FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

PAUL JÉRÔME PATRICE

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA DE AFLORAMENTO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI/MS E ANÁLISE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

AQUIDAUANA, MS
2025

PAUL JÉRÔME PATRICE

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA DE AFLORAMENTO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI/MS E ANÁLISE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Dissertação apresentada como exigência do curso de Mestrado em Geografia, do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Geografia, do Campus de Aquidauana da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, sob a orientação da Profa. Dra. Eva Teixeira dos Santos.

AQUIDAUANA, MS
2025

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à minha orientadora, Professora Eva Teixeira dos Santos, por sua orientação incansável, apoio incondicional e confiança em meu trabalho, fundamentais para a conclusão deste projeto.

Aos Professores Ricardo Lopes Batista, Lucy Ribeiro Ayach e Vicente Rocha Silva, pelos valiosos insights e contribuições que enriqueceram esta pesquisa. Em especial, agradeço a Jeferson Mussato e Geovandir Lordano pela disponibilidade e auxílio nos primeiros anos do mestrado – nosso encontro em abril de 2023 foi determinante para esta jornada.

Aos amigos Jean Alain Renaud, Luxone Samedy e Josephe Louiral, pelo apoio nos momentos desafiadores e pela motivação no aprendizado de uma nova língua. Ao Professor Paulo, pela acolhida e pelas oportunidades de crescimento acadêmico na UFMS.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo financiamento que viabilizou esta pesquisa. E, por fim, a todos os colegas e amigos que, direta ou indiretamente, contribuíram para este trabalho – mesmo aqueles a quem não pude dedicar atenção suficiente durante este período. Prometo retribuir cada gesto de apoio.

Este trabalho foi realizado com o apoio da CAPES.

RESUMO

O estudo analisou as mudanças no uso e cobertura da terra e a qualidade das águas subterrâneas no Sistema Aquífero Guarani (SAG) em Mato Grosso do Sul (MS) entre 2002 e 2022, utilizando dados do MapBiomas e monitoramento do IMASUL, revelando uma redução nas formações naturais, como florestas (-1,3%) e savanas (-2,4%), enquanto culturas agrícolas, como soja (+2,22%), e florestas plantadas (+0,9%) se expandiram. As pastagens, embora ainda dominantes (52,1% em 2022), apresentaram leve declínio (-2,7%), enquanto a urbanização cresceu modestamente (+0,3%), mas com preocupação quanto à impermeabilização do solo em zonas de recarga. Na qualidade da água (2018–2022), foram identificados casos de contaminação por nitratos, como no poço ALC-005 (14,8 mg/L), associados a fertilizantes agrícolas, além da presença de coliformes totais e E. coli em poços como o DOU-036, indicando infiltração de esgoto ou dejetos animais. Embora parâmetros físico-químicos, como pH (5,0–8,3) e condutividade (17,3–285 μS/cm), geralmente tenham se mantido dentro dos padrões, os riscos identificados incluem a agricultura intensiva, com uso de agroquímicos e irrigação, o desmatamento, que reduz a infiltração e aumenta a erosão, e o saneamento inadequado, que agrava a contaminação. Diante disso, a sustentabilidade do SAG/MS depende da implementação de políticas de gestão integrada, como zoneamento de áreas de recarga, monitoramento contínuo de poços, fiscalização do uso de agroquímicos, investimento em saneamento básico e práticas agrícolas sustentáveis, exigindo cooperação entre setores públicos, privados e comunidades locais, em alinhamento a marcos legais como a CONAMA 396/2008 e ao PERH-MS.

Palavras Chave: Sistema Aquífero Guarani, qualidade da água, uso da terra, gestão hídrica, Mato Grosso do Sul.

ABSTRACT

The study analyzed changes in land use and land cover and groundwater quality in the Guarani Aquifer System (GAS) in Mato Grosso do Sul (MS), Brazil, between 2002 and 2022, using data from MapBiomas and monitoring by IMASUL. The results revealed a decline in natural formations, including forests (-1.3%) and savannas (-2.4%), while agricultural crops such as soybeans (+2.22%) and planted forests (+0.9%) expanded. Pasturelands remained dominant (52.1% in 2022) but showed a slight decrease (-2.7%), whereas urbanization grew modestly (+0.3%), raising concerns over soil sealing in recharge zones. Regarding water quality (2018–2022), point-source contamination was detected, with nitrates exceeding the 10 mg/L limit in wells such as ALC-005 (14.8 mg/L), linked to agricultural fertilizers. Microbiological pollution, including total coliforms and E. coli, was found in wells like DOU-036, indicating sewage or animal waste infiltration. Physical-chemical parameters such as pH (5.0–8.3) and conductivity (17.3–285 μS/cm) varied but generally remained within acceptable standards, while turbidity (<0.5–3.3 NTU) stayed below the WHO limit (5 NTU). Key risks identified include intensive agriculture, with agrochemical use and irrigation threatening recharge and water quality; deforestation, which reduces infiltration and increases erosion; and inadequate sanitation, worsening contamination in urban and rural areas. To ensure the aquifer's sustainability, integrated management policies are needed, such as zoning recharge areas to restrict polluting activities, continuous well monitoring, stricter regulation of agrochemicals, and investments in basic sanitation and sustainable farming practices. The long-term preservation of the GAS depends on collaboration among public and private sectors and local communities, aligned with legal frameworks like CONAMA Resolution 396/2008 and state plans such as PERH-MS.

