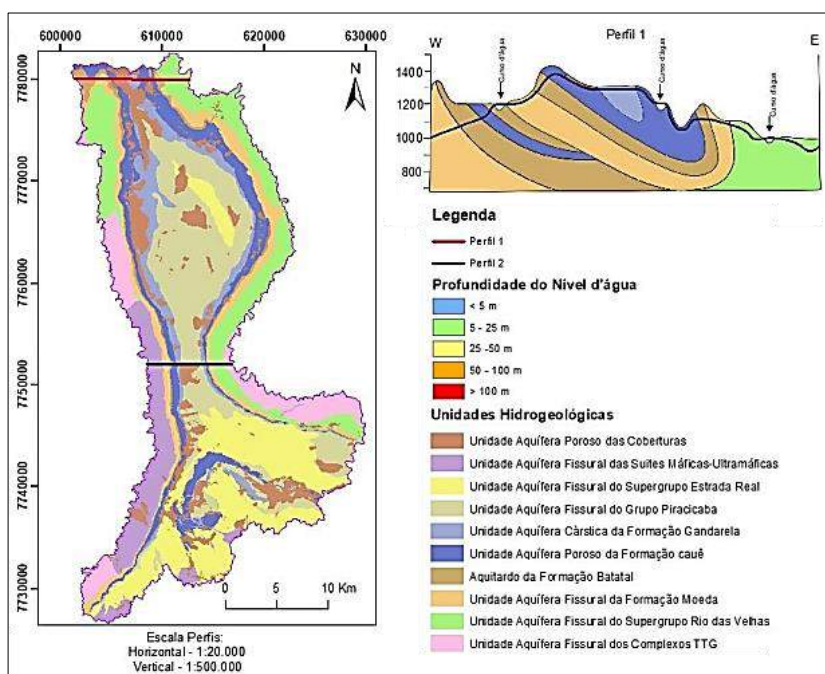


Relatório Técnico
Águas Subterrâneas no
Quadrilátero Aquífero-Ferrífero de Minas Gerais



Mapa do Sinclinal Moeda com as unidades aquíferas

Disponível em: https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/191/XXV-SBRH0605-1-0-20230730-205357.pdf?utm_source=chatgpt.com

0	PRIMEIRA EMISSÃO	18/03/2025	MGB	ECC	
Rev.	Descrição	Data	Elaborado	Verificado 1	Verificado 2
PROJETO/ÁREA	TEMA/SÍTIO	CLASSIFICAÇÃO			REV.
DE OLHO NO VELHAS	ÁGUAS SUBTERRANEAS NO QUADRILÁTERO AQUÍFERO-FERRÍFERO - MG	FPSF-RT-02-2025			0
GRUPO	SETOR	DENOMINAÇÃO			FOLHA
EQUIPE TÉCNICA	ENGENHARIA	ÁGUAS SUBTERRANEAS NO QUADRILÁTERO AQUÍFERO-FERRÍFERO - MG			1/26



Fórum Permanente São Francisco – FPSF

Belo Horizonte



Fórum Permanente São Francisco - FPSF

O Fórum Permanente São Francisco (FPSF)

é uma entidade da sociedade civil, um grupo de cidadãos e cidadãs que foi formado três dias depois do rompimento da barragem do Córrego do Feijão, da empresa Vale, em Brumadinho - MG, em janeiro de 2019. Foi criado com o objetivo inicial de dedicar-se à segurança e à qualidade de vida da população que vive em áreas de mineração no Estado de Minas Gerais. Posteriormente expandiu sua área de atuação para englobar as questões mais abrangentes ligadas à sustentabilidade e ao meio ambiente. A partir de janeiro de 2023 o FPSF se tornou um Instituto.

Missão

Defesa, preservação e conservação do meio ambiente e do patrimônio histórico-cultural, bem como a promoção do desenvolvimento sustentável.

Desenvolvimento e divulgação de tecnologias alternativas voltadas para a sustentabilidade e para a regeneração. Realização de estudos e pesquisas, produção e divulgação de informações e de conhecimentos técnicos e científicos tendo como base o conceito de ecologia integral. Incentivo ao uso racional dos recursos naturais, com ênfase na segurança hídrica.

Valores

O Fórum Permanente São Francisco (FPSF), no desenvolvimento de suas atividades, tem como fundamento os princípios da legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade, economicidade e eficiência, sem qualquer discriminação de raça, cor, gênero, orientação sexual e religião e sem conotações político-partidárias.

Todos os direitos reservados. É permitida a reprodução de dados e de informações contidos nesse documento, desde que citada a fonte.



2019-2022

Sumário

1	Objetivo	5
2	Introdução	5
3	Bibliografia consultada	5
4	Aquíferos da Região do Quadrilátero Aquífero-Ferrífero	7
5	Sinclinal Moeda – Considerações Gerais	8
6	Síntese e conclusões do Estudo: Modelo Hidrogeológico de Fluxo do Flanco Leste do Sinclinal Moeda (Quadrilátero Ferrífero – MG): Caracterização, impactos e perspectivas futuras para o Aquífero Cauê – 2023, de autoria de Celina Cenni de Castro Magalhães.....	11
6.1	Considerações iniciais	11
6.2	Localização da área do Flanco leste do Sinclinal Moeda	11
6.3	Identificação das unidades aquíferas na área de estudo.....	12
6.4	Balanço hídrico.....	12
6.5	Conclusões do estudo	14
6.6	Simulação da evolução dos impactos na área, no futuro	14
7	Síntese e conclusões do Estudo: Modelo Hidrogeológico de Fluxo do Flanco Oeste do Sinclinal Moeda (Quadrilátero Ferrífero – MG): Passado, Presente e Futuro do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais, Brasil, de autoria de Isabella Brito Andrade.....	16
7.1	Considerações iniciais	16
7.2	Localização da área do Flanco oeste do Sinclinal Moeda	16
7.3	Identificação das unidades aquíferas na área de estudo.....	17
7.4	Balanço hídrico.....	18
7.5	Conclusões do estudo	20
7.6	Simulação da evolução dos impactos na área, no futuro	20
8	Recomendações para a região do Sinclinal Moeda.....	20
9	MISSÃO GRACE - Gravity Recovery and Climate Experiment - NASA.....	21
10	Síntese e conclusões de: Apresentação e considerações sobre a redução da água dos aquíferos subterrâneos em Minas Gerais, conforme resultados da Missão GRACE da NASA. Mapas das perdas de água. Autor: Euler Carvalho Cruz	22



11	Conclusões.....	25
----	-----------------	----

RELATÓRIO TÉCNICO

FPSF-RT-02-2025

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO QUADRILÁTERO AQUÍFERO-FERRÍFERO DE MINAS GERAIS

1 Objetivo

O presente relatório tem como objetivo apresentar uma análise técnica sobre a condição das águas subterrâneas na área de abrangência do Projeto “De Olho no Velhas”.

2 Introdução

Em nosso relatório FPSF-RT-01-2024, emitido em outubro de 2024 no contexto Projeto “De Olho no Velhas”, informamos a inexistência, na área do Quadrilátero do Aquífero-Ferrífero de Minas Gerais, de poços piezométricos monitorados pela Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS), vinculada à CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. A ausência desses dados inviabilizou a análise direta dos níveis das águas subterrâneas na área do projeto.

Diante dessa limitação, realizamos uma extensa revisão bibliográfica, analisamos artigos científicos e consultamos especialistas com experiência no estudo das águas subterrâneas na região do Alto Velhas. Nossa investigação técnica identificou diversos pesquisadores que, utilizando dados de poços privados, a maior parte deles de empresas de mineração, desenvolveram estudos pertinentes ao tema, incluindo análises específicas sobre os níveis dos aquíferos no Quadrilátero Aquífero-Ferrífero, na qual situa-se a região do Alto Rio das Velhas abrangida pelo Projeto.

A revisão desses trabalhos e a análise de suas conclusões permitiram obter um panorama atualizado sobre a dinâmica das águas subterrâneas na região, bem como projeções para os próximos anos.

Devido à importância das águas superficiais e subterrâneas de toda a região, tanto sob o ponto de vista ambiental quando do socioeconômico e cultural, adotamos aqui – e recomendamos – a denominação de **“Quadrilátero Aquífero-Ferrífero”** em substituição à antiga e usual denominação “Quadrilátero Ferrífero”, a qual provém de uma visão parcial do passado, limitada somente a um dos aspectos geológicos da região. Por se tratar da primeira região ocupada pelos portugueses e a que deu origem ao nome do Estado, além de ser a região mais populosa e economicamente importante dele, talvez a denominação mais adequada fosse “Região Histórica e Cultural Central de Minas Gerais”, ou “Quadrilátero Histórico Cultural”. Porém, para manter parte da nomenclatura tradicional e, sob o ponto de vista do objetivo do Projeto “De Olho no Velhas”, manteremos aqui a denominação “Quadrilátero Aquífero-Ferrífero”. Não se trata apenas de uma questão de toponímia, mas de compreensão da real importância de todos os aspectos da complexa e diversificada região central do Estado.

3 Bibliografia consultada

Dentre os arquivos consultados, destacamos, principalmente os seguintes:

- Análise por métodos hidrogeológicos e hidroquímicos de fatores condicionantes do potencial hídrico de bacias hidrográficas – Estudo de caso no Quadrilátero Ferrífero (MG) – 2005.
Autor: Fernanda Martineli Costa, Orientador: Luis de Almeida Prado Bacellar
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ciências Naturais, Área de Concentração: Geologia Ambiental e Conservação de Recursos Naturais.
- Caracterização Hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG - 2007
Autor: Maria Antonieta Alcântara Mourão, Orientador: Prof. Dr. Celso de Oliveira Loureiro
Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.
- Detecção de mudanças de uso e cobertura da terra no Sinclinal Moeda (MG) no período de 1991 a 2011 e previsões de mudanças futuras através de modelo espacial de simulação – 2012.
Autor: Marianne Silva Oliveira, Orientador: Prof. Dr. José Eustáquio M. de Paiva
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.
- Relatório de Consolidação da pesquisa hidrogeológica na área do empreendimento CSUL – Desenvolvimento Urbano, Nova Lima – MG – 2020.
Preparado por CSul Desenvolvimento Urbano e MDGEO Hidrogeologia e Meio Ambiente, em atendimento a solicitação da SEMAD para desenvolvimento de um Projeto de Pesquisa Hidrogeológica e Monitoramento dos Recursos Hídricos.
- Atualização do Modelo Hidrogeológico Conceitual e Numérico -2022.
Elaborado por: HIDROVIA Hidrogeologia e Meio Ambiente Ltda., para a Unidade de Tratamento de Água (UTA) do SAAE de Itabirito.
- Análise Semestral dos Dados de Monitoramento da Unidade de Tratamento de Água (UTA) do SAAE – Itabirito – 2024.
Preparado por: Water Services and Technologies Ltda para SAAE Itabirito.
- Avaliação do Balanço Hídrico e Modelagem Numérica Hidrogeológica da Formação de lago em Cava: O caso da mina de Águas Claras – 2024.
Autor: Breno Alexandre Pereira, Orientador: Julian Cardoso Eleutério
Dissertação/tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos.
- Modelo Hidrogeológico de fluxo do Flanco Leste do Sinclinal Moeda (Quadrilátero Ferrífero – MG): caracterização, impactos e perspectivas futuras para o Aquífero Cauê – 2023.
Autor: Celina Cenni de Castro Magalhães, Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Sérgio de Paula
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Geologia.

