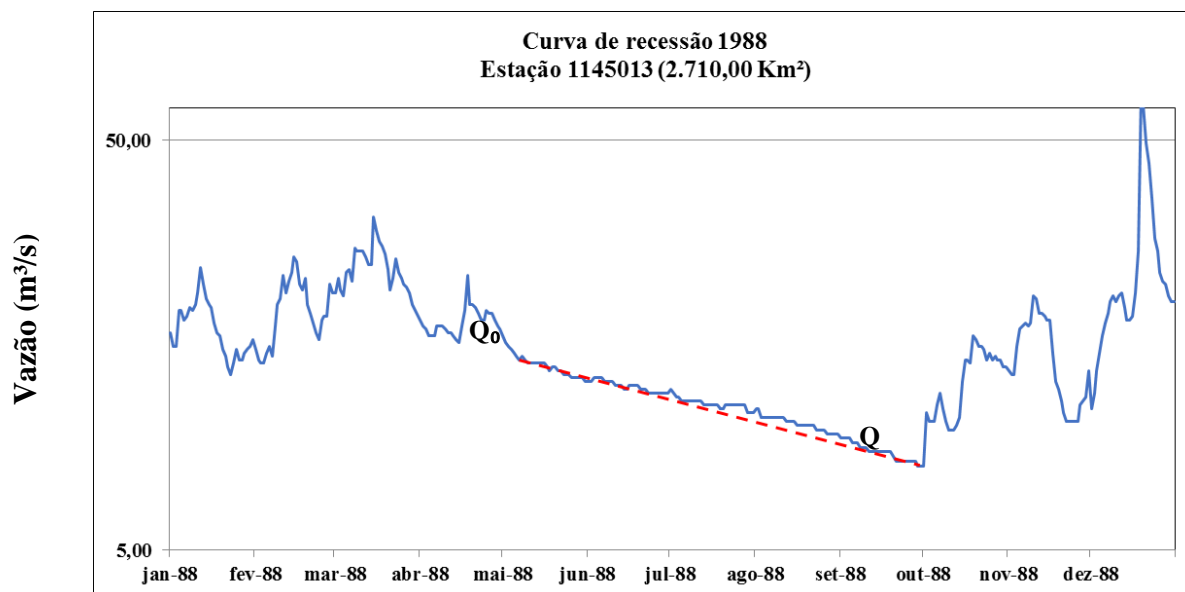
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.933,70	240.809.229,2	88,86	4,60



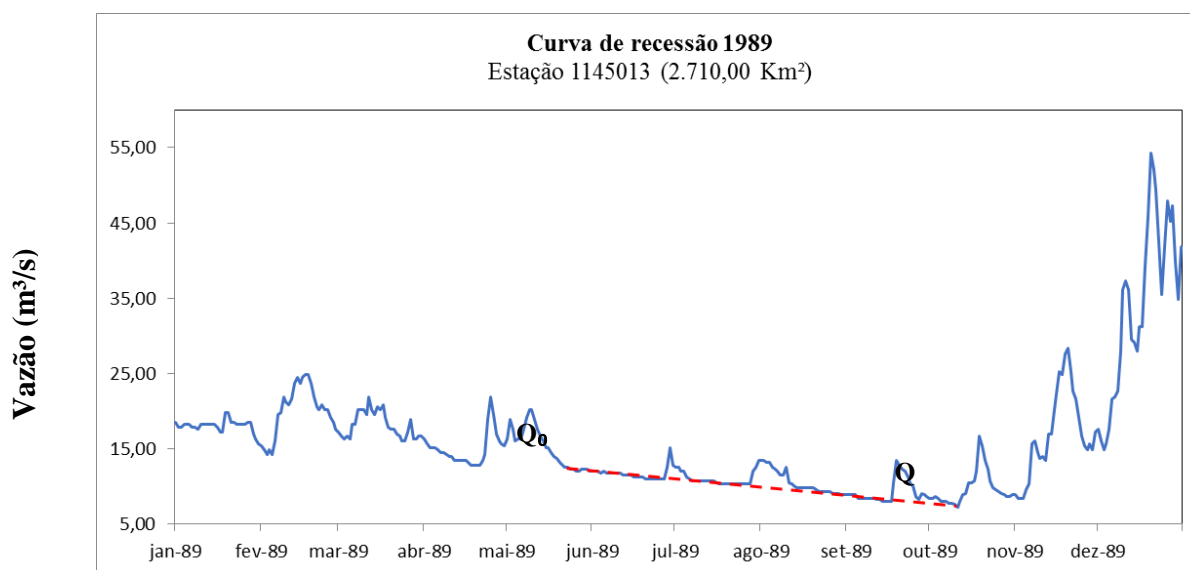
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
878,20	304.373.194,8	112,31	12,79



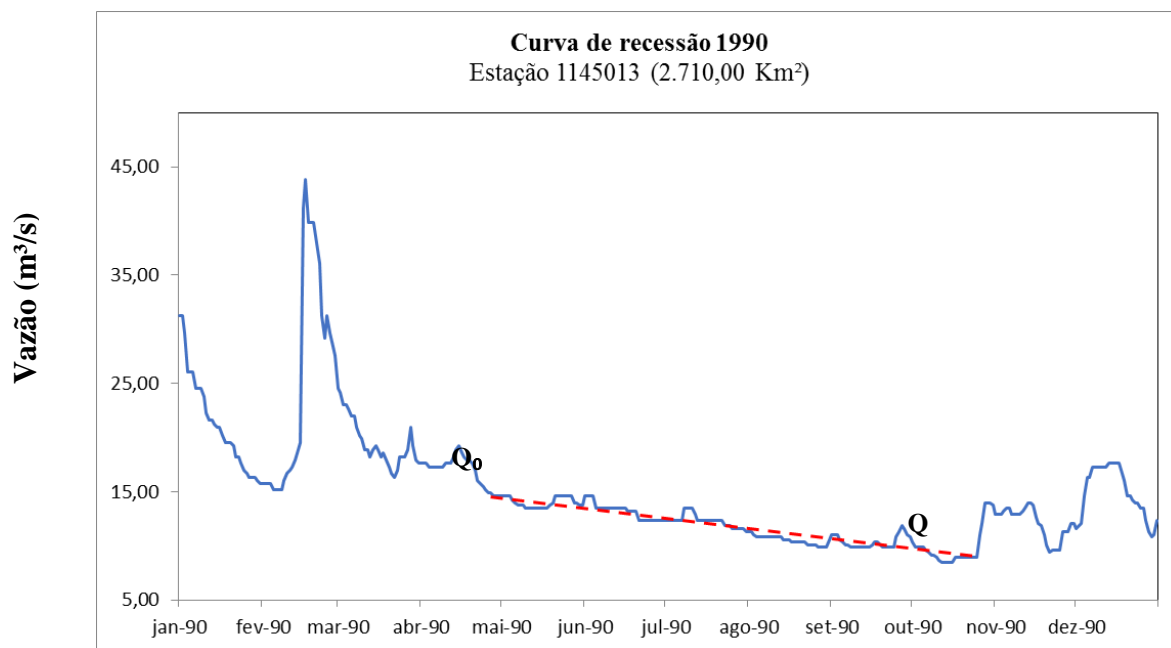
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.370,30	214.517.347,4	79,16	5,78