Keywords: Guarani Aquifer system, water quality, land use, water management, Mato Grosso do Sul.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de Ocorrência do Sistema Aquífero Guarani 19
Figura 2: Localização da área em estudo no Brasil (A) e no Mato grosso do Sul (B) 28
Figura 3: Formação Botucatu (MS) 29
Figura 4: Formações geológicas na área de afloramento do SAG/MS No Estado de Mato Grosso do Sul 30
Figura 5: Ocorrência de solos na área de afloramento do SAG/MS No Estado de Mato Grosso do Sul 32
Figura 6: Unidades geomorfológicas na área de afloramento do SAG/MS 34
Figura 7: Uso e cobertura da terra em 2002 do Aquífero Guarani/MS 42
Figura 8: Uso e cobertura da terra em 2012 do Aquífero Guarani/MS 44
Figura 9: Uso e cobertura da terra em 2018 do Aquífero Guarani/MS 46
Figura 10: Uso e cobertura da terra em 2022 do Aquífero Guarani/MS 48
Figura 11: Potencial de hidrogênio (pH) entre os anos de 2018-2022 nos poços subterraneas do Estado de MS 52
Figura 12: Condutividade elétrica entre os anos de 2018-2022 nos poços subterraneas do Estado de MS 53
Figura 13: Turbidez entre os anos de 2018-2022 nos poços subterraneas do Estado de MS ... 54
Figura 14: Cloretos entre os anos de 2018-2022 nos poços subterraneas do Estado de MS 55
Figura 15: Nitratos entre os anos de 2018-2022 nos poços subterraneas do Estado de MS..... 56
Figura 16: Dureza entre os anos de 2018-2022 nos poços subterraneas do Estado de MS 57

LISTA DE SIGLAS

ANA: Agência Nacional de Águas
CNRH: Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
MDR: Ministério do Desenvolvimento Regional
OEA: Organização dos estados americanos
PERH-MS: Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul
PNRH: Plano Nacional de Recursos Hídricos
SAG: Sistema Aquífero Guarani
SASG: Sistema Aquífero Serra Geral
SINGREH: Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
SEMAC: Secretaria de Meio Ambiente, Cidades, Planejamento e Ciência e Tecnologia

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Etapas de realização das atividades da pesquisa..... 39
Tabela 2: Quantificação de Classes de Uso e Cobertura da Terra em 2002 do Aquífero Guarani/MS 43
Tabela 3: Quantificação de Classes de Uso e Cobertura da Terra em 2012 do Aquífero Guarani/MS 45
Tabela 4: Quantificação de Classes de Uso e Cobertura da Terra em 2018 do Aquífero Guarani/MS 47
Tabela 5: Quantificação de Classes de Uso e cobertura da terra em 2022 do Aquífero..... 49
Tabela 66: Evolução dos percentuais por classes de uso do Aquífero Guarani/MS 50
Tabela 7: Quadro síntese dos resultados de qualidade das águas subterrâneas do SAG em 2018-2019, no Estado de Mato Grosso do Sul. 58

SUMARIO

INTRODUÇÃO 12
QUESTÃO CENTRAL 15
OBJETIVOS 15
Objetivo Geral 15
Objetivos Específicos 15
HIPÓTESE INICIAL 15
2.1 - Águas Subterrâneas de Mato Grosso do Sul e o Sistema Aquífero Guarani (SAG) 17
2.3 – Aspectos legais sobre a proteção dos recursos hídricos subterrâneos no Brasil e no Mato Grosso do Sul 22
2.3.1 Política Nacional de Recursos Hídricos: Lei 9433/1997 22
2.3.2 Plano Nacional de Recursos Hídricos 23
2.3.3 Classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas: 25
2.3.4 Política Estadual de Recursos Hídricos 27
2.3.5 Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul (PERH-MS) 27
3.– CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 28
3.1 – Localização da área em estudo 28
3.2 Geologia 28
3.1.2 Pedologia 31
3.1.3 Geomorfologia 33
3.1.4.-HIDROGEOLOGIA DO SISTEMA AQÜÍFERO GUARANI/MS 35
4.1 – Procedimentos metodológicos 37
5.1 – Uso e cobertura da terra 40
5.2.-Monitoramento de qualidade das águas no SAG/MS – 2018 a 2022 51
CONSIDERAÇÕES FINAIS 59

RECOMENDAÇÕES 61
REFERÊNCIAS 63

INTRODUÇÃO

A água é essencial para a sobrevivência de toda as formas de vida no planeta. Embora dois terços da superfície terrestre sejam cobertos por água, apenas uma pequena fração é potável. Dos recursos hídricos disponíveis para consumo, 96% provêm de fontes subterrâneas, que são fundamentais para o abastecimento de grandes populações ao redor do mundo.

No Brasil, cerca de 55% dos municípios são abastecidos por águas subterrâneas, com cidades como Ribeirão Preto (SP), Maceió (AL), Mossoró (RN) e Manaus (AM) utilizando exclusivamente esse recurso. Além de atender à população, as águas subterrâneas são essenciais para a indústria, a agricultura, o lazer e outras atividades (IBGE, 2000).

Contudo, devido à crescente demanda, essas águas estão sob grande pressão. A superexploração, que ocorre quando a extração supera a reposição natural, pode resultar em impactos como a diminuição do volume de água nos rios, a secagem de nascentes e o esgotamento de reservatórios. Além disso, a poluição das águas, proveniente de atividades humanas como fossas, esgoto doméstico e industrial, vazamentos de postos de gasolina, lixões e o uso de agrotóxicos na agricultura, agrava a situação.

A escassez de água doce é um risco crescente, impulsionado por esses fatores e pela falta de conscientização. A preservação das reservas de água subterrânea é crucial para as gerações futuras, exigindo cuidados especiais para garantir seu uso sustentável.

A água subterrânea é a água presente no subsolo, infiltrando-se por gravidade através do solo, rochas e fissuras. Esse processo ocorre em duas zonas: a zona insaturada, onde a água ainda percola para a zona saturada, e a zona saturada, onde a água ocupa os espaços entre os materiais. A zona insaturada, que se estende da superfície até profundidades variáveis, contém espaços suficientes para infiltração da água. A zona saturada, abaixo da superfície freática, é onde a água se acumula e se move lentamente.

As águas subterrâneas são armazenadas em aquíferos, que são formações geológicas capazes de armazenar e transmitir água. Os aquíferos podem ser classificados em diferentes tipos, como livres, confinados e fissurais, dependendo das características das rochas que os compõem. Nos aquíferos porosos, a água é armazenada nos espaços criados pela formação das rochas, enquanto nos aquíferos fissurais, a água circula pelas fissuras nas rochas. Já os aquíferos cársticos possuem grandes cavidades formadas pela dissolução de rochas calcárias (Iritani e Ezaki, 2012).

Essas águas podem estar presentes em rochas ígneas, sedimentares ou metamórficas, e sua dinâmica é influenciada por fatores naturais, como precipitações, e por atividades humanas, como a irrigação, que pode promover a recarga artificial dos aquíferos. A quantidade de água armazenada no subsolo depende da porosidade das rochas, ou seja, do volume de espaços vazios em relação ao volume total da rocha. Materiais não consolidados, como areia e cascalho, geralmente têm maior porosidade do que rochas mais compactas (Iritani e Ezaki, 2012).