- Modelo Hidrogeológico de Fluxo do Flanco Oeste do Sinclinal Moeda: passado, presente e futuro do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero – MG.

Autor: Isabella Brito Andrade, Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Sergio de Paula

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Geologia.

- Análise da Evolução do Armazenamento de Água em Aquíferos Porosos no Nordeste Brasileiro utilizando dados de Múltiplos satélites e Medições In Situ.

Autor: Clyvihk Renna Camacho, Augusto Getirana, Maria Antoniete Mourão e Otto Correa Rotunno Filho

Artigo apresentado no 17º Congresso de Geologia de Engenharia e Ambiental.

- NOTA TÉCNICA FPSF-NT-05-2022 - Plano de Segurança Hídrica da RMBH - Solicitações e Recomendações do FPSF.

Elaborado por Fórum Permanente São Francisco – FPSF

Disponível em: <https://galaxcms-client-files.s3.amazonaws.com/5715/NT-05-2022%20-%20Nota%20T%C3%A9cnica%20-%20Plano%20de%20Seguran%C3%A7a%20H%C3%ADdrica%20RMBH-07-04-2023-16-11-20-000000.pdf>

- Artigo: A importância dos poços de observação locais, reanálise e dados de satélite sobre anomalia gravitacional, clima e uso da terra para melhorar a gestão de águas subterrâneas no sistema aquífero Urucuia.

Autores: Björn Krause Camilo, Pedro Lage Andrade, Julian Cardoso Eleutério, André Ferreira Rodrigues

Artigo elaborado dentro do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, CP 6627, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil.

- Apresentação em YouTube: Apresentação e considerações sobre a redução da água dos aquíferos subterrâneos em Minas Gerais, conforme resultados da Missão GRACE da NASA. Mapas das perdas de água.

Autor: Euler Carvalho Cruz

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Ew81wqxWMN8>

Entre os artigos e teses supracitadas, destacamos as dissertações de **Celina Cenni de Castro Magalhães** e **Isabella Brito Andrade**, as quais se concentram na elaboração de modelos hidrogeológicos de fluxo para os flancos leste e oeste do Sinclinal Moeda. O objetivo central desses estudos foi o de avaliar o impacto regional no nível d'água subterrâneo no período de 1999 a 2019, bem como projetar o rebaixamento piezométrico para os 20 anos subsequentes, de 2019 a 2039.

Como uma terceira fonte independente de dados ressaltamos os resultados de pesquisa da Missão Grace da *National Aeronautics and Space Administration* – NASA, indicados nos artigos de Clyvihk Renna Camacho, Pedro Lage Andrade e Euler Carvalho Cruz.

Assim, mais adiante neste relatório, apresentaremos as principais considerações e conclusões extraídas dessas cinco últimas publicações supramencionadas.

4 Aquíferos da Região do Quadrilátero Aquífero-Ferrífero

O Quadrilátero Aquífero-Ferrífero é uma região de Minas Gerais que, entre outros aspectos de elevada importância, possui expressiva quantidade de minerais, especialmente ferro, ouro e manganês. Localizado ao sul de Belo Horizonte, na região mais antiga, populosa e

economicamente importante do Estado, tem uma área de aproximadamente 7.000 km² e abrange municípios como Ouro Preto, Mariana, Itabirito, Rio Acima, Caeté, Santa Bárbara, Catas Altas, Congonhas, Nova Lima, e Itabira, sendo um dos principais polos de mineração do Brasil. A distância entre a capital mineira e diferentes pontos do Quadrilátero varia entre 30 e 100 km. O Rio das Velhas, um dos principais afluentes do Rio São Francisco, tem sua nascente e corta a porção leste e nordeste da região, recebendo diversos afluentes, sendo impactado pelas atividades minerárias e pelas áreas urbanizadas.

O Quadrilátero Aquífero-Ferífero tem sido uma referência nacional e internacional em mineração desde o período colonial, destacando-se no ciclo do ouro e deixando registros históricos e ambientais. A região, que ainda se destaca pela produção mineral¹, já chegou a fornecer 100% da produção nacional até 1986. Com diversas minas próximas da exaustão, a indústria busca novas áreas de prospecção e tecnologias para aproveitamento de minérios menos enriquecidos.

Além dos recursos minerais, a região possui significativa disponibilidade hídrica, abastecendo 51% da demanda da Região Metropolitana de Belo Horizonte (e 70% do consumo da capital) por meio de sistemas operados pela COPASA. O principal aquífero subterrâneo é a Formação Cauê, de idade paleo-proterozóica, composta por formações ferríferas bandadas resultantes da precipitação química de ferro e sílica em ambiente sedimentar.

As formações ferríferas são aquíferos essenciais para o meio ambiente e para o abastecimento urbano e não apenas um recurso mineral e econômico. No entanto, diversos conflitos de uso surgiram com o rebaixamento do nível d'água necessário para a mineração, que tem sido priorizada em detrimento de todos os demais aspectos. A mineração tem realizado retirada de água dos aquíferos por bombeamento em volume superior à capacidade de recarga natural, comprometendo seriamente a segurança hídrica de toda a região. Apesar da extensa pesquisa geológica e mineral no Quadrilátero Aquífero-Ferífero, a hidrogeologia da região ainda necessita de estudos mais abrangentes e integrados, já que as análises atuais se concentram nas áreas próximas às minas de ferro.

As principais unidades aquíferas encontrados na região são: Aquífero Cauê, Gandarela e Moeda, dentre os quais o Aquífero Cauê apresenta a maior condutividade hidráulica e maior taxa de recarga.

A Formação Cauê ocorre de forma contínua no **Sinclinal Moeda** e no Homoclinal Serra do Curral, estando presente nos pontos mais altos da região. As jazidas de minério estão frequentemente associadas à importantes surgências de água subterrânea, como nas minas do Córrego do Feijão, Jangada, Águas Claras, Pau-Branco e Capão Xavier. Algumas dessas fontes são captadas para abastecimento, destacando-se Catarina Principal (324 m³/h) e Mutuca – Barragem Auxiliar (170 m³/h).

5 Sinclinal Moeda – Considerações Gerais

A estrutura geológica Sinclinal Moeda, localizada na porção a oeste do Quadrilátero Aquífero-Ferífero, é formada pelas serras da Moeda e do Itabirito, abrangendo os municípios de Nova

¹ O faturamento do setor mineral brasileiro em 2024 foi de R\$ 270,8 bilhões. O montante representa uma alta de 9,1% na comparação com 2023. O minério de ferro é a principal commodity do setor e em 2024 representou 59,4% de todo o faturamento e 68,7% de todas as exportações. Os dois principais estados mineradores do Brasil, Minas Gerais e Pará, responderam por 76% de todo o faturamento do setor. Os empreendimentos mineiros contribuíram com R\$ 108,3 bilhões, enquanto os paraenses com R\$ 97,6 bilhões. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2025-02/faturamento-do-setor-mineral-cresceu-91-em-2024#:~:text=De%20acordo%20com%20o%20Ibram,43%2C43%20bilh%C3%B5es%20em%202024.>

Lima, Itabirito, Brumadinho, Moeda, Belo Vale, Jeceaba, Congonhas, Ouro Preto e Rio Acima, principalmente nas bacias do Rio Paraopeba situada a oeste e do Rio das Velhas, no centro e leste, conforme mostrado na Fig. 1.



Figura 1 – Mapa do Sinclinal Moeda

Disponível em: <https://institutopristino.org.br/atlas/sinclinal-moeda/>

O Sinclinal Moeda conta com mais de 20 empreendimentos de extração de minério de ferro, atividade que requer uso de água para beneficiamento do minério, além de requerer o rebaixamento do nível do aquífero para permitir o aprofundamento das cavas e a retirada do minério.

No início dos anos 2000 os empreendimentos minerários na região não eram tão desenvolvidos, havendo apenas duas outorgas para desaguamento de mina no flanco leste do Sinclinal Moeda. Segundo a ANM, entre 2000 e 2019 a produção de minério no estado dobrou, proveniente principalmente do Quadrilátero Aquífero-Ferífero, acarretando maior necessidade de rebaixamento do nível dos aquíferos.

O bombeamento de água em excesso, concentrado em uma região, gera efeitos ambientais adversos como redução progressiva de vazão e até desaparecimento de nascentes e córregos, caso não haja mitigação dos impactos. Também ocorre o rebaixamento da carga hidráulica na região do bombeamento, devido à formação de cone de depressão, o que pode limitar o acesso de outros usuários à água subterrânea por meio de poços de captação.

Na Figura 2, a seguir, temos o mapa com a profundidade do nível da água subterrânea (esquerda) e unidades aquíferas do Sinclinal Moeda (direita). Na parte inferior, a figura apresenta dois perfis hidrogeológicos, com destaque para o nível estático em azul.