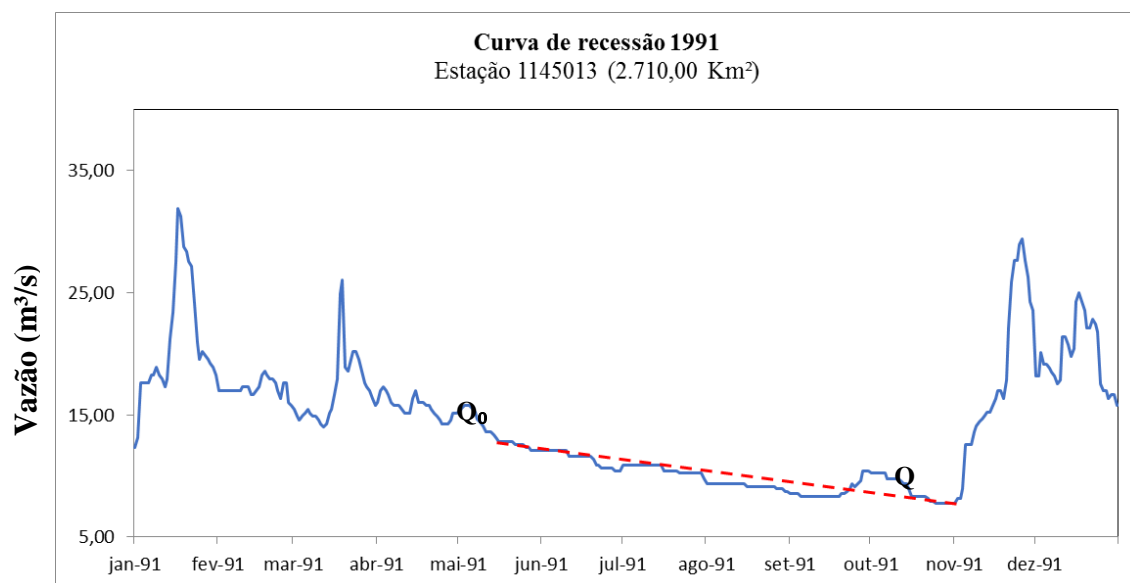
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.419,40	318.889.117,0	117,67	8,29



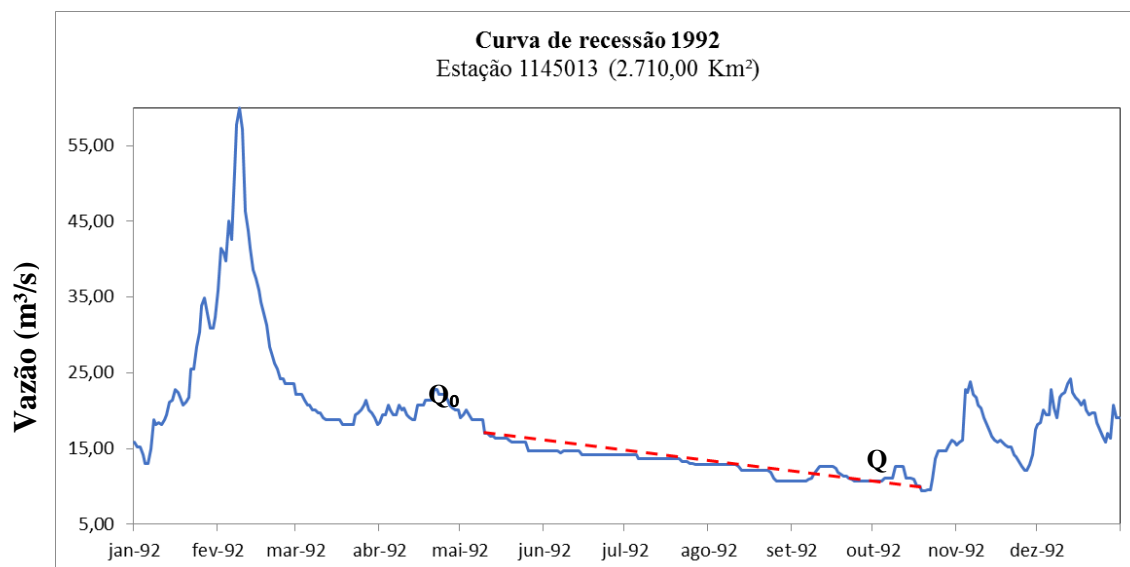
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.718,60	276.065.398,3	101,87	5,93



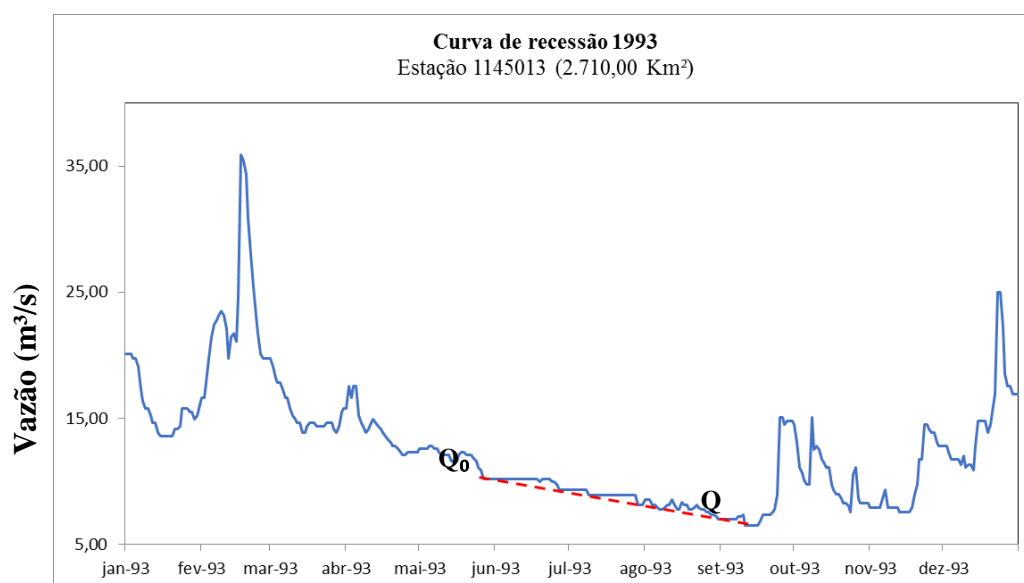
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
783,80	329.759.516,0	121,68	15,52



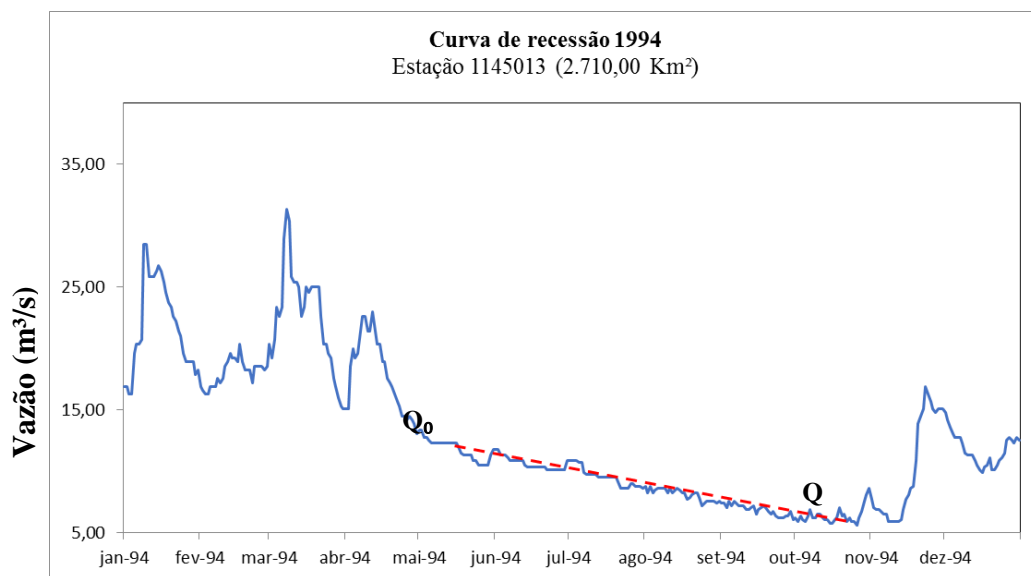
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
921,90	366.826.651,6	135,36	14,68