Outro fator importante que influencia o fluxo da água subterrânea é a permeabilidade, que é a capacidade da água de passar através das rochas. Quanto mais homogêneas forem as rochas em termos de tamanho e distribuição dos grãos, maior será a permeabilidade e, consequentemente, maior a capacidade de transmissão de água.

De acordo de relatório da rede de monitoramento (Imasul, 2023, p.27),

> As águas subterrâneas possuem características químicas estreitamente correlacionadas às rochas que as armazenam e por onde percolam. A qualidade dessas águas, por outro lado, pode ser influenciada pela atividade antropogênica, que é a fonte de cargas poluidoras pontuais de origem doméstica ou industrial e pelas cargas difusas urbanas e rurais.

No Brasil, a exploração de mananciais subterrâneos representa uma grande parte do abastecimento de água, especialmente em estados como Piauí, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Pará, Amazonas, Roraima, Tocantins, e nas regiões Oeste de São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul. No total, as reservas renováveis de águas subterrâneas no país são significativas, representando uma parte considerável da disponibilidade hídrica, como mencionado por Goetten; Ramos; Bohn (2017).

De acordo com o relatório da rede de monitoramento (Imasul, 2023), o Sistema Aquífero Guarani é um dos maiores aquíferos da América do Sul, abrangendo áreas transfronteiriças entre os estados de Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, no Brasil, e os países Uruguai, Paraguai e Argentina. Em Mato Grosso do Sul, encontrase cerca de 18% da área total do aquífero e 25% da área brasileira. Este sistema é composto por rochas arenosas da Região Hidrográfica do Paraná, incluindo os Grupos Rosário do Sul e Pirambóia no Brasil, Buena Vista no Uruguai, Formações Botucatu no Brasil, além das Formações Missiones no Paraguai e Tacuarembó no Uruguai e Argentina. A espessura das rochas que formam o aquífero pode atingir até 800 metros, sendo superior a 600 metros em Mato Grosso do Sul, próximo dos municipios de Campo Grande. O aquífero é uma fonte essencial de abastecimento para diversas cidades do Estado, como Campo Grande e São Gabriel do Oeste.

Estendendo-se por uma vasta área que abrange partes do Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai, o aquífero ocupa uma extensão significativa no território brasileiro, com destaque para os Estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. Ele é um dos principais responsáveis pelo abastecimento de água potável para milhões de pessoas e para a atividade agrícola e industrial. A água subterrânea do Sistema Aquífero Guarani é caracterizada por ser de boa qualidade, em sua maioria, com características favoráveis para consumo humano, irrigação e outros usos (Goetten; Ramos; Bohn, 2017; Imasul, 2023).

No entanto, a crescente pressão sobre os recursos hídricos e a intensificação das atividades humanas na região, especialmente com o aumento da agricultura, pecuária e urbanização, têm gerado preocupações sobre os impactos dessas mudanças no uso e cobertura da terra sobre a qualidade da água subterrânea. Mudanças no uso da terra podem afetar a quantidade e a qualidade da água do aquífero, especialmente devido à introdução de poluentes provenientes de atividades como o uso excessivo de fertilizantes e pesticidas na agricultura, o descarte inadequado de resíduos industriais e urbanos e a expansão das áreas urbanas.

Essas atividades têm potencial para alterar o equilíbrio ecológico das áreas de recarga do aquífero, que são as regiões onde a água da superfície infiltra-se no solo, recarregando os aquíferos subterrâneos. A modificação desses ambientes naturais, muitas vezes por meio do desmatamento, do cultivo intensivo de monoculturas ou da construção de infraestruturas urbanas, pode comprometer a capacidade de recarga do aquífero e aumentar a vulnerabilidade da água subterrânea à contaminação (Foster et al., 2013).

Portanto, entender como essas mudanças no uso da terra impactam a qualidade da água subterrânea no Sistema Aquífero Guarani/MS é fundamental para a implementação de estratégias de gestão integrada dos recursos hídricos. A análise de dados de uso da terra, qualidade da água e práticas de manejo agrícola e urbano pode fornecer informações valiosas para identificar as áreas mais vulneráveis à degradação da qualidade da água, permitindo que medidas preventivas e corretivas sejam tomadas.

Além disso, é importante destacar que, devido à natureza transnacional do Aquífero Guarani, a gestão da água subterrânea deve ser realizada de forma integrada entre os países que compartilham esse recurso. Isso implica na necessidade de estabelecer políticas públicas e acordos regionais que promovam a conservação do aquífero, incentivando práticas de uso sustentável da terra, monitoramento contínuo da qualidade da água e promoção de tecnologias limpas e sustentáveis.

Este estudo também visa destacar a importância da educação e conscientização das populações locais sobre a preservação da qualidade da água subterrânea, especialmente em áreas rurais e periurbanas, onde as práticas de manejo inadequado podem ter efeitos significativos sobre a saúde pública e a sustentabilidade ambiental.

Então, a caracterização ambiental do Sistema Aquífero Guarani/MS e a análise do uso da terra são cruciais para garantir que a qualidade da água subterrânea seja preservada, promovendo a sustentabilidade dos recursos hídricos e a segurança hídrica para as futuras gerações. O conhecimento das interações entre o uso da terra e a qualidade da água é um passo fundamental para a construção de um modelo de gestão hídrica mais eficiente e responsável.

QUESTÃO CENTRAL

Como está o uso da terra nas áreas de afloramento do Sistema Aquífero Guarani- MS (SAG/MS)? Existe monitoramento de qualidade das águas nestas áreas?

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Caracterizar a área do Sistema Aquífero Guarani/MS (SAG/MS), bem como analisar as mudanças no uso e cobertura da terra, a fim de contribuir para a gestão e proteção dos recursos hídricos subterrâneos.

Objetivos Específicos

- Verificar as mudanças no uso e cobertura da terra nos anos de 2002, 2012, 2018 e 2022 do Aquífero Guarani/MS;
- Analisar os resultados de qualidade da água subterrânea no período de 2018 a 2022, a partir monitoramento dos poços feito pelo IMASUL/MS;
- Identificar possível influência entre o uso da terra e a contaminação dos recursos hídricos no SAG/MS.