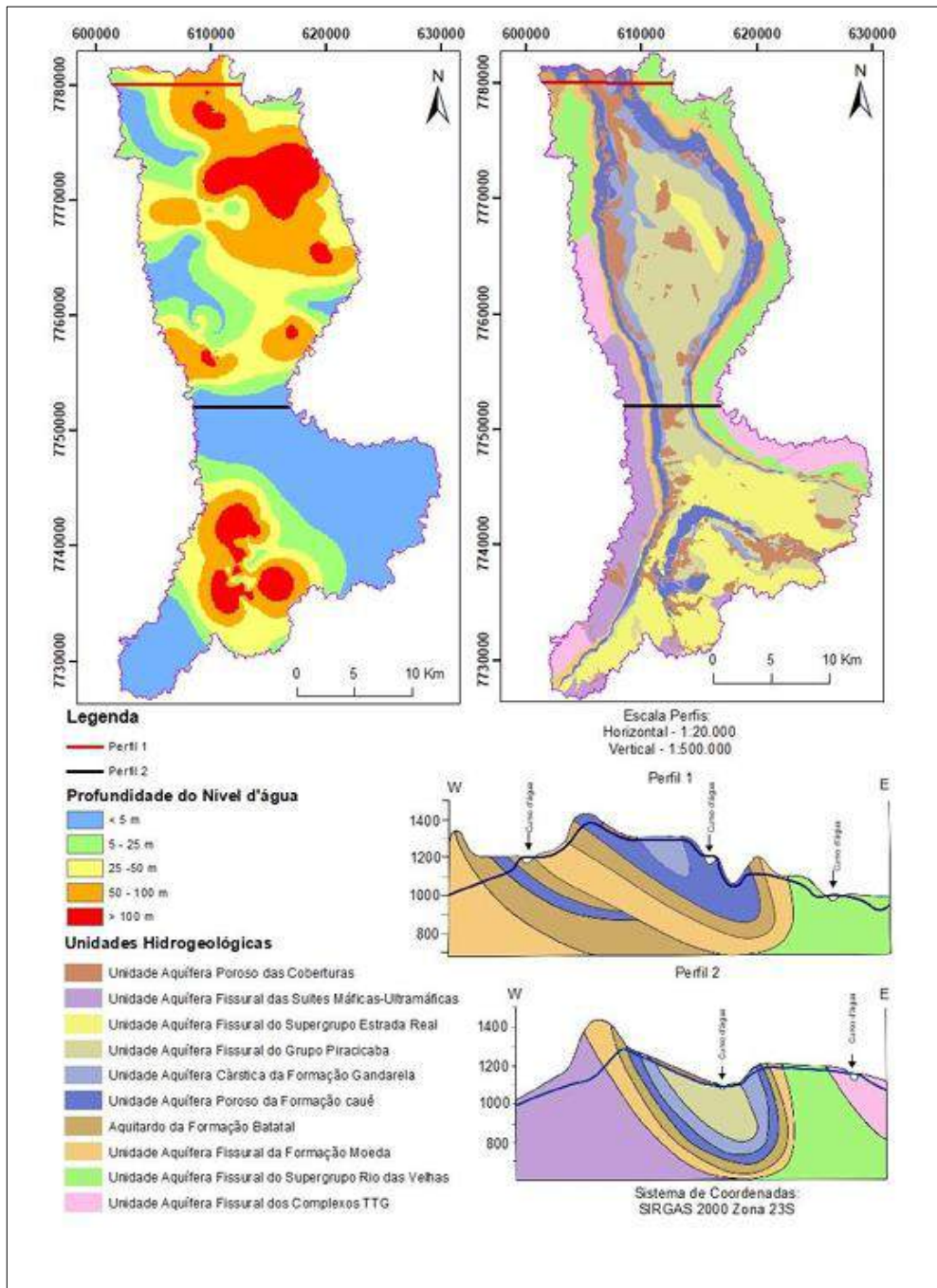


Figura 2 – Mapa com a profundidade do nível da água subterrânea (esquerda) e unidades aquíferas do Sinclinal Moeda (direita). Na parte inferior apresenta dois perfis hidrogeológicos, destaque para o nível estático em azul.

Disponível em: https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/191/XXV-SBRH0605-1-0-20230730-205357.pdf?utm_source=chatgpt.com

6 Síntese e conclusões do Estudo: Modelo Hidrogeológico de Fluxo do Flanco Leste do Sinclinal Moeda (Quadrilátero Ferrífero – MG): Caracterização, impactos e perspectivas futuras para o Aquífero Cauê – 2023, de autoria de Celina Cenni de Castro Magalhães.

6.1 Considerações iniciais

“A Região Metropolitana de Belo Horizonte, com cerca de 6 milhões de habitantes, é abastecida pelas bacias dos rios das Velhas e Paraopeba, que recebem contribuição do Aquífero Cauê. Esse aquífero, formado por rochas ferríferas, tem grande importância hídrica e econômica, pois abriga reservas significativas de água e jazidas minerais, compondo o Quadrilátero Ferrífero.

O Sinclinal Moeda, na porção oeste do Quadrilátero Ferrífero, possui mais de 20 empreendimentos de extração de minério de ferro, atividade que demanda grande volume de água para beneficiamento e rebaixamento do aquífero. No início dos anos 2000, a mineração na região ainda era limitada, com apenas duas outorgas para desaguamento de mina. No entanto, entre 2000 e 2019, a produção de minério de ferro em Minas Gerais dobrou, aumentando a necessidade de rebaixamento do nível da água.

O bombeamento excessivo pode causar impactos ambientais como a redução progressiva da vazão de nascentes e córregos, além de formar cones de depressão que dificultam o acesso de outros usuários à água subterrânea. Diante desses desafios, foi estabelecida uma parceria entre o Instituto de Geociências da UFMG e o IGAM para desenvolver uma rede de monitoramento hidrometeorológico na região do Sinclinal Moeda.

Esse estudo tem como objetivo aprofundar os conhecimentos sobre a hidrogeologia do flanco leste do Sinclinal Moeda, analisando os impactos do rebaixamento dos aquíferos entre 1999 e 2019 e perspectivas para os 20 anos seguintes.

O estudo foi realizado em duas etapas. A primeira analisou a hidrogeologia da região, definindo condições de contorno, unidades aquíferas, parâmetros hidrodinâmicos e balanço hídrico. A segunda etapa consistiu na modelagem numérica, permitindo quantificar os impactos do rebaixamento entre 1999 e 2019 e projetar cenários até 2039”.

6.2 Localização da área do Flanco leste do Sinclinal Moeda

O flanco leste do Sinclinal Moeda se estende entre os municípios de Belo Horizonte e Ouro preto, incluindo também parte dos municípios de Itabirito, Rio Acima e Nova Lima.

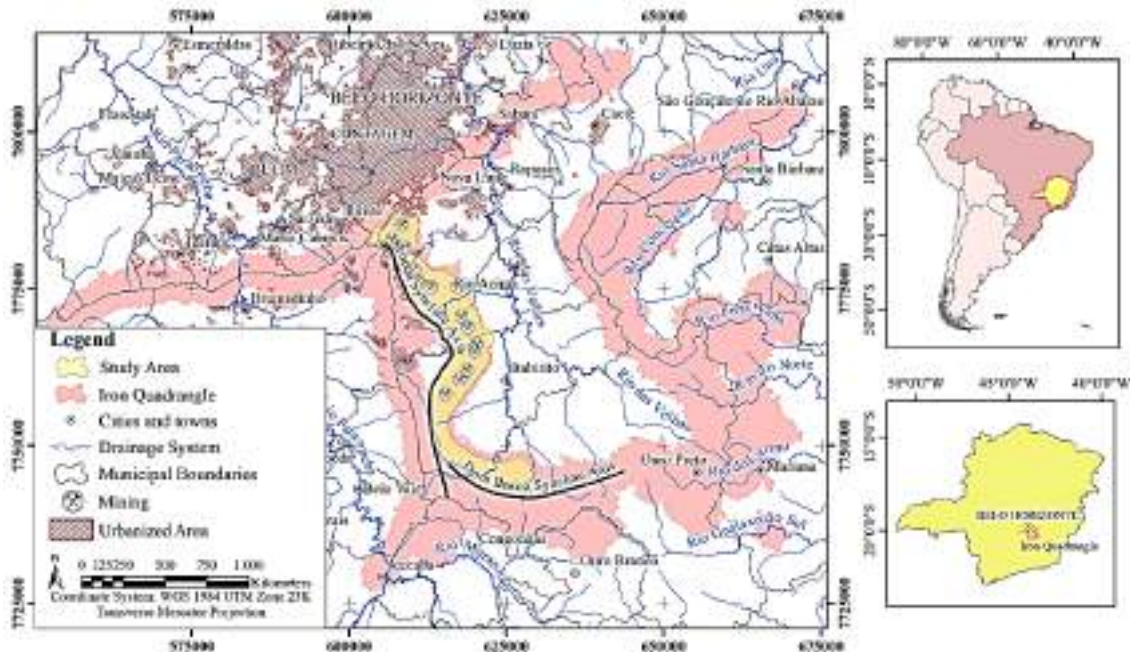


Figura 3 – Localização da área de estudo com destaque para o Quadrilátero Aquífero-Ferífero

“A área de estudo está situada na Bacia Hidrográfica Estadual do Rio das Velhas, maior afluente da Bacia Hidrográfica Federal do Rio São Francisco. Engloba afluentes da margem esquerda do Alto Rio das Velhas, o qual concentra 70,9% da população estimada da bacia.

O Rio das Velhas é de suma importância para o abastecimento da RMBH. Sozinho ele é responsável pelo abastecimento de mais de 60% da população de Belo Horizonte e de 40% dos 6 milhões de habitantes da RMBH”.

6.3 Identificação das unidades aquíferas na área de estudo

“As unidades aquíferas incluídas na área de estudo são os aquíferos Gandarela, Cauê, Moeda e o Aquitardo Batatal, com trocas de água entre as quatro unidades. Vale destacar a importância do Aquífero Cauê como o mais produtivo da região”.

6.4 Balanço hídrico

“Em modelos hidrogeológicos regionais o balanço hídrico é de suma importância para estimar o volume de água que infiltra para o aquífero. A partir desse dado é possível mensurar impacto causado pelo bombeamento de água subterrânea.

Para o cálculo do balanço hídrico, inicialmente, foi realizada a análise pluviométrica a partir de séries de dados acessadas pelo portal Hidroweb. Foram selecionadas as oito estações distribuídas pela área de estudo e que tinham séries de dados completas entre 2000 e 2019. Posteriormente, foram selecionadas as três estações mais representativas com base na média pluviométrica da área, Rio do Peixe, Itabirito Linígrafo e Caixa de Areia.

Posteriormente, foram calculados o excedente hídrico, déficit hídrico, evapotranspiração para a área de estudo como um todo. O cálculo foi realizado para a estação mais representativa da área, a partir das médias mensais de precipitação dos anos de 2000 a 2019.

Para a realização do balanço hídrico climatológico foi considerado o total pluviométrico de 1576 mm na estação Rio do Peixe.

Na sequência foi calculada a taxa de recarga em cada unidade hidrogeológica pelo método da separação de hidrogramas de Bames (1939), que consiste em separar graficamente o fluxo de base do escoamento superficial. Para esse cálculo foi avaliado o ano mais representativo do

período estudado, ou seja, aquele cuja pluviometria foi mais próxima da média pluviométrica anual entre 2000 e 2019.