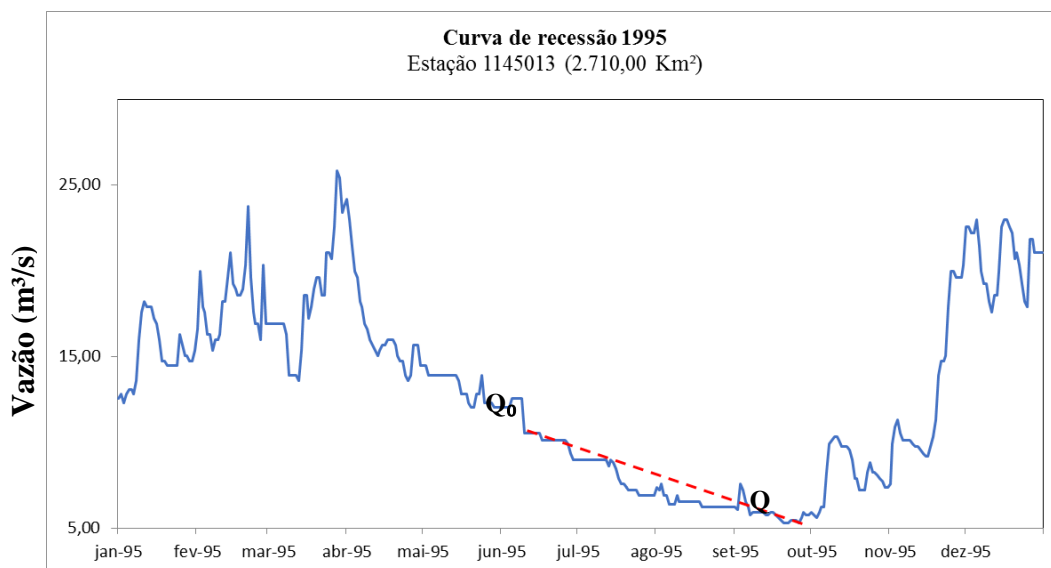
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.307,30	401.377.060,8	148,11	11,33



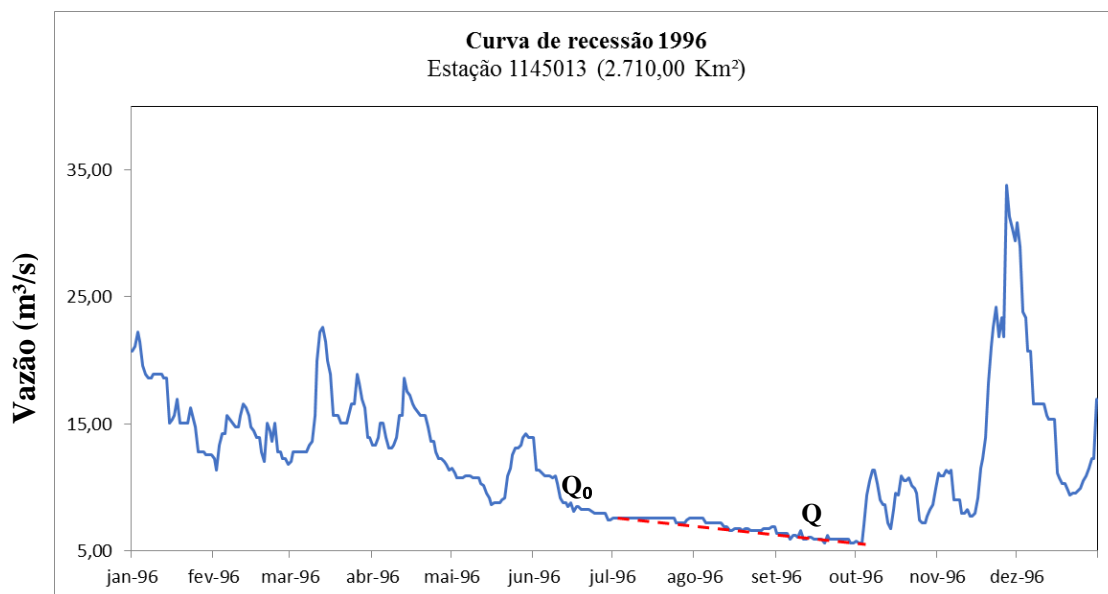
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
833,80	214.632.814,6	79,20	9,50



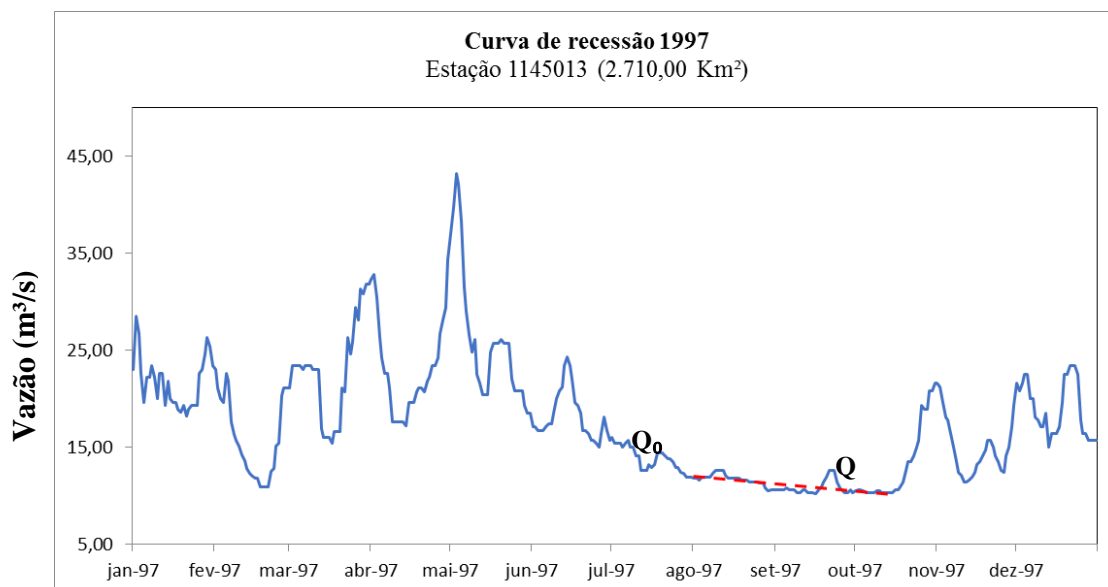
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
865,50	190.523.252,0	70,30	8,12



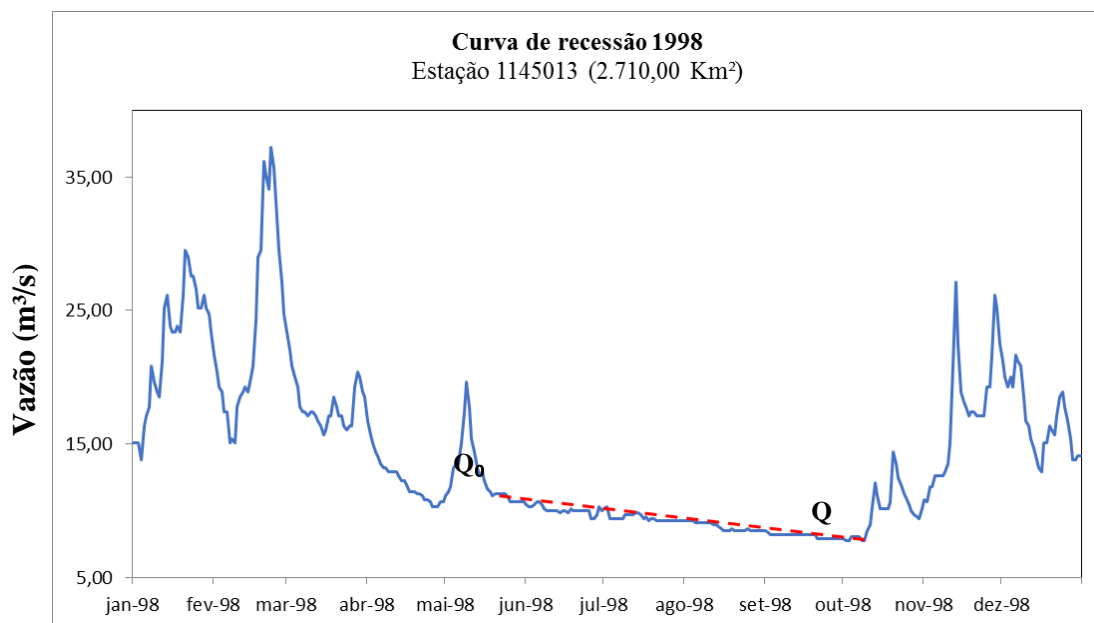
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.215,20	136.557.017,7	50,39	4,15