HIPÓTESE INICIAL

A intensificação das atividades agrícolas e industriais na região de influência do Aquífero Guarani aumenta o risco de contaminação das águas subterrâneas por agroquímicos, fertilizantes, resíduos industriais e outros poluentes, bem como atividade industriais poluem com gases de efeito estufa como: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), nitrogênio (N_2)

etc... devido a aplicação inadequada dessas substâncias e a ausência de prática de gestão ambiental.

Essa hipótese inicial sugere que as atividades humanas, como a agricultura e a indústria, são fatores chave que podem contribuir significativamente para a contaminação das águas subterrâneas do Aquífero Guarani. A aplicação excessiva ou inadequada de produtos químicos agrícolas, o descarte inadequado de resíduos industriais e a falta de medidas de proteção ambiental podem aumentar a vulnerabilidade do aquífero à poluição.

Essa hipótese será utilizada como ponto de partida para investigações mais aprofundadas, levantamento de dados, análises e estudos de caso para avaliar a sua validade e entender melhor os fatores que influenciam a avaliação da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas no Sistema Aquífero Guarani.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 - Águas Subterrâneas de Mato Grosso do Sul e o Sistema Aquífero Guarani (SAG)

De acordo com Camponogara (2006), a água subterrânea refere-se à água que se encontra abaixo da superfície terrestre, ocupando os espaços entre os grãos das rochas sedimentares ou as fissuras das rochas mais compactas. Essa água é influenciada por duas forças principais: a adesão e a gravidade, e desempenha um papel crucial na preservação da umidade do solo, além de contribuir para o fluxo de rios, lagos e brejos.

Ela faz parte do ciclo hidrológico, que é o processo natural que permite que a água da chuva se mova do oceano para a atmosfera e, em seguida, para os continentes, retornando ao oceano, tanto pela superfície quanto pelo subsolo. Esse ciclo é impulsionado pela gravidade, pelo tipo de vegetação e pelas condições climáticas, como temperatura, ventos e umidade, que afetam a movimentação da água entre os oceanos e a atmosfera em diferentes regiões.

> A água subterrânea é a maior reserva de água doce facilmente acessível. Entretanto, muitos reservatórios de água subterrâneos são essencialmente água “fóssil”, que foi armazenada durante períodos geológicos anteriores e mais úmidos, que agora não está sendo recarregada. Água subterrânea é aquela que se infiltra nos solos e nas rochas, caminhando até o nível hidrostático. Sua utilização cresce ano após ano, apresentando vantagens em relação à água superficial, como: não ocupa espaço em superfície; sofre menor influência nas variações climáticas; é passível de extração perto do local de uso; tem temperatura constante; tem maior quantidade de reservas; tem melhor qualidade (física, química, biológica), tem proteção contra agentes poluidores; os poços são construídos à medida que é necessária mais água; e outras (Campanogara, 2006, p.27).

As águas subterrâneas são as águas que infiltram no solo e nas rochas fissuradas, atingindo o nível hidrostático do lençol freático.

A água subterrânea é composta por reservas que ficam armazenadas em rochas porosas e permeáveis abaixo da superfície. Apesar de estarem no subsolo, elas não estão separadas do ciclo da água, mas interagem com os corpos d'água superficiais. Embora estejam distribuídas por todo o Brasil, essas reservas apresentam grande diversidade devido à variação na composição das rochas subterrâneas.

No Brasil, os aquíferos desempenham um papel crucial na manutenção da perenidade de muitos rios, garantindo que não sequem durante a estação seca. Devido à sua relativa abundância, eles fornecem uma parte significativa da água potável disponível, que pode ser utilizada para o consumo humano, além de aplicações industriais, agrícolas e outros usos.

O sistema Aquífero Guarani é um dos sistemas transfronteiriços mais confinado do mundo, composto por diferentes tipos de rochas da bacia geológica sedimentar como arenitos, siltitos, argilas ou misturas em proporções variadas desses tipos litológicos com maior percentual de área no Brasil, como mencionado em Rebouças; Amore (2002, p. 138).

> O espaço confinado do sistema aquífero transfronteiriço ocupa uma área de 839,8 mil km^2 no Brasil, 225,5 mil km^2 na Argentina, 71,7 mil km^2 no Paraguai e 58,5 mil km^2 no Uruguai, que totalizam uma área de 1.195,5 mil km^2.

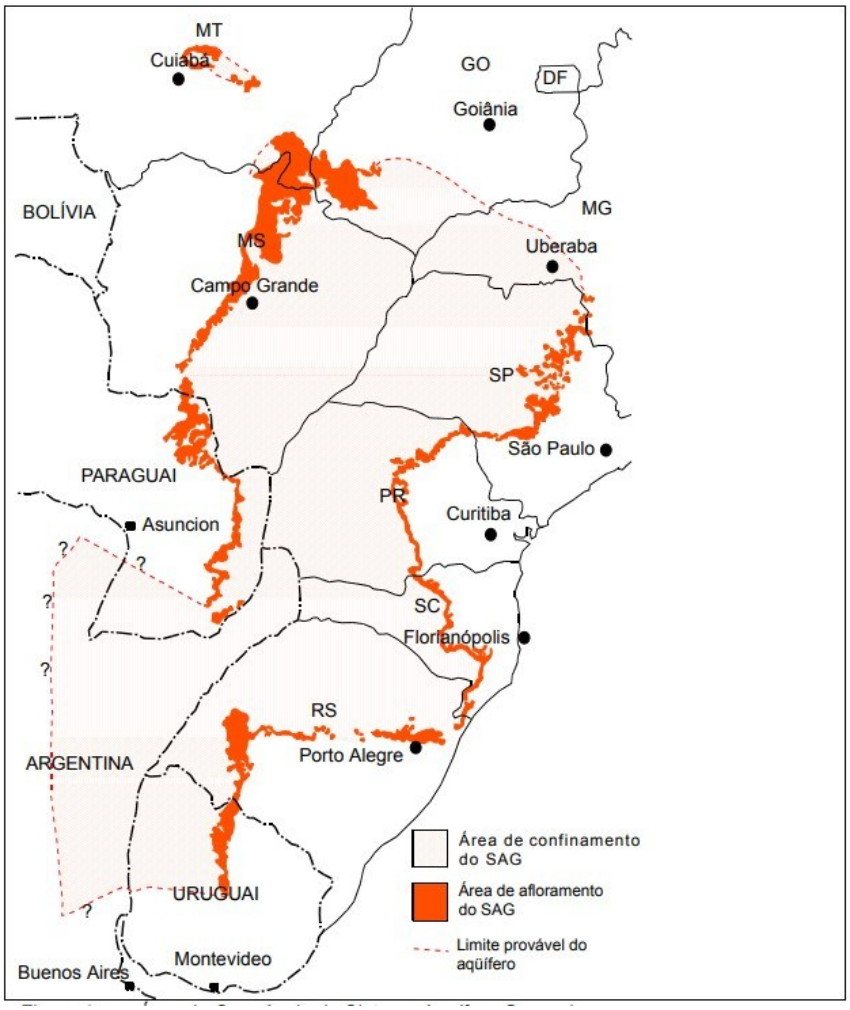
Desta forma, a parte confinada de todo o Aquífero Guarani é da ordem de 71% no Brasil, 19,1% na Argentina, 6,1% no Paraguai e 3,8% no Uruguai (OEA, 2009).