13

Para estimar a taxa de recarga, inicialmente, foram selecionadas as estações fluviométricas presentes na área e suas proximidades cujas bacias englobam majoritariamente uma das unidades hidrogeológicas de interesse. O total pluviométrico de cada mês do ano de referência foi multiplicado pela área de cada bacia para se obter o volume total precipitado mensalmente.

Em seguida, as séries de vazões médias mensais do ano definido foram plotadas para a separação de hidrogramas. Relacionando o fluxo de base com o volume precipitado foi obtida a taxa de recarga em cada uma das bacias, e conseqüentemente em cada unidade hidrogeológica.

Com a separação do fluxo de base foi possível também obter o Índice de Fluxo de Base (IFB) para os cursos hídricos de cada unidade hidrogeológica. Esse índice consiste na proporção do fluxo de água subterrânea na vazão total de um rio, e é usado para identificar o efeito da geologia em sua vazão.

Posteriormente, utilizando os valores definidos para a taxa de recarga, estimou-se a reserva renovável do Aquífero Cauê e da área de estudo como um todo. A reserva renovável consiste no volume hídrico acumulado no meio aquífero em função da porosidade eficaz, e variável anualmente em decorrência dos aportes sazonais de água superficial, do escoamento subterrâneo e dos exultórios, que são pontos de saída de um curso d'água em uma bacia hidrográfica, ou seja, o local por onde a água escoar para fora da bacia. Para estimar esse volume utilizou-se a metodologia proposta por Costa (1998) quando se conhece a taxa de infiltração, que consiste em multiplicar a área de ocorrência do aquífero pela precipitação pluviométrica média anual na área e pela taxa de infiltração. Nesse trabalho utilizou-se a área de afloramento de cada unidade aquífera, a precipitação média anual calculada para a área de cada polígono de Thiessen e a taxa de recarga calculada anteriormente.

A figura abaixo apresenta a reserva renovável calculada para o aquífero Cauê e para a área do estudo como um todo. Foram somados os volumes de bombeamento, outorgados anualmente em toda a área, sendo o resultado representado no gráfico pela linha vermelha. **O volume captado foi considerado como sendo o volume concedido pelo IGAM² (grifo nosso).**

A partir do gráfico observa-se que nos anos de maior estiagem, como 2013 e 2014, o volume captado aproxima-se da reserva renovável total da área. Isso sugere que **há um impacto regional considerável decorrente da exploração**, mesmo com a contribuição de todo o sistema aquífero avaliado para o volume explotado, o que pode impactar a disponibilidade hídrica da região (**grifo nosso**).

O volume médio da reserva renovável do Aquífero Cauê é da ordem de 27 milhões de m³/ano, enquanto na área como um todo, a reserva renovável é de aproximadamente de 93 milhões de m³/ano. Assim, apesar de representar apenas 15% da área de estudo, o aquífero Cauê contribui com cerca de 30% da recarga na região.

² Como não há fiscalização sistemática dos postos de bombeamento não é possível afirmar que os operadores desses poços se restringem aos volumes outorgados.
ff

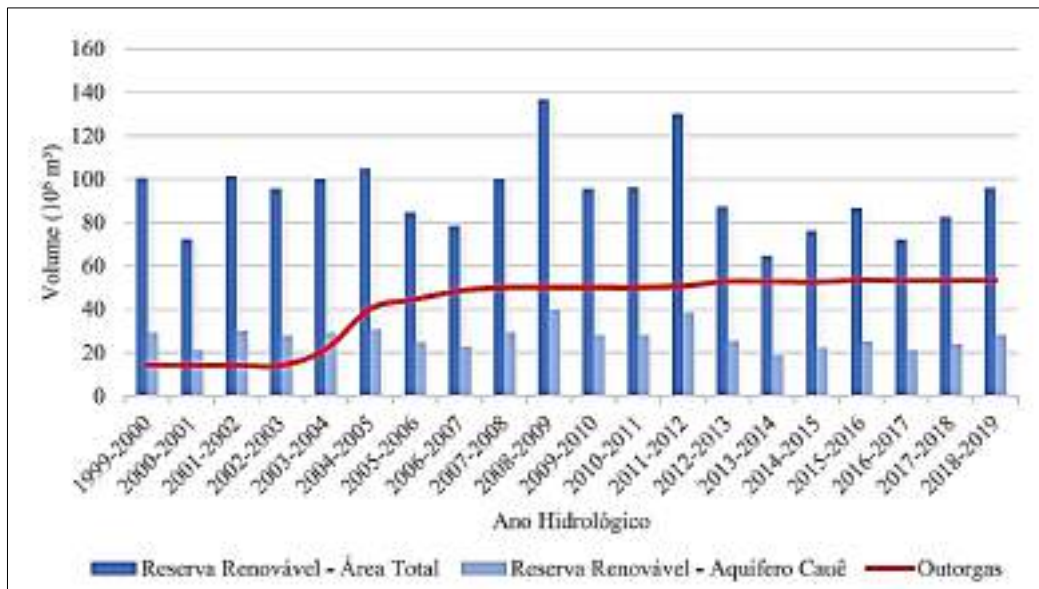


Figura 4 - Resultados obtidos para os cálculos da reserva renovável comparados às vazões outorgadas

6.5 Conclusões do estudo

“O estudo gerou informações Hidrogeológicas do flanco leste do Sinclinal Moeda, o qual inclui o Aquífero Cauê, Aquífero Gandarela e Aquífero Moeda.

Foi constatada a importância das águas subterrâneas na manutenção das vazões de drenagem demonstrada pelo Índice do Fluxo de Base calculado de 63%. Este índice é um parâmetro utilizado em hidrologia para quantificar a contribuição da vazão de base (fluxo subterrâneo) em relação à vazão total de um rio ou corpo d’água ao longo do tempo. Ele ajuda a entender a influência das águas subterrâneas na manutenção do fluxo dos rios, especialmente durante períodos secos.

Quanto à exploração que vem ocorrendo nos aquíferos, o volume médio bombeado foi estimado em 41 milhões de m³/ano. Equivalente a cerca de 150% da reserva renovável do Aquífero Cauê, calculado em 27 milhões de m³/ano. Como resultado do estudo estima-se que entre 1999 e 2019 houve redução de 13,6% no escoamento de base da área como um todo, além de um rebaixamento médio de 10,4 m no Aquífero Cauê e 2,2 metros nas demais unidades. O setor mais impactado foi o central, que teve rebaixamento de cerca de 11,6 metros e 21,6% de redução do escoamento de base (grifo nosso).

Nos setores Norte e Centrais foram identificados cones de rebaixamento relacionados às minerações. O cone de rebaixamento é uma depressão no nível da água subterrânea ao redor de um poço bombeado. Ele se forma porque a extração de água cria um gradiente hidráulico, fazendo com que a água flua em direção ao poço. Os principais impactos causados devido à formação dos cones de rebaixamento são:

- Redução de vazão de nascentes e rios que dependem da água subterrânea,
- Interferência entre poços, causando queda no nível da água disponível e
- Risco de subsidência do solo, (afundamento do terreno causado pela extração excessiva de água subterrânea) em aquíferos confinados mal manejados, entre outras.

Apesar da ausência de uma rede de monitoramento hidrológico, pode-se concluir que o Aquífero Cauê apresenta diferentes níveis de impactos. Em geral parece haver um desequilíbrio entre a exploração e a recarga, o que pode impactar o escoamento superficial”.

6.6 Simulação da evolução dos impactos na área, no futuro

“Para avaliar a provável evolução dos impactos que ocorrerão no futuro na área, foi simulado o

cenário de manutenção das taxas de bombeamento³ de 52 milhões de m³/ano, durante o período de outubro de 2019 e setembro de 2039. 15

A análise do rebaixamento das cargas hidráulicas apontou para uma maior redução das cargas nos setores norte e central. Essa constatação é corroborada pelos mapas de carga hidráulica apresentados abaixo, nos quais é possível visualizar nestes setores, um rebaixamento significativo da carga hidráulica ao longo do tempo (grifo nosso). Nesses setores, encontram-se mais concentrados os empreendimentos minerários, onde há maiores taxas de bombeamento.

Não foi observada alteração significativa nas áreas em roxo e azul onde estão localizados os principais cursos hídricos da área e as menores altitudes favorecendo cargas hidráulicas mais próximas da superfície e fluxo de base mais constante.

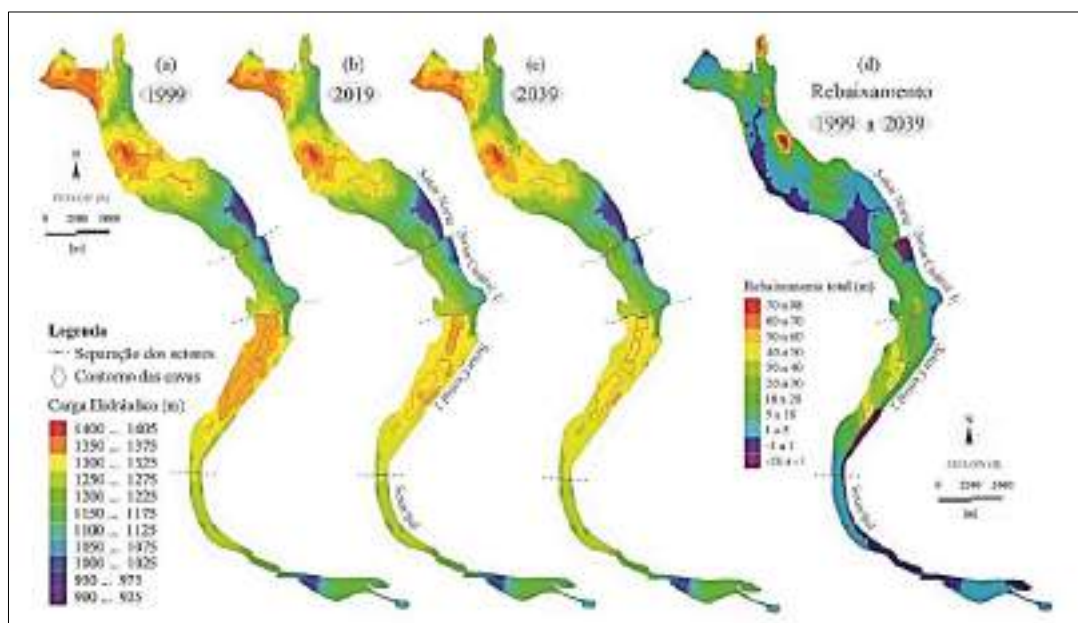


Figura 5 - (a, b e c) Evolução da carga hidráulica entre 1999 e 2019 e 2039 (simulação); (d) rebaixamento total previsto entre 1999 e 2039.