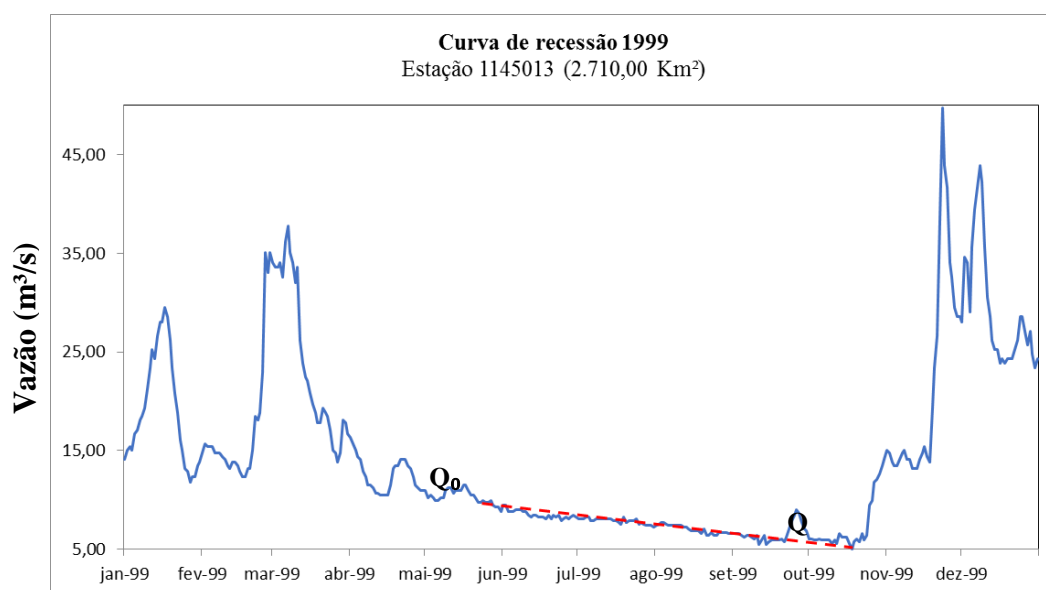
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.026,90	217.927.087,3	80,42	7,83



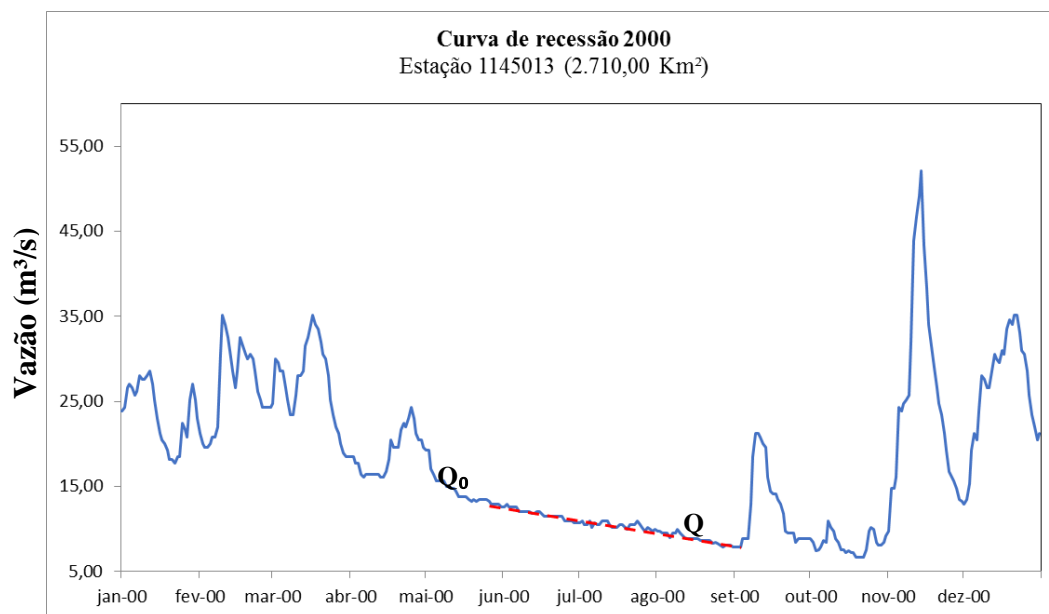
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.186,20	543.832.054,3	200,68	16,92



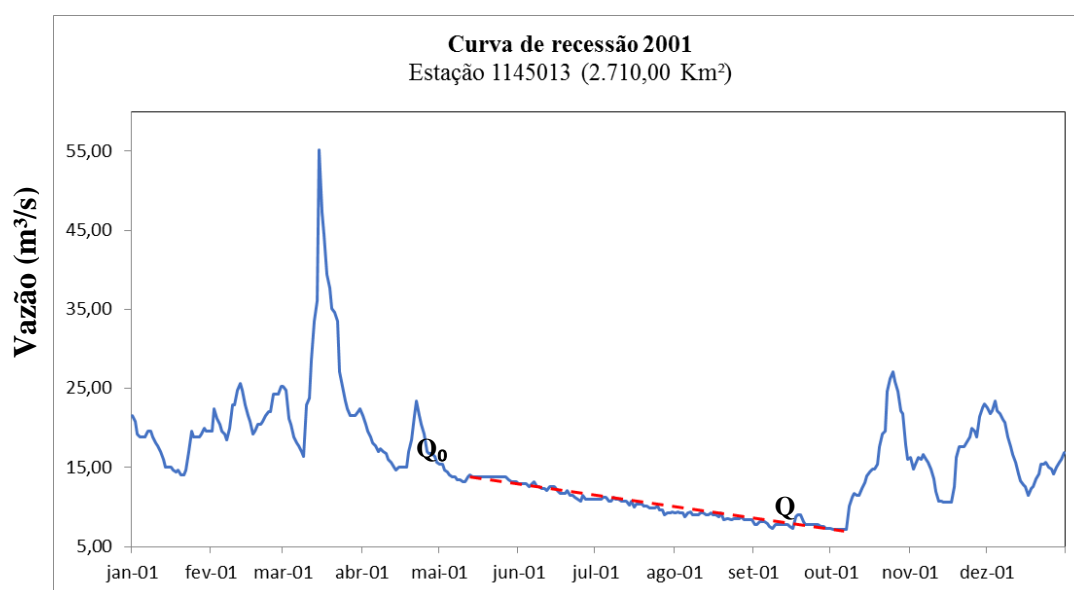
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.236,20	383.880.593,9	141,65	11,46