De acordo com Rebouças; Amore (2002), as águas subterrâneas, por vezes salobras, podem, portanto, ser encontradas em sedimentos (teor total de sólidos dissolvidos -STD - entre 1000 e 10.000 mg/L), por vezes salgadas (STD superior a 10.000 mg/L).

No Brasil, o Estado de Mato Grosso do Sul detém a maior área do Aquífero Guarani (25%), conforme citado por Araújo; França; Poter (2003, p. 319):

> O sistema aquífero Mercosul abrange uma área de cerca de 839.800 km2 na Bacia do
> Paraná e está presente em partes de sete estados brasileiros: Mato Grosso do Sul (MS, 213.200 km^2), Rio Grande do Sul (RS, 157.600 km^2), São Paulo (SP, 155.800 km^2), Paraná (PR, 131.300 km^2), Goiás (GO, 55.000 km^2), Minas Gerais (MG, 51.300 km^2), Santa Catarina (SC, 49.200 km^2) e Mato Grosso (MT, 26.400 km^2). O aquífero também cobre cerca de 355.700 km^2 na parte oriental da Bacia do Chaco-Paraná na Argentina (225.500 km^2), Paraguai (71.700 km^2) e Uruguai (58.500 km^2), conforme figura 1.

Figura 1: Área de Ocorrência do Sistema Aquífero Guarani



Fonte: Rosa Filho et al. (2003, p. 93).

Segundo Gomes et al. (2003) no Estado de Mato Grosso do Sul, a área de afloramento do Aquífero Guarani representa aproximadamente 31.000 km^2 e se localiza na região Nordeste e parte da região Sudoeste, entre latitudes 17º00' e 20º00' S e longitudes 53º00' e 55º00' W, ocupando quase toda a extensão da bacia hidrográfica do Alto Taquari (municípios de São Gabriel do Oeste, Coxim, Camapuã, Alcinópolis e Pedro Gomes).

No que se refere à exploração de água do Aquífero Guarani, a Sanesul - Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul têm 110 poços distribuídos conforme a seguir:

> Em MS o Aquífero Guarani é explorado pela Sanesul em 110 poços, distribuídos nos seguintes municípios e distritos de MS: Alcinópolis, Amambai, Aparecida do Taboado, Caarapó, Camapuã, Dourados, Dois Irmãos do Buriti, Douradina, Figueirão, Inocência, Itahum (Dourados), Itaporã, Laguna Caarapã, Macaúba, Maracaju, Montese (Itaporã), Nioaque, Nova América (Caarapó), Panambi (Dourados), Paranaíba, Picadinha (Dourados), Piraporã (Itaporã), Ponta Porã, Prudêncio Thomaz (Rio Brilhante), Quebra-Côco (Sidrolândia), Rio Brilhante, Sidrolândia, Terenos. Também em Boqueirão (Jardim), Capão Seco (Sidrolândia),

> Cassilândia, Coronel Sapucaia, Capão Bonito (Sidrolândia), Jauru (Coxim), São João do Aporé (Paranaíba), Vista Alegre (Maracaju). Também em Juti (poço em perfuração) e em Campo Grande, no Complexo Maria Cecília (SANESUL, 2024).

É importante ressaltar que as águas subterrâneas possuem vulnerabilidade de contaminação considerando-se vários aspectos (físicos, biológicos, econômicos), conforme Pinto (2016, p. 06):

> A vulnerabilidade das águas subterrâneas é uma propriedade não medida diretamente, baseando-se na avaliação de diversos parâmetros que variam entre as regiões em função do ambiente físico que as caracteriza. Os principais parâmetros de vulnerabilidade estão associados com as configurações hidrológicas e geológicas, com as propriedades hidráulicas do sistema de águas subterrâneas, com o clima e com a topografia.

De acordo com Foster et al. (2009, p.9) o nível de vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas no sistema aquífero Guarani varia com a profundidade do aquífero e o mesmo ocorre com o grau de fraturamento dos basaltos sobrejacentes. Neste caso pode ser classificado da seguinte forma: "moderada a alta".

> Potenciais ameaças à excelente qualidade original das águas subterrâneas na área de recarga do Aquífero Guarani correspondem a:
> - urbanização e infiltração de efluentes urbanos domésticos;
> - áreas industriais e o armazenamento e manipulação inadequados de químicos perigosos, além da deposição incorreta de efluentes líquidos e sólidos; • intensificação do cultivo agrícola e reflorestamento.

De acordo com Crispim et al. (2014, p. 2-3), o Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Estado de Mato Grosso do Sul possui uma reserva hídrica muito significativa. O SAG, juntamente com o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), que consiste em um aquífero fissural associado a rochas vulcânicas, compõe uma importante fonte de água subterrânea na região. No Estado de Mato Grosso do Sul, a zona de desfloração do Aquifero Guarani é densamente povoada, e produz uma redução de 25% da água que está à disposição da população ao nível do sistema aquífero (SAG e SASG).

> As variações nos municípios do Estado se devem, total ou parcialmente, ao SAG e ao SASG, localizados entre Campo Grande, Dourados, Ponta Porã, Cassilândia, Inocência, Camapuã, Caarapó e Itaporã. Esses sistemas podem aumentar a vulnerabilidade à contaminação. Pesquisas sugerem que houve manipulação e contaminação de dentro. A qualidade da água subterrânea está relacionada com a atividade antrópica, a profundidade dos poços, os tipos de poços e a distância entre fossas e poços (Crispim et al.;2014, p. 2-3).