Com base na simulação realizada espera-se que nos próximos 20 anos haja rebaixamento do nível d'água mais expressivo no setor central 2. Ademais apesar de ser a região com menor quantidade de dados, pode-se dizer que o setor sul foi o menos impactado no período de simulação apresentando redução média tanto na carga hidráulica quanto no fluxo de base.

Além dos impactos à água subterrânea, conclui-se que o rebaixamento na região afeta também a vazão das drenagens superficiais. A previsão é de que entre 2019 e 2039 o fluxo de base dos cursos hídricos seja reduzido em 7,6 %, além dos 13, 6 % reduzidos nos 20 anos anteriores.

Essa diminuição de vazão na área implica na maior vulnerabilidade de alguns cursos hídricos, que podem deixar de ser perenes e depender do rebaixamento da carga hidráulica em sua região

Se não houver controle adequado das reposições poderá haver prejuízo tanto para o abastecimento local quanto o regional, já que o fluxo superficial e subterrâneo da área de estudo contribui para o Rio das Velhas, manancial de suma importância para o abastecimento da RMBH" (grifos nossos).

³ No entanto, o que tem ocorrido é o aumento das taxas de bombeamento.
ff

7 Síntese e conclusões do Estudo: Modelo Hidrogeológico de Fluxo do Flanco Oeste do Sinclinal Moeda (Quadrilátero Ferrífero – MG): Passado, Presente e Futuro do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais, Brasil, de autoria de Isabella Brito Andrade.

7.1 Considerações iniciais

“O Aquífero Cauê, localizado no flanco oeste do Sinclinal Moeda no Quadrilátero Ferrífero, destaca-se pela sua significativa relevância hidrogeológica regional, fornecendo água para diversas cidades no entorno. Contudo, enfrenta interferências decorrentes das atividades de exploração, sendo frequentemente sujeito a rebaixamento dos níveis d’água. Devido à sua riqueza hídrica, tanto em aspectos qualitativos quanto quantitativos, o Sinclinal Moeda é responsável pelo abastecimento de água em municípios associado e tem e se tornado atrativo polo industrial, com instalação de empreendimentos que necessitam de alta demanda de água.

O objetivo deste estudo foi aprofundar o entendimento da hidrogeologia no flanco oeste do Sinclinal Moeda, analisando os efeitos do rebaixamento entre os anos de 1999 e 2019, bem como as projeções para os próximos 20 anos.

O estudo foi realizado em duas etapas. A primeira etapa definiu as unidades aquíferas e não aquíferas, condições de contorno hidrogeológicas, definição dos parâmetros hidráulicos, balanço hídrico e volume estimado da reserva renovável, com a elaboração de um mapa potenciométrico e avaliação o fluxo subterrâneo em setembro de 2019. A segunda etapa consistiu no desenvolvimento de um modelo numérico onde são utilizadas as informações da primeira etapa para obtenção dos parâmetros hidráulicos e entender a dinâmica hídrica da área de estudo entre 1999 e 2019, e avaliar e simular o período de 2019 a 2039”.

7.2 Localização da área do Flanco oeste do Sinclinal Moeda

“O Sinclinal Moeda localiza-se na porção oeste do Quadrilátero Ferrífero.

A área de estudo situa-se na porção centro-sul do estado de Minas Gerais, é limitada a norte pelo Homoclinal Serra do Curral. Está a sul de belo Horizonte e intersecciona os municípios de Brumadinho, Belo vale, Congonhas, Itabirito, Jeceaba, Moeda Nova Lima e Ouro Preto.

Engloba 11 empreendimentos minerários, dois condomínios residenciais e uma indústria que demandam de alta demanda hídrica⁴.

⁴ Fábrica da Coca-Cola.
ff

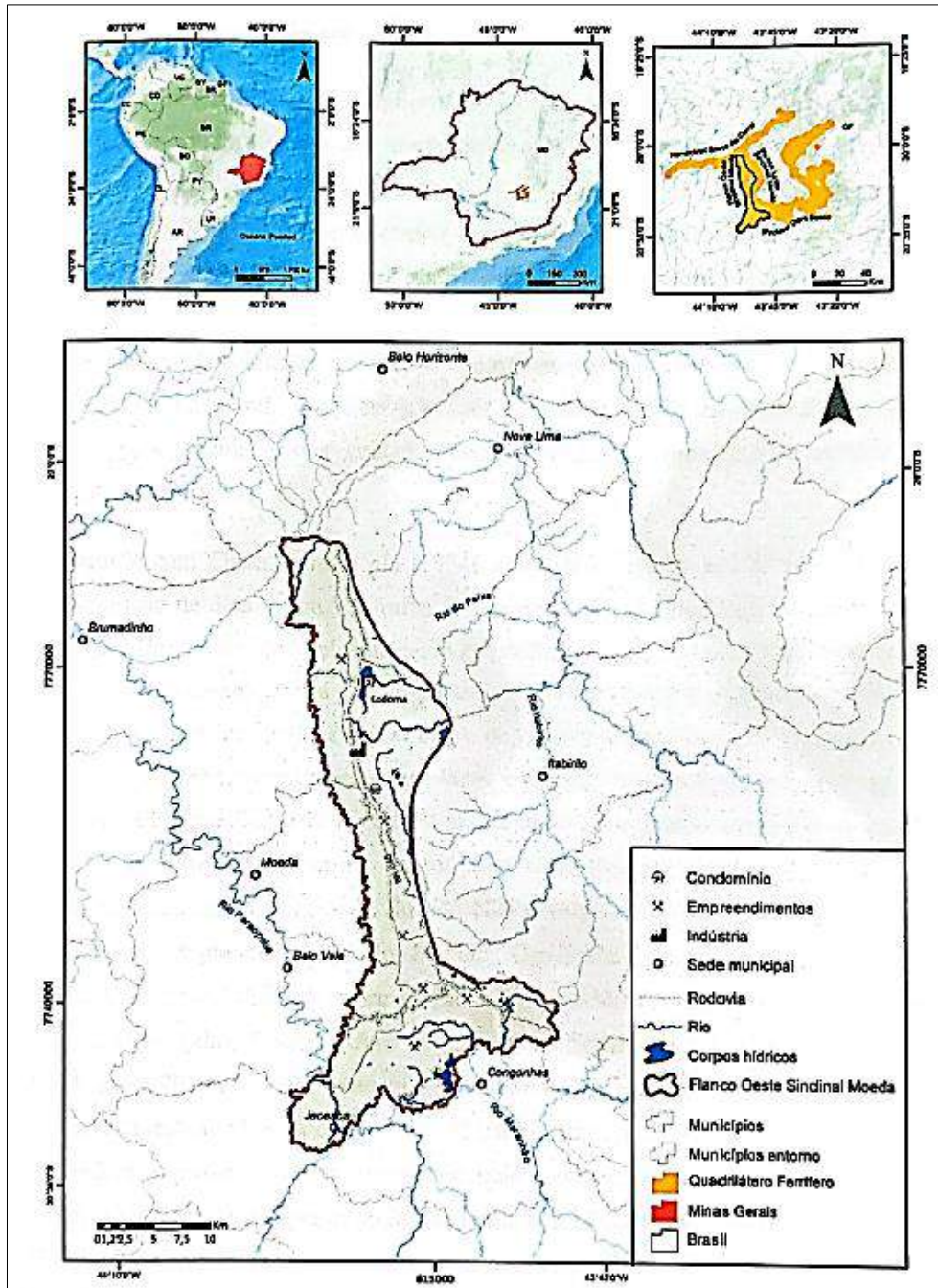


Figura 6 – Mapas de localização do Flanco oeste do Sinclinal Moeda

7.3 Identificação das unidades aquíferas na área de estudo

“Foram definidas cinco unidades aquíferas aflorantes no flanco oeste do Sinclinal Moeda, Aquífero Moeda, Aquífero Cauê, Aquífero Gandarela, Aquífero Itacolomi e o Aquífero das Coberturas.

O Aquífero Moeda localizado na borda oeste do flanco e na crista da Serra da Moeda, possui espessura variável, de 1000 m na porção norte para 200 m na porção central e 500 m na porção sul. Neste, valores de vazão de nascentes evidenciaram descargas na ordem de grandeza de 18 m³/h.

O Aquífero Cauê, aflorante nas porções norte, central e sul, possui uma riqueza hidrológica notável com a maior produtividade obtida pelos poços tubulares.

O aquífero Gandarela possui capacidade específica com valores de 2,8 m³/h/m. Possui espessura variável de 750 m à norte, dobrando de espessura na região do eixo do Sinclinal e tornando-se menos espesso à sul.

O Aquífero Itacolomi possui capacidade específica de até 5 m³/h/m, aflorando na porção sul da área de estudo.

Os Aquíferos das Coberturas possuem boa capacidade de armazenamento e são zonas preferenciais de recarga.