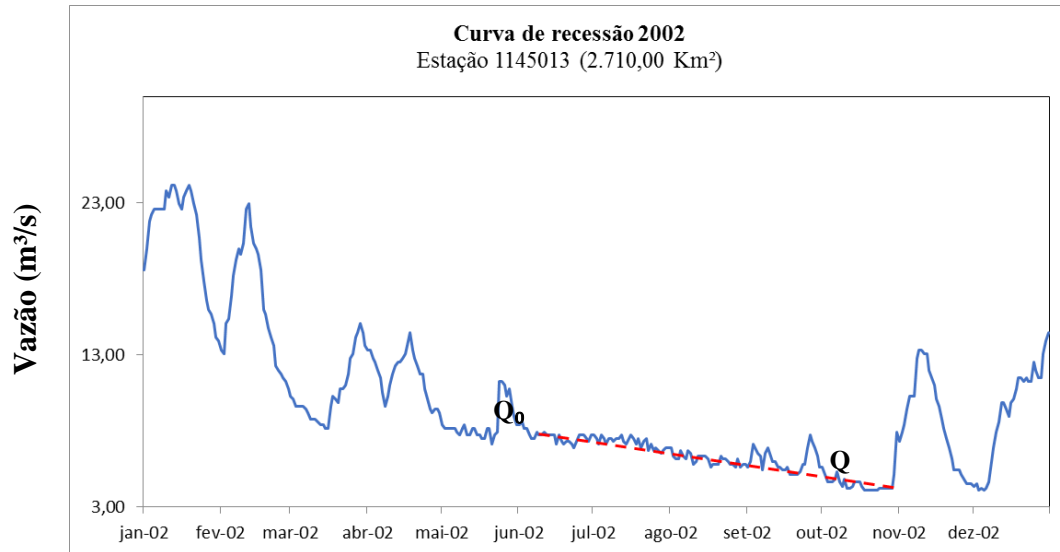
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.510,20	186.975.574,1	68,99	4,57



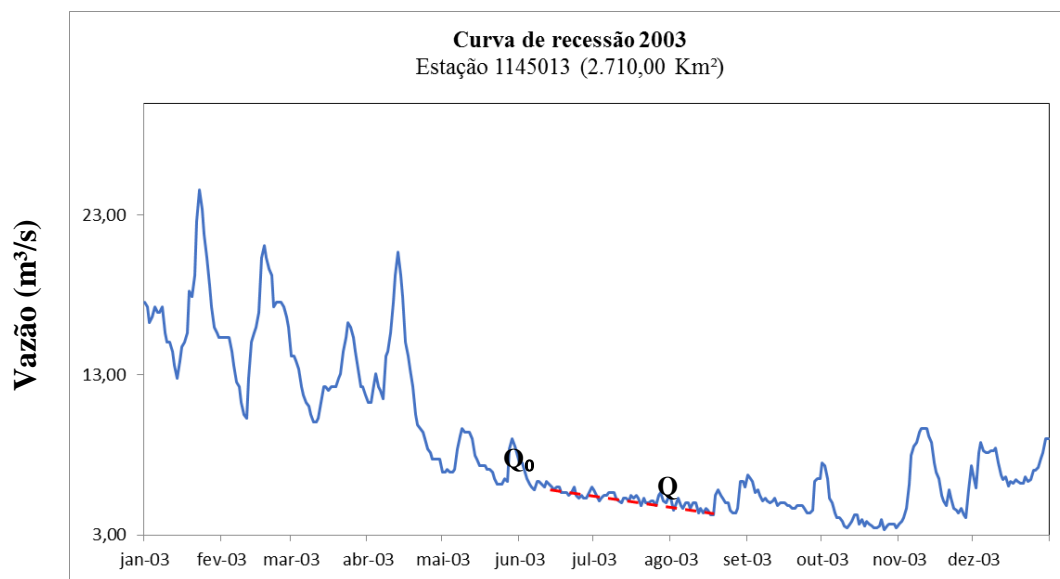
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.462,00	236.197.625,2	87,16	5,96



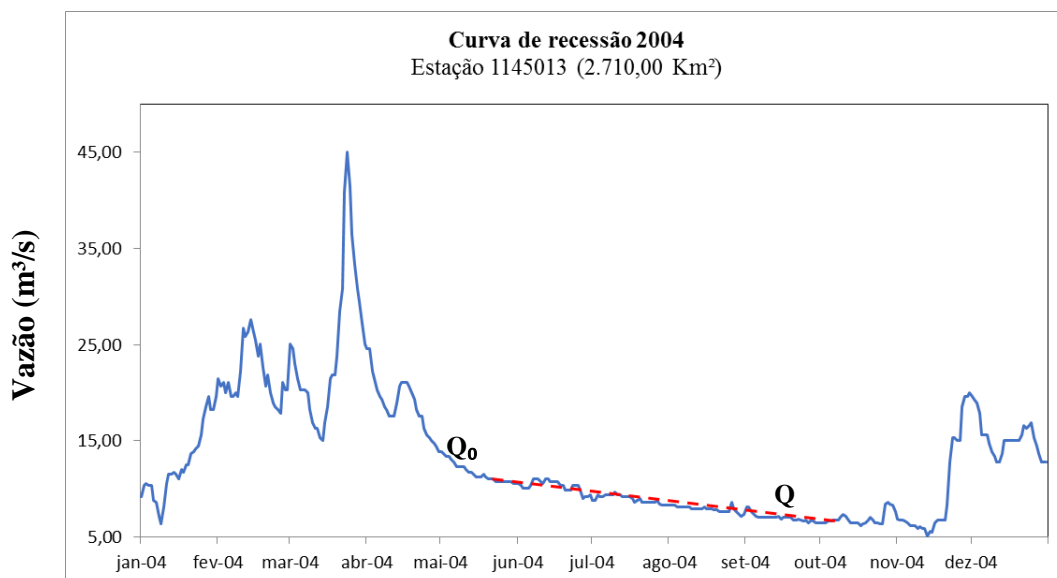
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
765,20	242.136.721,2	89,35	11,68



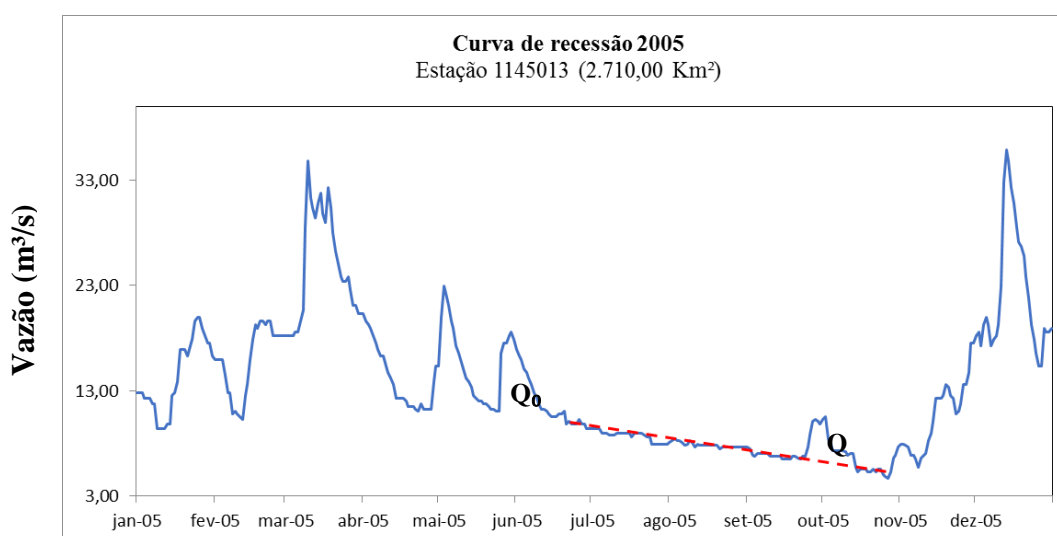
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
652,70	159.278.130,4	58,77	9,00