O estudo de Crispim et al. (2014) mostrou que, em 66 amostras analisadas nos poços do Sistema Aquífero Guarani e do Sistema Aquífero Serra Geral, 61% apresentaram contaminação por coliformes totais e 33% por *E. coli*. Nos primeiros 5 metros de profundidade,

foram detectados 90% de coliformes e 60% de *E. coli*; porém, aos 16 metros, os índices caíram para 28% de coliformes e 5% de *E. coli***.**

De acordo com Santos et al., (2024), como o solo é um dos melhores filtros naturais, as águas subterrâneas tornam-se menos vulneráveis à poluição do que as águas superficiais, porque eliminam certas impurezas. No entanto, a poluição das fontes de água subterrânea pode ocorrer de forma ainda mais lenta, principalmente devido às descargas de esgotos e lixiviados gerados pela acumulação de resíduos, fugas de combustíveis e produtos químicos provenientes de pesticidas e fertilizantes utilizados na agricultura. Esta qualidade do recurso hídrico é condicionada pelas suas características físicas, químicas e biológicas, como turbidez, pH, patógenos e concentração de substâncias químicas.

As águas subterrâneas referem-se àquelas que são naturalmente reabastecidas pela infiltração da água da chuva, neblina e neve, especialmente nas áreas continentais e, de forma mais específica, dentro de uma bacia hidrográfica. Estima-se que existam cerca de 10 milhões de km³ dessas águas, que geralmente se encontram até uma profundidade de 1000 metros, movendo-se lentamente pelo solo e subsolo. Durante períodos de estiagem, essas águas podem fluir para corpos d'água. De acordo com Camponogara (2006), esses processos são fundamentais para a manutenção dos recursos hídricos subterrâneos.

No Estado de Mato Grosso do Sul, cerca de uma centena de poços tubulares profundos captam água do Sistema Aquífero Guarani para abastecimento público, rural e industrial, o que corresponde ao fornecimento de aproximadamente 47.000.000 m^3/ano de água para a população do estado, com vazões variando de poucos metros cúbicos a 320m^3/h Gastmans; Kiang (2005).

Desta forma,

> De acordo com Zoby (2008, p.2). A disponibilidade hídrica subterrânea e a produtividade de poços são geralmente os principais fatores determinantes na explotação dos aquíferos. Em função do crescimento descontrolado da perfuração de poços tubulares e das atividades antrópicas, que acabam contaminando os aquíferos, a questão da qualidade da água subterrânea vem se tornando cada vez mais importante para o gerenciamento do recurso hídrico no país.

Assim, de acordo com a Constituição Federal, a gestão e a autorização para o uso das águas subterrâneas são de competência dos Estados. A partir da promulgação da Lei Estadual

n. 2.406, de 2002, o Mato Grosso do Sul instituiu sua Política Estadual de Recursos Hídricos e criou Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos seguindo os mesmos princípios e diretrizes estabelecidas na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997).

2.3 – Aspectos legais sobre a proteção dos recursos hídricos subterrâneos no Brasil e no Mato Grosso do Sul

A apresentação dos marcos legais permite compreender o fenômeno da exploração dos recursos hídricos no Brasil sob uma perspectiva jurídica e questionar a situação atual em relação a essas leis e decretos.

2.3.1 Política Nacional de Recursos Hídricos: Lei 9433/1997

Esta legislação estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos, bem como o Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos, que, segundo o seu artigo 1º, se baseia nos seguintes princípios (Brasil, 1997):

- A água é um bem público;
- A água é um recurso natural finito com valor econômico, social e ambiental;
- Em períodos de escassez, a utilização primordial dos recursos hídricos é para o consumo humano e a sede dos animais;
- A administração dos recursos hídricos deve sempre garantir o uso diversificado das águas.
- A bacia hidrográfica é o espaço geográfico para a implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos e a atuação do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

A administração dos recursos hídricos deve ser descentralizada e envolver a participação do governo, dos usuários e da sociedade civil.

No que se refere ao uso das águas subterrâneas no Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos, ressalta que a outorga de direitos de uso de recursos hídricos, está sujeita ao Poder Público conforme o Inciso II, Art. 2º “a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo está sujeita” (Brasil, 1997).

A mesma Lei, no Art. 49, também regulamenta o que constitui infração das normas de utilização de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos (Brasil, 1997):

> I - iniciar a implantação ou implantar empreendimento relacionado com a derivação ou a utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, que implique alterações no regime, quantidade ou qualidade dos mesmos, sem autorização dos órgãos ou entidades competentes;
>
> II - perfurar poços para extração de água subterrânea ou operá-los sem a devida autorização;

O princípio da racionalização do uso da água (e do uso de solo, subsolo e ar) também está previsto na Lei 6.938/81, que institui a política ambiental nacional.

No Art. 50 apresenta como penalidade: "IV - embargo definitivo, com revogação da outorga, se for o caso, para repor incontinenti, no seu antigo estado, os recursos hídricos, leitos e margens, nos termos dos arts. 58 e 59 do Código de Águas ou tamponar os poços de extração de água subterrânea" (Brasil, 1997).

O artigo 4º, VII, desta lei também prevê, entre os objetivos da Política Nacional do Meio Ambiente, a "imposição" ao usuário da contribuição pela utilização dos recursos ambientais para fins econômicos. Trata-se essencialmente da incorporação, na legislação ambiental brasileira, do princípio do usuário-pagador, já consagrado na legislação de vários países, das mais diversas formas

2.3.2 Plano Nacional de Recursos Hídricos

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), é uma ferramenta que os líderes utilizam como guia para gerir os recursos hídricos no Brasil. Seus objetivos são orientar e formar programas que constituem o PNRH que poderão construir um conjunto de processos de mobilização e participação social, portanto o documento final deverá ser aprovado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituído pela Lei nº 9.433/97, é um dos instrumentos que orienta a gestão das águas no Brasil. Todas as diretrizes, objetivos e programas que compõem o PNRH foram desenvolvidos através de um amplo processo de mobilização e participação social.