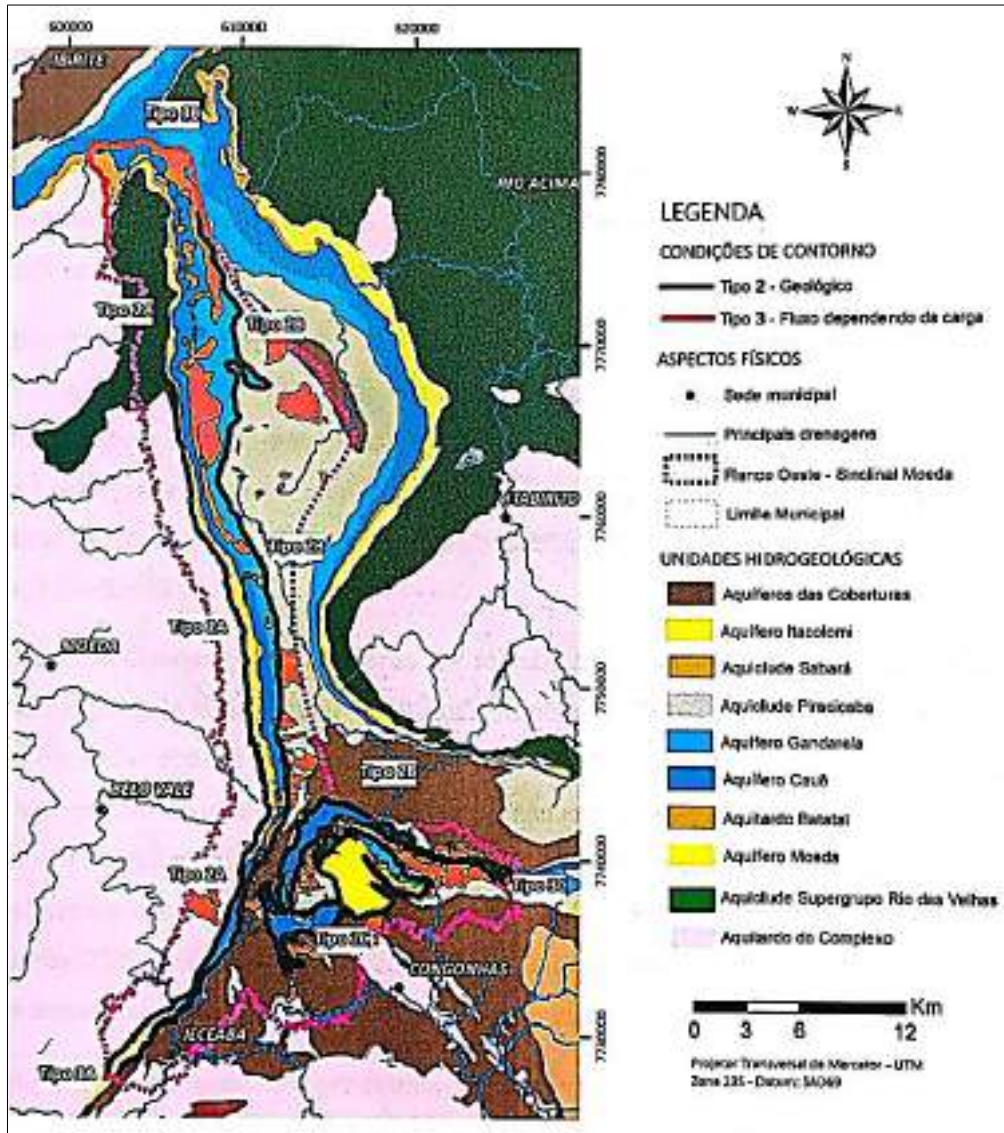


Figura 7 – Unidades Aquíferas na área de estudo

7.4 Balanço hídrico

“A partir do estudo dos dados das estações pluviométricas, foi obtida a média ponderada pluviométrica anual de 1475 mm/ano na área.

Considerando que a taxa de fluxo de base é o que corresponde à infiltração em mm/ano na área da bacia foi calculada a pluviometria e a porcentagem de chuva referente à recarga subterrânea anual.

TAXA PERCENTUAL DE RECARGA: UNIDADES AQUIFERAS					
AQUIFEROS	CAUÊ	GANDARELA	MOEDA	ITACOLOMI	COBERTURAS
Nº BACIAS	11	2	3	1	-
MÍNIMO	9%	18%	3%	6%	-
MÉDIO	24%	28%	18%	15%	-
MÁXIMO	49%	45%	46%	44%	-

Figura 8 – Valores obtidos para a taxa de recarga (%/ano) para as unidades aquíferas.

A partir da taxa média anual de recarga de cada unidade aquífera, com os dados de pluviometria, e com a área é possível calcular o volume d'água que infiltra pelas chuvas anualmente, ou seja, a reserva renovável regionalmente distribuída no sistema aquífero do flanco oeste do Sinclinal Moeda.

Foi possível comparar a taxa média regional da recarga subterrânea em comparação com a taxa média da vazão que é explotada pelos poços de bombeamento no Aquífero Cauê e demais unidades aquíferas.

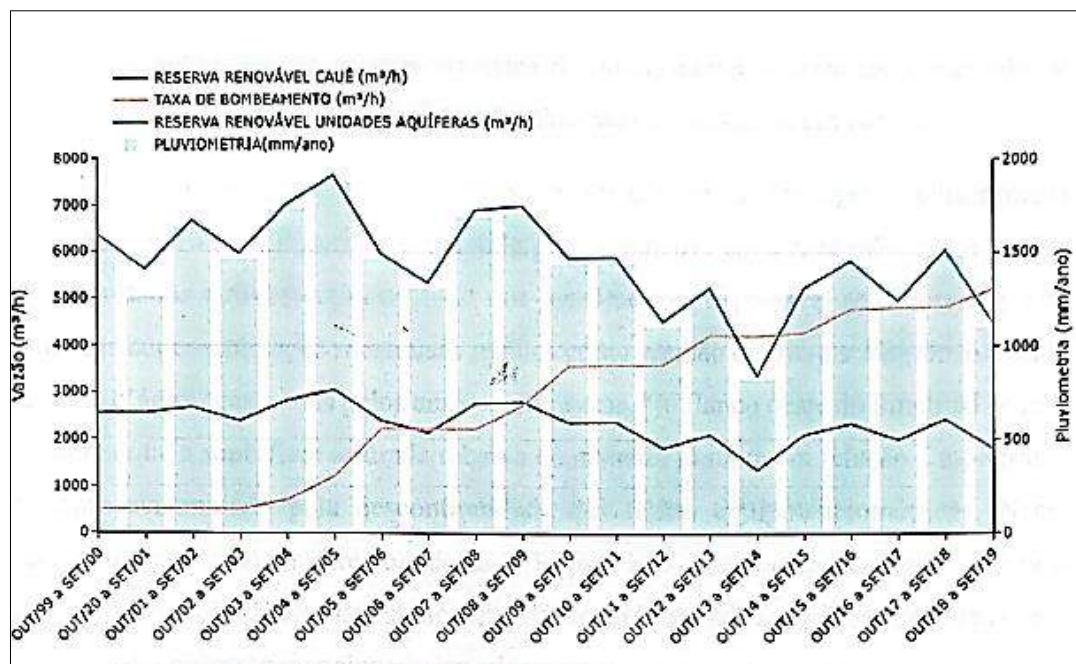


Figura 9 – Taxa de recarga do aquífero Cauê e demais unidades versus taxa de bombeamento – vazão explotada em m³/h. São apresentados também os dados anuais pluviométricos. Se observa que a reserva renovável varia de acordo com os índices de chuvas.

De acordo com a figura acima, a partir de 2009 a taxa de bombeamento outorgada dos poços torna-se superior à taxa de recarga regional referente à reserva renovável da unidade aquífera Cauê. Esse *déficit*, em 2019, alcança o valor de 3.391 m³/h" (grifo nossos).

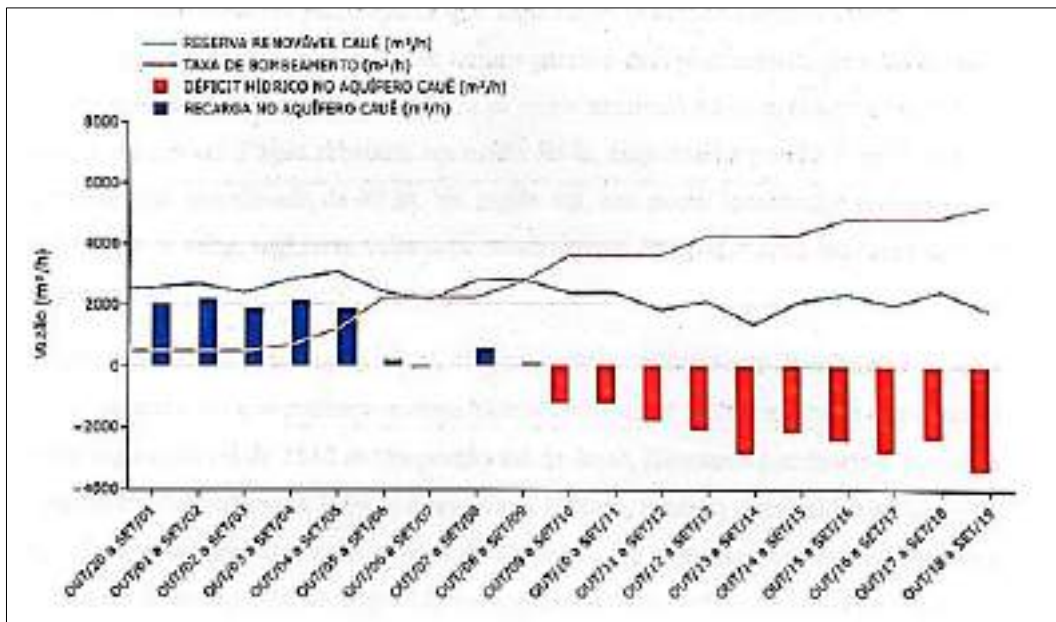


Figura 9 – Excedente e déficit hídrico calculado considerando a taxa de recarga que infiltra (reserva renovável) da unidade Cauê e a quantidade bombeada (dados obtidos a partir da vazão outorgada). A partir de outubro de 2009 o volume d'água bombeado é superior à recarga.

7.5 Conclusões do estudo

“A análise regional acerca das entradas e saída desse sistema aquífero, através do método balanço de massas, determinou que a entrada de água em todo o sistema aquífero está entre o intervalo de 3.000 m³/ano (períodos de estiagem) e de 8.000 m³/ano em períodos de cheia. Aproximadamente 40% dessa entrada é proveniente da contribuição do aquífero Cauê. Essa contribuição é suprimida desde outubro de 2006 pela exploração da água pelos empreendimentos, cuja vazão outorgada de bombeamento é superior à taxa de recarga referente à reserva renovável do Cauê. Em 2019 o rebaixamento médio da porção norte foi de 90 m, 40 m na porção central e 140 m na porção sul, próximo dos poços de bombeamento. Em resumo, há mais água saindo do que entrando, indicando um *déficit* de água subterrânea” (grifo nosso).

7.6 Simulação da evolução dos impactos na área, no futuro

“Ao realizar a avaliação das diferenças de carga hidráulica nos cenários de setembro de 2019 e 2039, observa-se que na porção norte é previsto um rebaixamento generalizado máximo de 150 m que acomete principalmente as unidades aquíferas Cauê e Gandarela, embora atinja também a unidade Moeda, entretanto de modo menos proeminente. Em termos médios, na região norte tem um rebaixamento de 10 m.

Na porção central há um rebaixamento máximo de 70 m e que se expande para as unidades aquíferas Cauê, Gandarela e Moeda. O rebaixamento médio na região central é de 12 m.

Na porção sul, nota-se um rebaixamento máximo de 90 m e média de rebaixamento de 10 m”.

8 Recomendações para a região do Sinclinal Moeda

“Com o objetivo de aprimorar a gestão das águas subterrâneas no Sinclinal Moeda, sugere-se a instalação de uma rede de monitoramento que garanta a distribuição dos instrumentos pela área para obtenção adequada e constante dos dados, tanto de vazão superficial quanto do nível d'água.