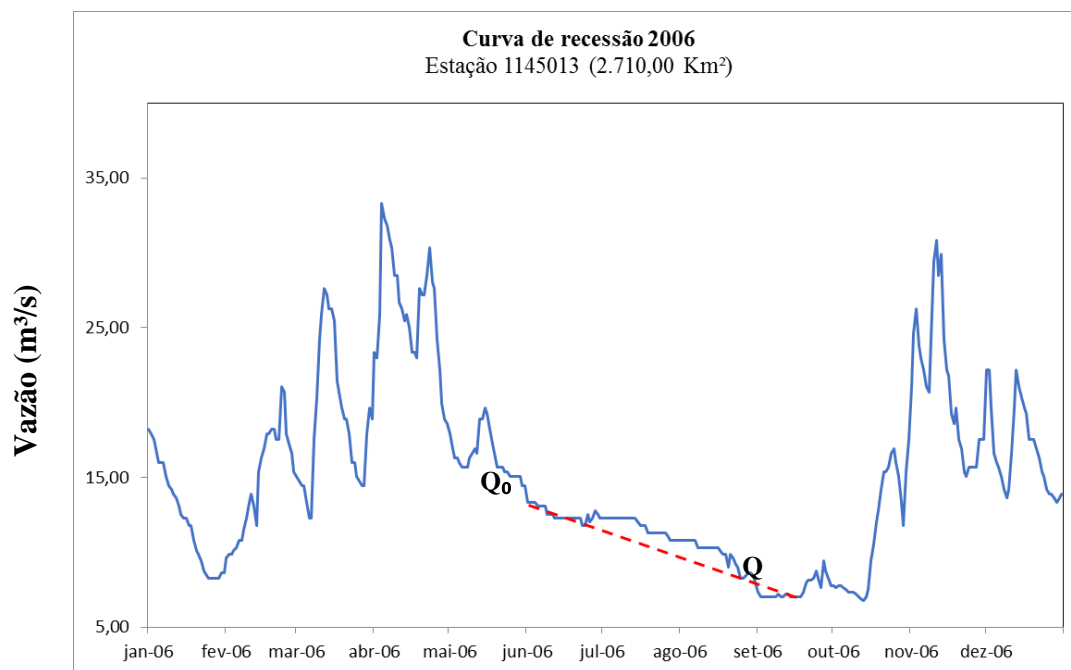
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
709,30	98.052.744,3	36,18	5,10



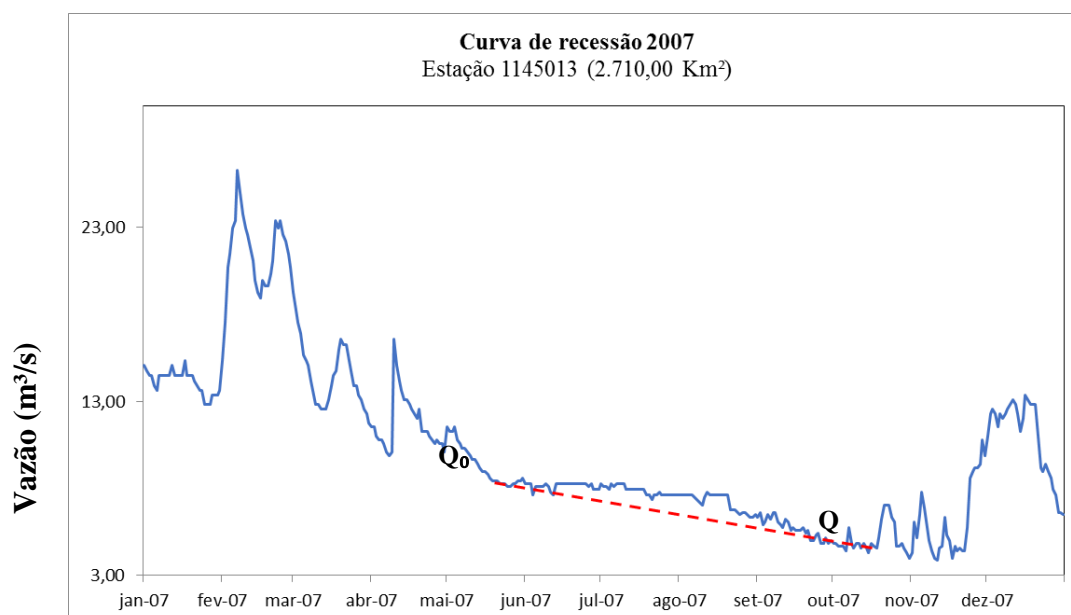
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.217,30	268.732.058,0	99,16	8,15



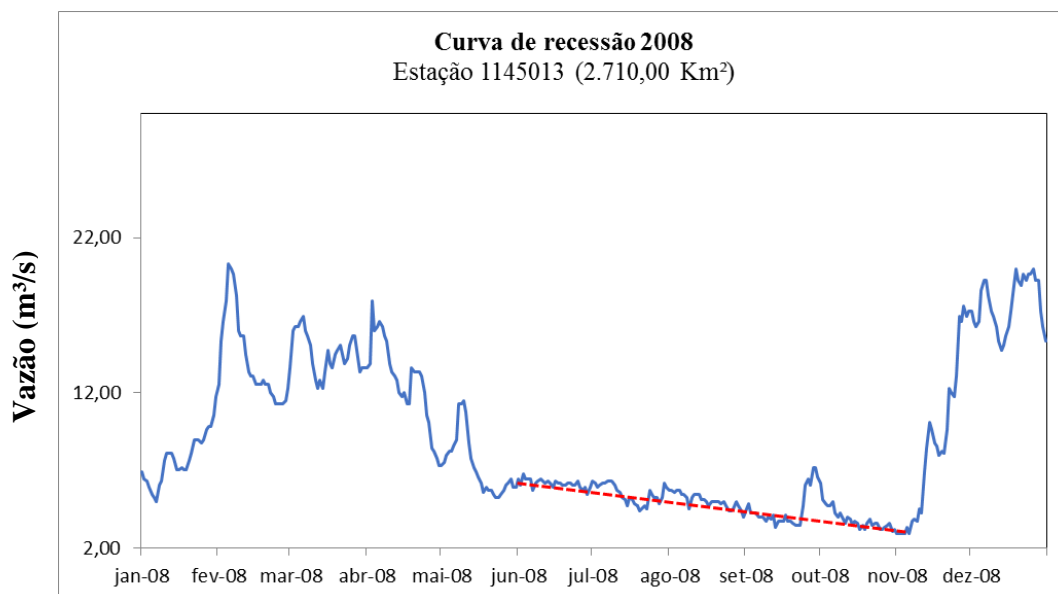
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.278,20	164.699.389,3	60,77	4,75



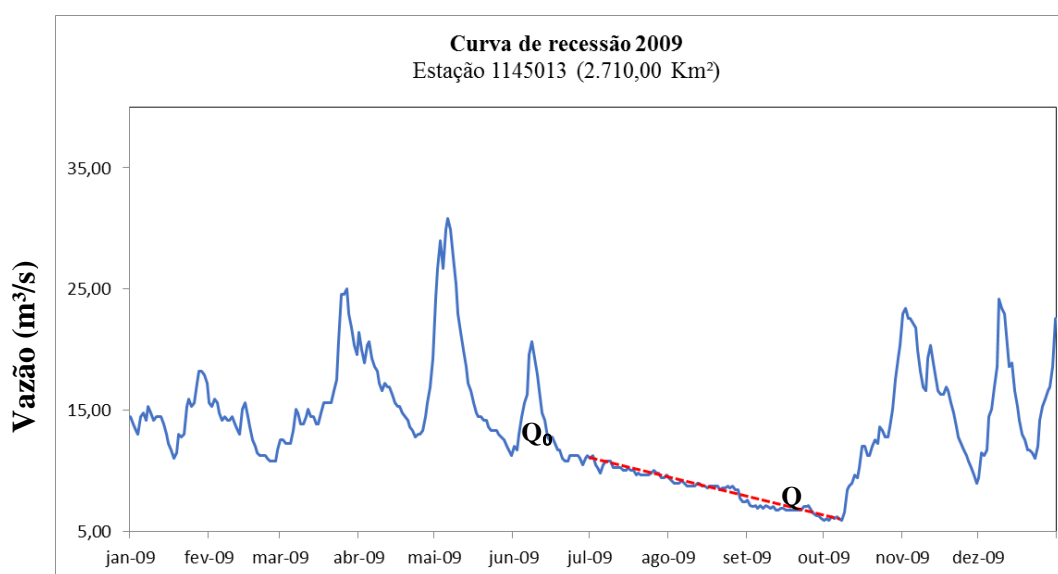
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.015,60	247.480.392,7	91,32	8,99