O primeiro Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, foi aprovado em janeiro de 2006, por meio da Resolução CNRH nº 58/2006, com horizonte temporal até 2020 e previsão de revisões a cada quatro anos, para orientar o Planejamento Plurianual do Governo Federal,

dos Estados e do Distrito Federal. No mesmo ano, aprovou a Estratégia de Implementação do PNRH, por meio da Resolução CNRH nº 67/2006. Em setembro de 2020, por meio da RESOLUÇÃO CNRH 216, foi prorrogado o prazo de vigência do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e respectivas prioridades e metas estabelecidas para o ciclo 2016-2020, até 31 de dezembro de 2021 (Brasil, 2006; 2020).

A primeira revisão do plano estabeleceu 22 prioridades para o período de 2012 a 2015, conforme a Resolução CNRH nº 135/2011, que foram incorporadas ao Plano Plurianual (PPA) 2012-2015 do Governo Federal, especificamente no Programa 2026 - Conservação e Gestão dos Recursos Hídricos, orientando as ações da ANA e do MMA. Na segunda revisão, aprovada pela Resolução CNRH nº 181/2016, os programas e subprogramas do PNRH 2006 foram organizados em 16 temas, com 71 metas e 45 ações a serem cumpridas até 2020. Foram também identificadas estratégias para melhorar a gestão e monitorar a implementação das ações propostas, utilizando indicadores de desempenho, além de recomendações para a execução do PNRH em 2021 e para a elaboração do PNRH 2022-2040 (Brasil, 2011; 2016).

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (2022-2040) é um integrador de esforços provenientes de diferentes setores da sociedade, com o objetivo principal de ser uma orientação geral que dá uma direção coesa e coerente aos diálogos sobre necessidades, usos e gestão de recursos hídricos, tornando-se uma agenda da água no Brasil.

O objetivo geral do Plano é “estabelecer um pacto nacional para definir diretrizes e políticas públicas que visem melhorar o abastecimento de água, tanto em quantidade quanto em qualidade, para gerenciar a demanda e considerar a água como elemento fundamental para a implementação de políticas setoriais, desde a perspectiva do desenvolvimento sustentável e da inclusão social”. Os objetivos específicos incluem:

1) melhorar a disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas, em termos de qualidade e quantidade;

2) reduzir os conflitos reais e potenciais relacionados com o uso da água, bem como eventos hidrológicos críticos; e

3) promover a percepção da conservação da água como um importante valor socioambiental (Brasil, 2022).

Os cenários do PNRH ajudam na análise das estratégias que devem ser desenvolvidas no processo de planejamento para a gestão dos recursos hídricos no Brasil. Assim, a avaliação

dos cenários futuros se torna fundamental. O objetivo do PNRH é antecipar as possibilidades, os desafios e os conflitos que podem surgir. O SINGREH deve ser convocado para agir na mitigação de impactos negativos, facilitando a organização dos envolvidos e ressaltando as oportunidades (Brasil, 2020; 2021; 2022).

2.3.3 Classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas:
RESOLUÇÃO CONAMA no 396/2008

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) número 396 de 03 de abril de 2008 dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Além disso, essa resolução também estabelece diretrizes para a prevenção e o controle da poluição das águas subterrâneas. Seguente a Resolução 396/2008 representa um marco histórico na gestão de águas subterrâneas

A gestão dos corpos hídricos estabelece o nível de qualidade a ser alcançado ou mantido ao longo do tempo. Mais do que uma simples classificação, o quadro deve ser visto como um instrumento de planejamento, pois deve basear-se nos níveis de qualidade que devem ser possuídos ou mantidos para atender às necessidades estabelecidas pela sociedade e não apenas no estado atual do corpo de água em questão. O marco visa “garantir a qualidade da água compatível com os usos mais exigentes a que se destina” e “reduzir os custos de combate à poluição hídrica, por meio de ações preventivas permanentes” **(**Brasil, 1997, art. 9º).

A classe de classificação de um corpo d’água deve ser definida em pacto firmado pela sociedade, levando em consideração as prioridades de uso da água. A discussão e implementação deste pacto ocorre no âmbito do Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (Singreh). O quadro é uma referência para outros instrumentos de gestão de recursos hídricos (concessão e tarifação) e instrumentos de gestão ambiental (licenciamento e monitorização), constituindo assim um importante elo entre Singreh e o sistema ambiental nacional.

De acordo da resolução CONAMA no 396, de 03 de abril de 2008, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), com base nas atribuições previstas no artigo 8º, inciso VII,

da Lei nº 6.938/1981 e considerando seu Regimento Interno, resolve, por meio do Processo nº 02000.003671/2005-71, regulamentar a qualidade das águas subterrâneas.

1. Águas Subterrâneas como Bens Estaduais: A Constituição Federal define as águas subterrâneas como bens pertencentes aos Estados, e a Lei nº 6.938/1981 tem como objetivo garantir a preservação e melhoria da qualidade ambiental, estabelecendo padrões e controlando atividades que possam poluir os recursos naturais.
2. Enquadramento dos Corpos Hídricos: A Lei nº 9.433/1997, que trata da Política Nacional de Recursos Hídricos, exige que os corpos de água sejam classificados de acordo com seus principais usos. As agências responsáveis pelas bacias hidrográficas devem propor essa classificação aos Comitês de Bacias Hidrográficas.
3. Características das Águas Subterrâneas: As águas subterrâneas possuem características próprias, tanto físicas quanto químicas, que exigem um tratamento específico. Essas águas podem se estender além dos limites das bacias hidrográficas, o que torna necessário um sistema de classificação que leve em consideração essas especificidades.
4. Importância da Proteção: É essencial prevenir a poluição das águas subterrâneas, pois a sua recuperação, caso contaminadas, é demorada e custosa. O enquadramento das águas subterrâneas em classes de qualidade é um meio de estabelecer metas para a proteção e controle da qualidade, com possíveis metas progressivas para garantir a efetividade do processo.

O CONAMA busca regulamentar a qualidade das águas subterrâneas no Brasil, por meio de um sistema de classificação que oriente a preservação, o uso responsável e a proteção contra a poluição, a fim de assegurar a sustentabilidade desses recursos naturais essenciais.

A Lei 9.433/97 e a Resolução 396/2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente são os principais instrumentos legais que orientam toda as atividades que possam impactar, direta ou indiretamente, os recursos hídricos, com ênfase nas águas subterrâneas.