Conclui-se que é necessário maior controle das vazões outorgadas e medidas de mitigação, definindo limites de captação, sobretudo para as regiões mais impactadas. 21

Dessa forma será possível realizar uma gestão mais adequada dos mananciais, garantindo a disponibilidade para as gerações futuras e ecossistemas” (grifo nosso).

9 MISSÃO GRACE - Gravity Recovery and Climate Experiment - NASA

Conforme descrito no artigo “Análise da Evolução do Armazenamento de Água em Aquíferos Porosos no Nordeste Brasileiro Utilizando Dados de Múltiplos Satélites e Medições *IN SITU*” de **Clyvikh Renna Camacho** (SGB/Belo Horizonte), os satélites da missão GRACE, de responsabilidade conjunta das agências espaciais dos Estados Unidos da América (*National Aeronautics and Space Administration* - NASA) e Alemanha (*German Aerospace Center* - DLR), têm como principal objetivo a obtenção do campo gravitacional terrestre em alta resolução.

Balmino (2003) descreve o funcionamento dos satélites da missão GRACE como medição das variações no campo de gravidade que causam alterações na distância entre os dois satélites. Assim, em áreas de maior gravidade, o satélite líder será atraído, acelerando-o e aumentando sua distância em relação ao segundo satélite. As variações na distância entre os satélites são mensuradas por um sistema de micro-ondas de alta precisão, onde a relação com o sistema de referência global é dada por GPS, sendo corrigidas de efeitos não gravitacionais por um acelerômetro preciso.

O conjunto de dados GRACE está disponível de março de 2002 até o presente.

De acordo com o artigo “A importância dos poços de observação locais, reanálise e dados de satélite sobre anomalia gravitacional, clima e uso da terra para melhorar a gestão de águas subterrâneas no sistema aquífero Urucuia”, de **Pedro Lage Andrade**, considerando que as mudanças no campo gravitacional são causadas principalmente pelo movimento massivo de água, o GRACE fornece informações sobre o armazenamento total de água em toda a Terra.

Ao subtrair a quantidade de água armazenada na zona não saturada e corpos superficiais (por exemplo, rios e reservatórios), o desvio da massa de água armazenada em um aquífero pode ser estimado conforme anomalia de armazenamento de água subterrânea (GWSA) (Moghim, 2020):

$$GWSA_{\text{satellite}} = TWSAGRACE - SMSAGLDAS - SWSA$$

Onde:

- TWSAGRACE representa o desvio total de armazenamento de água (ou seja, superfície, solo e água subterrânea);
- SMSAGLDAS denota o desvio de massa de umidade do solo, conforme estimado a partir de dados de massa de umidade do solo disponíveis no projeto Global Land Data Assimilation System (GLDAS), e
- SWSA representa o desvio de massa de água superficial.



Figura 10 – Satélites da Missão Grace

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Ew81wqxWMN8>

10 Síntese e conclusões de: Apresentação e considerações sobre a redução da água dos aquíferos subterrâneos em Minas Gerais, conforme resultados da Missão GRACE da NASA. Mapas das perdas de água. Autor: Euler Carvalho Cruz

O vídeo de apresentação aborda a preocupante redução da disponibilidade de água subterrânea no estado de Minas Gerais. Esse fenômeno integra um declínio global dos aquíferos, afetando diversas regiões do planeta. No Brasil, a diminuição dos recursos hídricos subterrâneos ocorre predominantemente em Minas Gerais e Bahia, além de impactar outros estados do Nordeste.

“Segundo o artigo “Um mapa do futuro da água”⁵, a disponibilidade de água doce está mudando rapidamente em todo o mundo, criando um futuro tênue que requer atenção dos formuladores de políticas e do público.

Essa conclusão é baseada em 14 anos de dados de satélite coletados pela missão GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment), um projeto inovador da NASA dedicado à observação da Terra. Diferentemente de missões que dependem de imagens, o GRACE, lançado em 2002 e desativado no final de 2017, funcionava como uma "balança gravitacional" em órbita. Ele monitorava variações espaço-temporais no campo gravitacional terrestre, permitindo a medição indireta das mudanças na distribuição da massa de água em grandes bacias hidrográficas e aquíferos subterrâneos—reservatórios naturais formados por camadas porosas de rocha e solo que armazenam água subterrânea acessível por bombeamento.

Apesar da complexidade técnica do método, os resultados são diretos e acessíveis: os dados obtidos permitiram quantificar as taxas de ganho e perda de água em diferentes regiões do planeta, possibilitando a construção de mapas de monitoramento hídrico. A análise desses mapas revela um cenário preocupante: a segurança hídrica global—definida como o acesso sustentável a quantidades adequadas de água potável—está mais ameaçada do que se supõe.

⁵ Disponível em: <https://www.pewtrusts.org/pt/trend/archive/spring-2019/a-map-of-the-future-of-water>,
ff

A partir desses estudos, foi possível identificar e mapear as regiões do planeta onde os recursos hídricos estão diminuindo, representadas em vermelho, e aquelas onde há um aumento na disponibilidade de água nos últimos anos, indicadas em tons de azul. 23

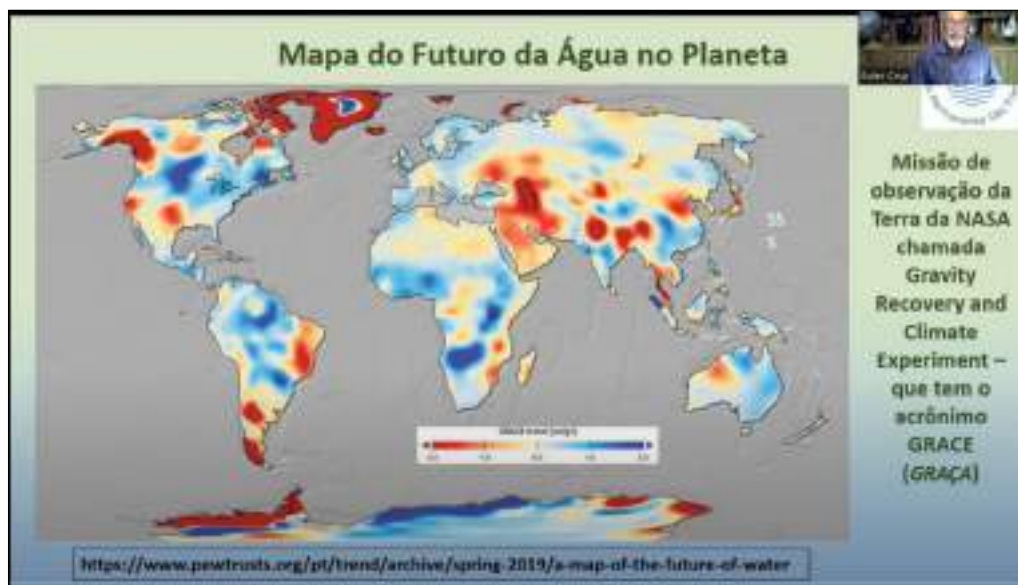


Figura 11 – Mapa de disponibilidade da água no Planeta
Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Ew81wqxWMN8>

Nos polos, como na Groenlândia, observa-se uma significativa redução dos recursos hídricos devido ao derretimento acelerado das geleiras, com exceção da região central, onde foi registrado um aumento na massa de gelo. O mesmo padrão é identificado na Antártica, onde há áreas com aumento na quantidade de água e outras, destacadas em vermelho, que apresentam redução.

Em um módulo específico do estudo, o mapa da América do Sul evidencia essas variações, destacando regiões críticas de perda e ganho hídrico, representadas em vermelho e azul, respectivamente. De acordo com o professor Jay Famiglietti, a distribuição espacial desses padrões de variação hídrica apresenta uma notável correspondência com as projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), validando os cenários previstos para as mudanças no ciclo hidrológico global.

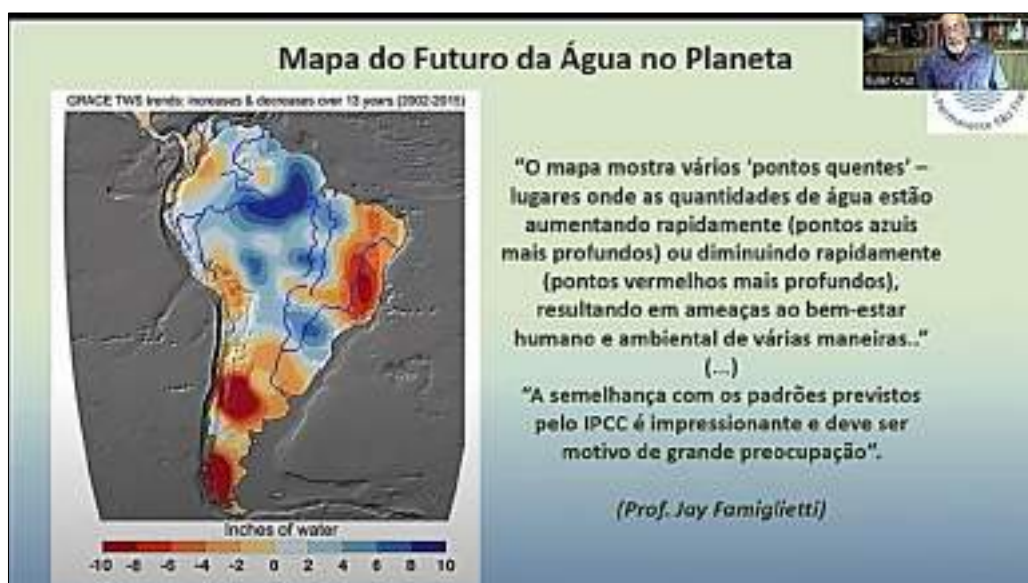


Figura 12 – Mapa do Futuro da Água da América do Sul

O mapa apresenta as regiões da América do Sul onde há aumento na disponibilidade de água, com destaque para áreas como a bacia amazônica, o Equador, o Paraguai e a Bolívia.

Por outro lado, as áreas com maior redução hídrica incluem os estados de Minas Gerais, Bahia e outros estados do Nordeste, estendendo-se até o Ceará e parte do Piauí. Além disso, o mapa aponta uma tendência de redução dos recursos hídricos na Colômbia.

Outras regiões da América do Sul afetadas pela perda de água incluem a Bolívia, o sul do Brasil, o Uruguai e partes do Paraguai, além do oeste da Argentina, particularmente em áreas de intensa irrigação próximas à Cordilheira dos Andes, bem como no Chile e na região da Patagônia.

Ao se aplicar um detalhamento maior sobre os estados de Minas Gerais e Bahia, é possível identificar que as áreas com as maiores taxas de redução do volume hídrico estão concentradas no norte-nordeste de Minas Gerais e no sul da Bahia. No entanto, a perda de água se estende por grande parte do território mineiro. As variações de coloração no mapa refletem as diferenças na magnitude da perda hídrica, evidenciando a intensidade do declínio na disponibilidade de água subterrânea e superficial.