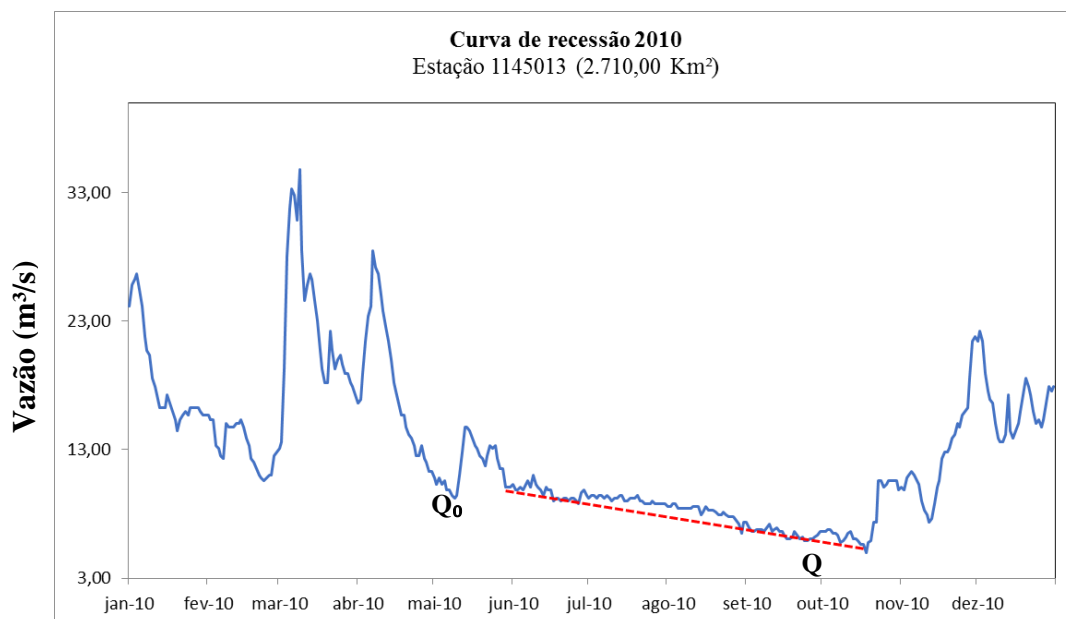
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
900,10	123.645.521,8	45,63	5,07



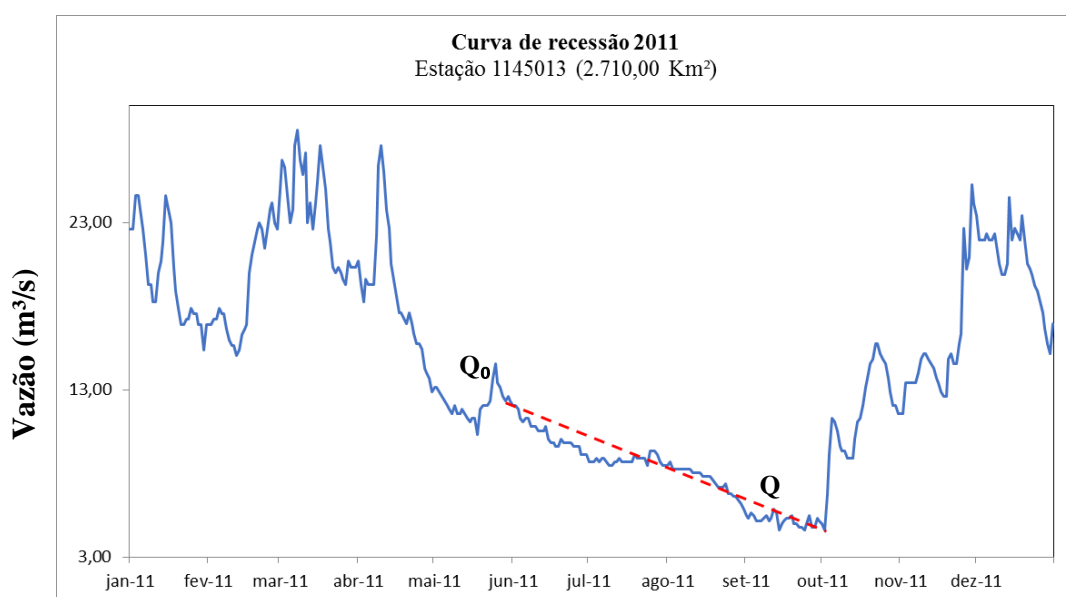
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.161,10	122.257.676,5	45,11	3,89



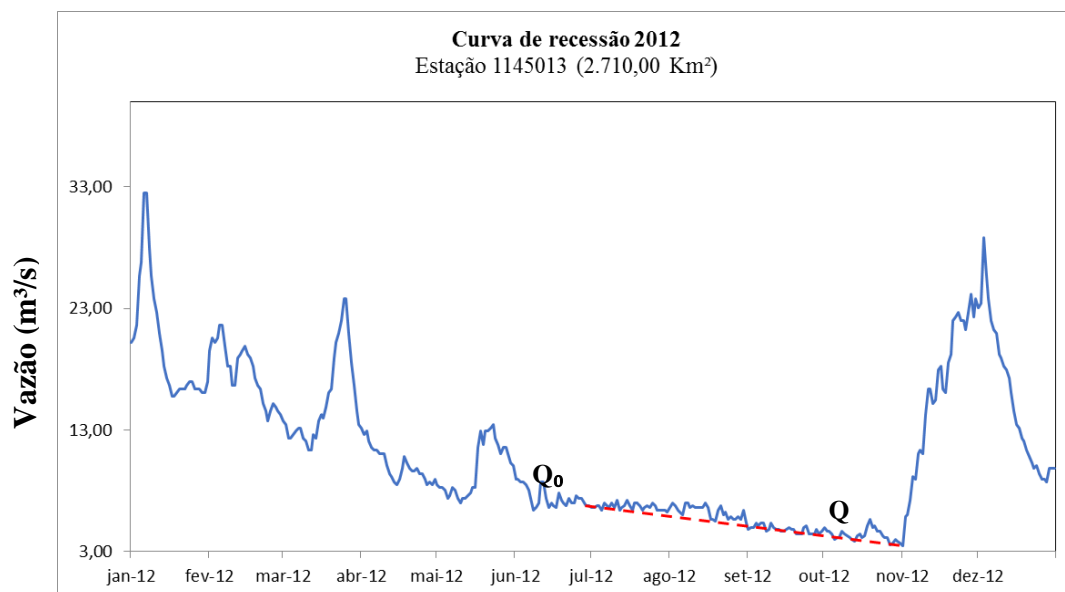
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.243,00	163.103.143,3	60,19	4,84



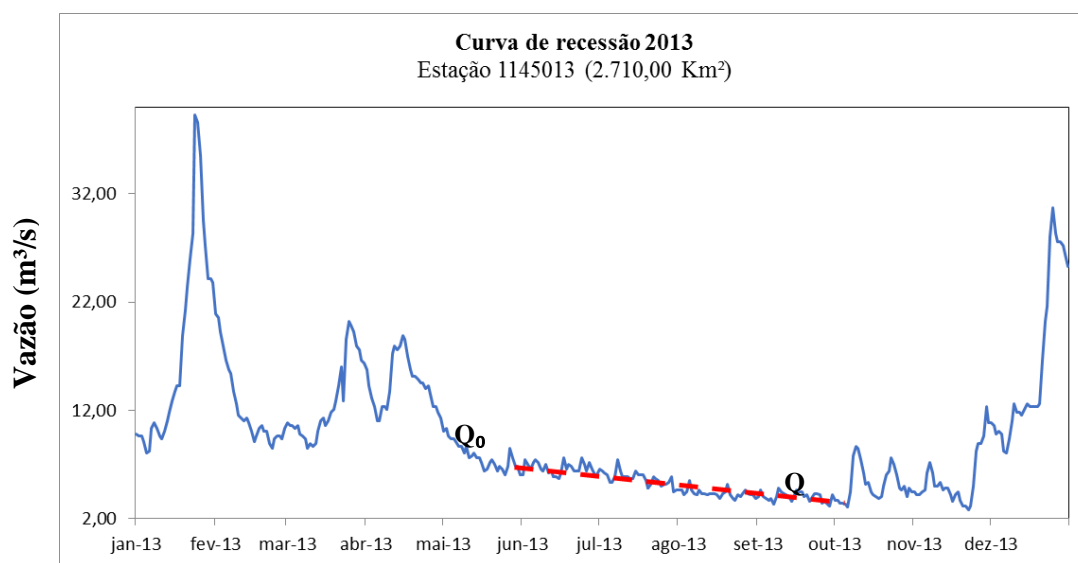
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.119,50	180.871.249,1	66,74	5,96



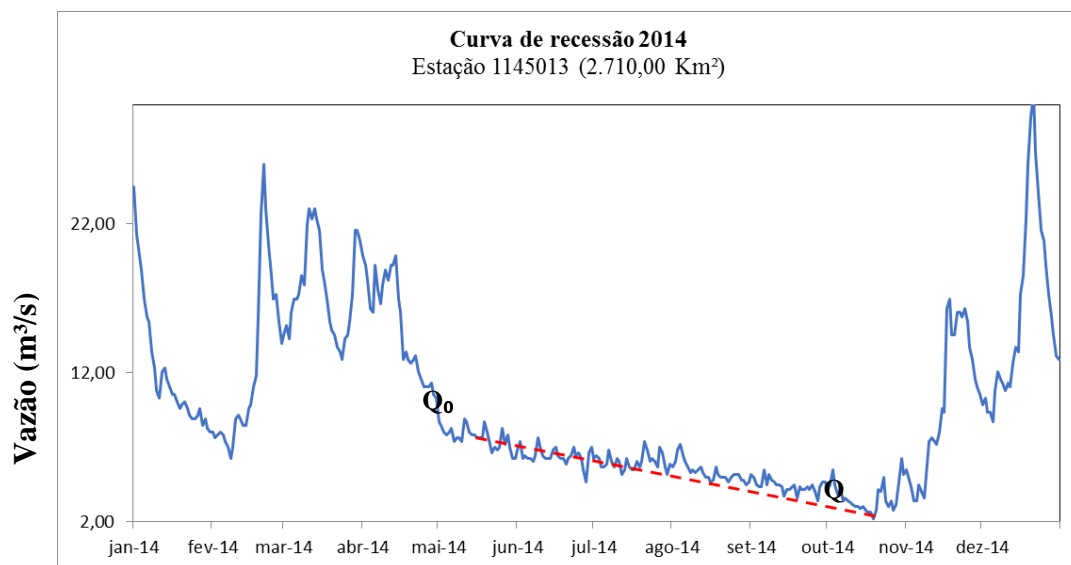
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.251,60	190.454.381,0	70,28	5,62



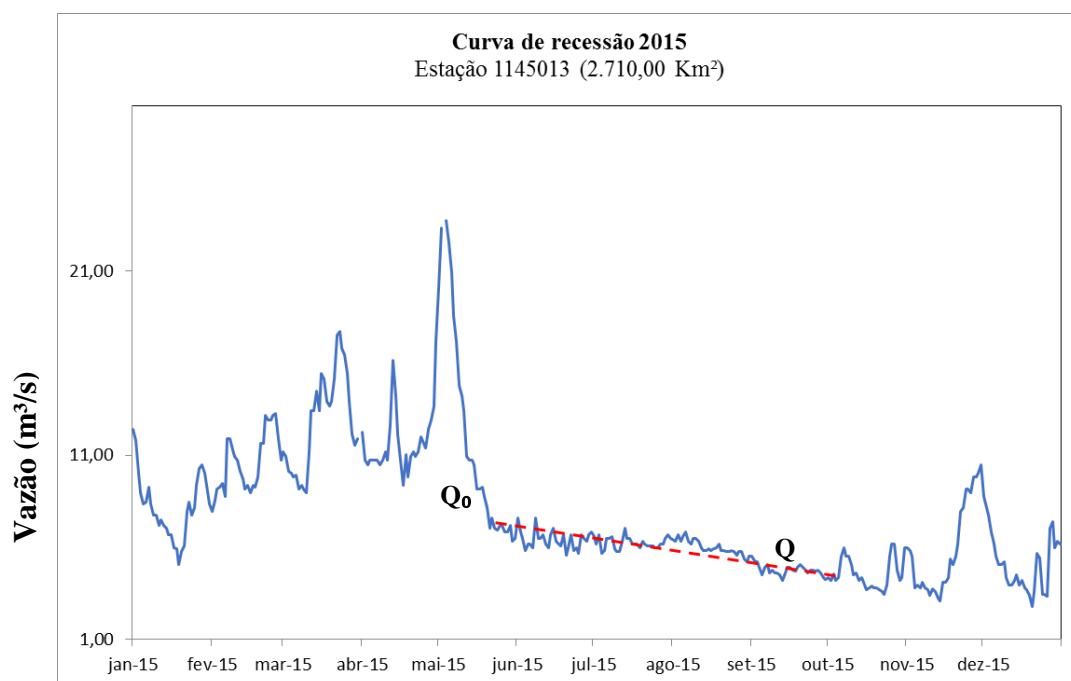
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
799,30	121.149.810,7	44,70	5,59



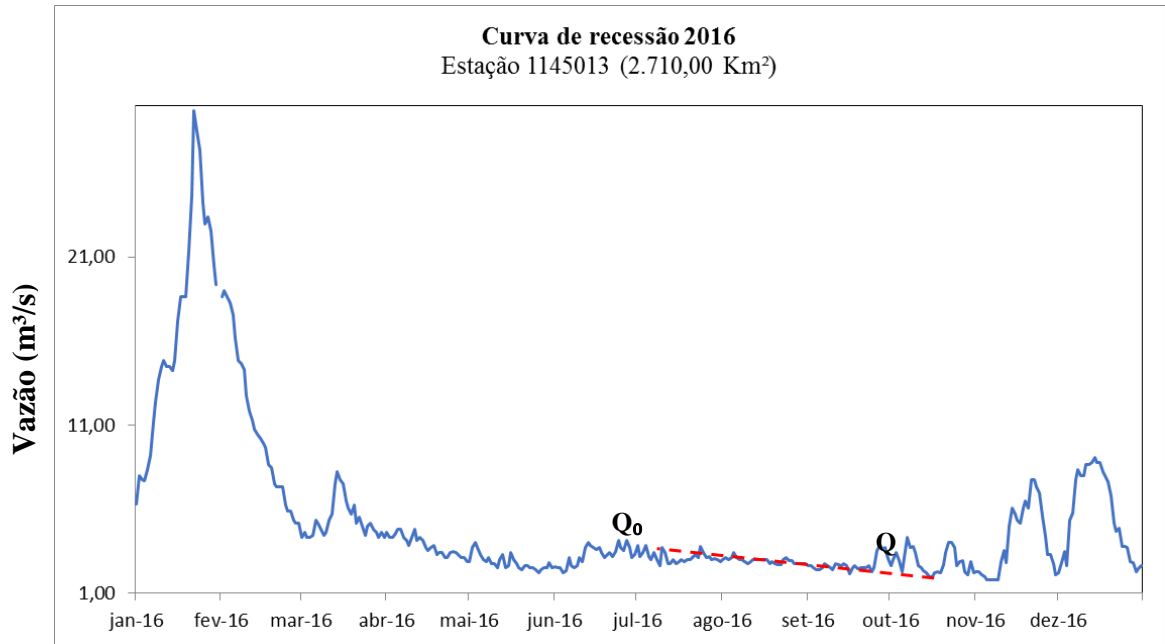
P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
1.033,40	119.925.054,5	44,25	4,28



P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
759,40	117.132.435,4	43,22	5,69



P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
734,30	133.148.468,9	49,13	6,69



P (mm/ano)	V	h (chuva mm/ano)	%P
934,50	104.894.841,5	38,71	4,14