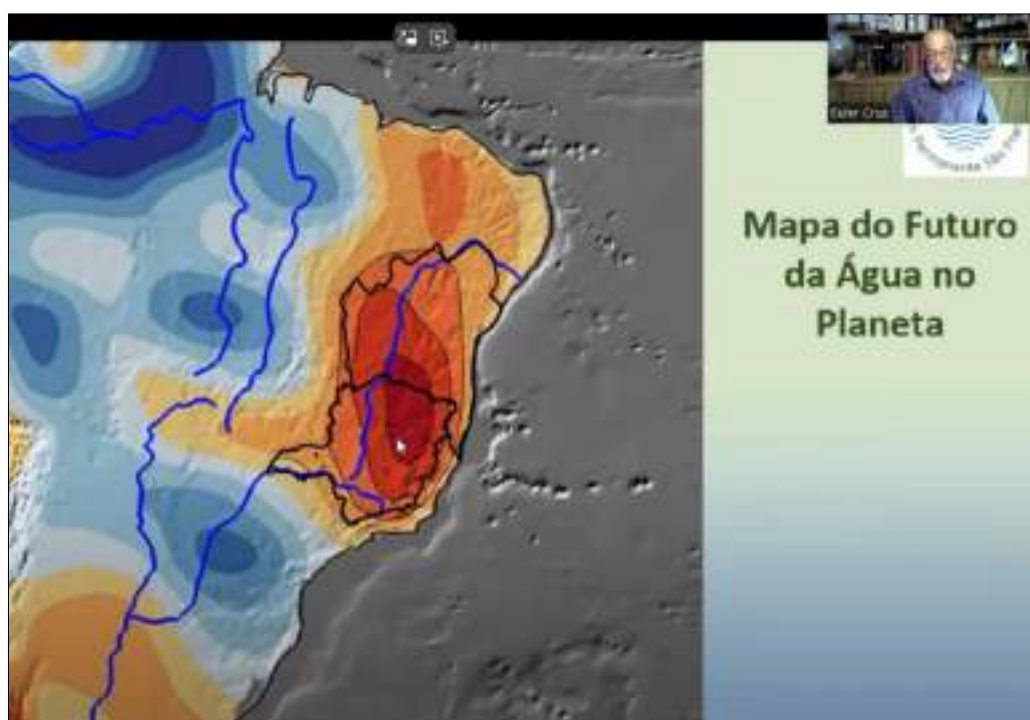


Figura 13 - Mapa do Futuro da Água – Foco nos estados de Minas Gerais e Bahia

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Ew81wqxWMN8>

A região destacada em vermelho mais intenso no mapa indica uma perda hídrica significativa ao longo de 15 anos (2002–2017), correspondente a aproximadamente 28 centímetros de altura de água em toda a área analisada. Em termos comparativos, seria como se um lago cobrisse toda a superfície e seu nível tivesse diminuído em 28 centímetros nesse período, representando um volume da ordem de bilhões de litros. A região onde se localiza Belo Horizonte também apresenta um declínio expressivo, com perda estimada em 20 centímetros, o que configura uma situação igualmente preocupante.

O professor Jay Famiglietti, cientista sênior do Laboratório de Propulsão a Jato (JPL) da NASA e especialista em recursos hídricos, é diretor executivo do *Global Institute for Water Security* e ocupa uma cátedra de pesquisa em hidrologia e sensoriamento remoto na University of

Saskatchewan, no Canadá. Ele e sua equipe conduziram estudos aprofundados e chegaram a conclusões alarmantes. Segundo Famiglietti:

25

"Uma das descobertas mais surpreendentes de nosso trabalho com os dados do GRACE dizia respeito à água que não podemos ver, mas da qual dependemos cada vez mais: as águas subterrâneas. Mais da metade dos principais aquíferos do mundo já ultrapassou os pontos de inflexão da sustentabilidade, o que significa que a taxa de extração da água subterrânea supera em muito a taxa de recarga."

Ou seja, os aquíferos estão em processo acelerado de esgotamento. Ele também destacou que:

"O padrão de intensificação dos extremos hídricos — com regiões úmidas tornando-se mais úmidas e regiões secas ficando ainda mais áridas — já havia sido previsto em diversos relatórios do IPCC para ocorrer até o final do século XXI. No entanto, nossos estudos indicam que esse fenômeno já está em andamento."

A redução das reservas de águas subterrâneas representa uma ameaça crescente à segurança hídrica e alimentar em escalas regional e global. A combinação da diminuição na disponibilidade de água com a queda dos níveis aquíferos restringirá ainda mais o acesso à água potável e à irrigação agrícola, desencadeando impactos socioeconômicos e políticos significativos.

Diante desse cenário, a gestão dos recursos hídricos deve ser integrada, considerando tanto as águas superficiais — rios, lagos e reservatórios — quanto as águas subterrâneas como componentes interdependentes de um sistema hídrico unificado. A ausência de monitoramento e planejamento adequado das águas subterrâneas, em relação aos corpos d'água superficiais, tem acelerado seu esgotamento em diversas regiões do mundo. Como elemento essencial para o abastecimento hídrico nacional e internacional, as reservas subterrâneas devem ser incorporadas às discussões interestaduais e internacionais sobre gestão de recursos hídricos transfronteiriços".

11 Conclusões

Esse Relatório analisa o estado das águas subterrâneas no Quadrilátero Aquífero-Ferífero (QAF) de Minas Gerais, com enfoque especial no Sinclinal Moeda. A pesquisa se baseia em estudos hidrogeológicos, dados de monitoramento e modelagens numéricas para avaliar a dinâmica hídrica e os impactos da mineração na região. A seguir, são apresentadas as principais conclusões dos estudos:

1. Impacto da Mineração e Rebaixamento dos Aquíferos

- O Aquífero Cauê é a principal unidade hidrogeológica da região e tem sofrido um rebaixamento significativo dos níveis d'água devido à atividade minerária intensiva.
- O volume de água extraído (bombeamento) é superior à recarga natural, levando a um déficit hídrico constante. Em números:
 - O volume médio bombeado foi estimado em 41 milhões de m³/ano, enquanto a recarga anual do Aquífero Cauê é de 27 milhões de m³/ano, ou seja, há um bombeamento 50% superior à capacidade de reposição.
 - Esse desequilíbrio hídrico vem resultando na redução da disponibilidade de água subterrânea e superficial na região.
- Entre 1999 e 2019, houve um rebaixamento médio de 10,4 metros no Aquífero Cauê e 2,2 metros nas demais unidades aquíferas, sendo que o setor central apresentou os maiores impactos, com rebaixamento de 11,6 metros.
- A formação de cones de rebaixamento tem comprometido as nascentes e reduzido a vazão de rios e córregos que dependem da alimentação das águas subterrâneas.

2. Redução do Fluxo de Base e Impacto nos Recursos Hídricos

- A redução do escoamento de base na área de estudo compromete os cursos d'água que dependem da infiltração subterrânea para manter suas vazões durante períodos de estiagem.
- Entre 1999 e 2019, houve uma queda de 13,6% no fluxo de base da região, e as projeções indicam uma redução adicional de 7,6% até 2039, totalizando 21,2% de perda em 40 anos.
- Isso significa que muitos córregos e nascentes podem se tornar intermitentes, especialmente em períodos de seca.

3. Projeções Futuras e Cenários de Impacto até 2039

- Se a taxa atual de bombeamento for mantida em 52 milhões de m³/ano, o rebaixamento do nível d'água pode atingir valores alarmantes:
 - Flanco Norte: rebaixamento médio de 10 metros, com picos de até 150 metros em áreas próximas às mineradoras.
 - Flanco Central: rebaixamento médio de 12 metros, chegando a 70 metros nos pontos mais críticos.
 - Flanco Sul: rebaixamento médio de 10 metros, com picos de 90 metros em áreas específicas.
- A continuidade desse processo pode comprometer a segurança hídrica regional, impactando diretamente o abastecimento de água da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), que depende do Rio das Velhas – um dos principais afetados pela redução da infiltração subterrânea.

4. Dados da Missão GRACE da NASA: Redução Global das Águas Subterrâneas

- A Missão GRACE, da NASA, analisou a variação dos estoques de água subterrânea em todo o planeta, revelando um declínio significativo dos aquíferos em Minas Gerais.
- Entre 2002 e 2017, a disponibilidade hídrica subterrânea na região foi reduzida em até 28 centímetros de altura equivalente de água, o que representa uma drenagem de bilhões de litros dos aquíferos. A redução se intensificou desde então.
- Essa redução coloca Minas Gerais como o estado brasileiro com as maiores taxas de perda de água subterrânea, ao lado da região oeste da Bahia, e de forma mais intensa que a de outros estados do Nordeste, Goiás e Rio Grande do Sul.
- O padrão observado no Brasil se alinha às projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que prevê a intensificação da escassez hídrica em regiões já afetadas por exploração excessiva e mudanças climáticas.

5. Recomendações e Necessidade de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos

Diante da situação crítica observada, o relatório sugere as seguintes medidas para garantir a sustentabilidade das águas subterrâneas no Quadrilátero Aquífero-Ferrífero:

- **Criação de uma rede pública de monitoramento contínuo** dos níveis d'água subterrâneos, garantindo a coleta de dados confiáveis e em tempo real, preferencialmente em tempo real.
- **Revisão das outorgas de captação de água subterrânea**, com limitação da exploração em áreas críticas. estabelecimento de limites mais rígidos para extração e fiscalização efetiva e assídua por parte dos órgãos responsáveis.

- **Medidas de mitigação ambiental** para minimizar os impactos da mineração, incluindo ações de compensação hídrica e técnicas para reduzir a dependência do rebaixamento dos aquíferos.
- **Sensibilização da sociedade e dos tomadores de decisão** sobre os riscos da superexploração e a necessidade de um planejamento estratégico para a gestão dos recursos hídricos.

Conclusão Geral

O Relatório demonstra que a situação das águas subterrâneas no Quadrilátero Aquífero-Ferífero é alarmante e exige ações urgentes para evitar um colapso hídrico. O impacto da mineração, associado à exploração descontrolada dos aquíferos, está comprometendo a disponibilidade de água na região e pode ter consequências graves para o abastecimento da RMBH e para os ecossistemas locais.

Sem uma gestão adequada dos recursos hídricos, o equilíbrio ambiental e a segurança hídrica da região estão ameaçados, com potenciais impactos socioeconômicos irreversíveis.