Por não serem visíveis, as águas subterrâneas são um recurso hídrico que, ao mesmo tempo, é mais resistente às ações humanas, mas também mais vulnerável. Embora menos expostas aos riscos de poluição do que as águas superficiais, sua contaminação pode ocorrer de forma silenciosa e, em alguns casos, o processo de poluição pode se tornar irreversível ao longo do tempo.

2.3.4 Política Estadual de Recursos Hídricos

A Política Estadual de Recursos Hídricos é uma lei criada em 26 de novembro de 1999 para estabelecer um sistema nacional de gestão de recursos hídricos que define como seguinte:

- A água é um bem de domínio público;
- A água é um recurso natural limitado dotado de valor econômico, social e ambiental;
- Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

2.3.5 Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul (PERH-MS)

O Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul (PERH-MS), adotado em 2009, serve de apoio à tomada de decisão e orientação ao gestor da questão hídrica no país. No entanto, existem muitos desafios na implementação de medidas de gestão. Diferentes particularidades da legislação de Mato Grosso do Sul, como a ausência de taxação sobre o uso da água pelo setor agropecuário e agroindustrial, as mudanças institucionais no Conselho Superior de Recursos Hídricos e a ausência de clareza nas responsabilidades entre o órgão responsável e o órgão executivo da Política de Recursos Hídricos do Estado, são obstáculos à implementação e operação do Sistema Estadual de Recursos Hídricos de MS.

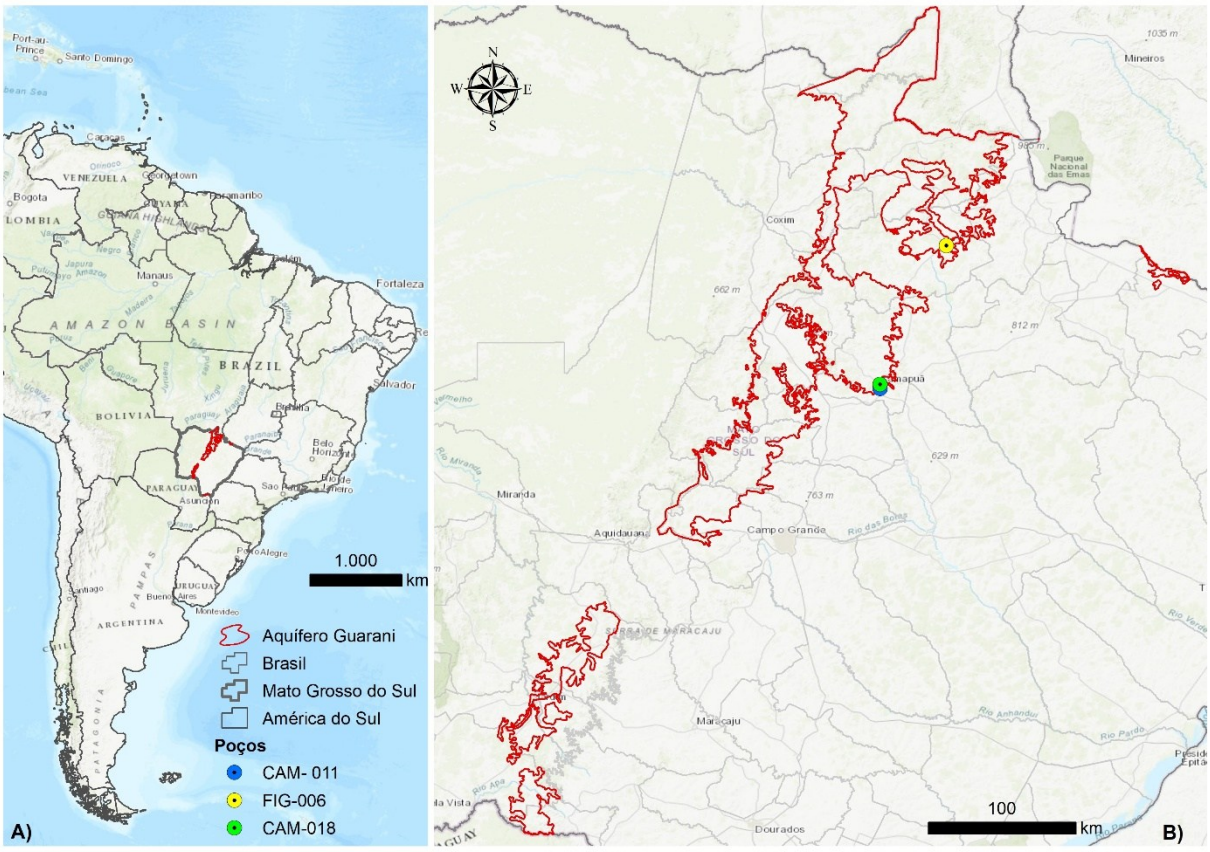
O Conselho de Recursos Hídricos é o órgão superior consultivo e deliberativo. A Secretaria de Meio Ambiente, Cidades, Planejamento e Ciência e Tecnologia (SEMAC) é a entidade responsável pela gestão do órgão, de gestão pública encarregada da administração, o Instituto Mato Grosso do Sul (IMASUL) é o responsável pela execução.

3.– CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 – Localização da área em estudo

Definiu-se como área de estudo as áreas de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG), uma vez que as áreas de confinamento do aquífero são sobrepostas por outros Sistemas Aquíferos. Assim, a área está localizada na porção central do Estado de Mato Grosso do Sul, estendendo-se de norte a sul, com aproximadamente 21.449,1 km^2 de extensão (Mapabiomas, 2023).

Figura 2: Localização da área em estudo no Brasil (A) e no Mato grosso do Sul (B)



Elaboração: Elias Rodrigues da Cunha, 2025.
Fonte: BDia/IBGE, 2025

3.2 Geologia

O Sistema Aquífero Guarani é formado por várias formações geológicas que datam do Triássico, do Jurássico e Cretáceo Inferior, da Bacia do Chaco-Paraná correspondentes às

Formações Pirambóia e Botucatu no Brasil, Missiones no Paraguai e na Argentina, além da Formação Taquarembó no Uruguai (Soares, et al. 2016).

De acordo com Banco de Dados e Informações Ambientais (Bdia/IBGE, 2021) a Formação Botucatu é composta por:

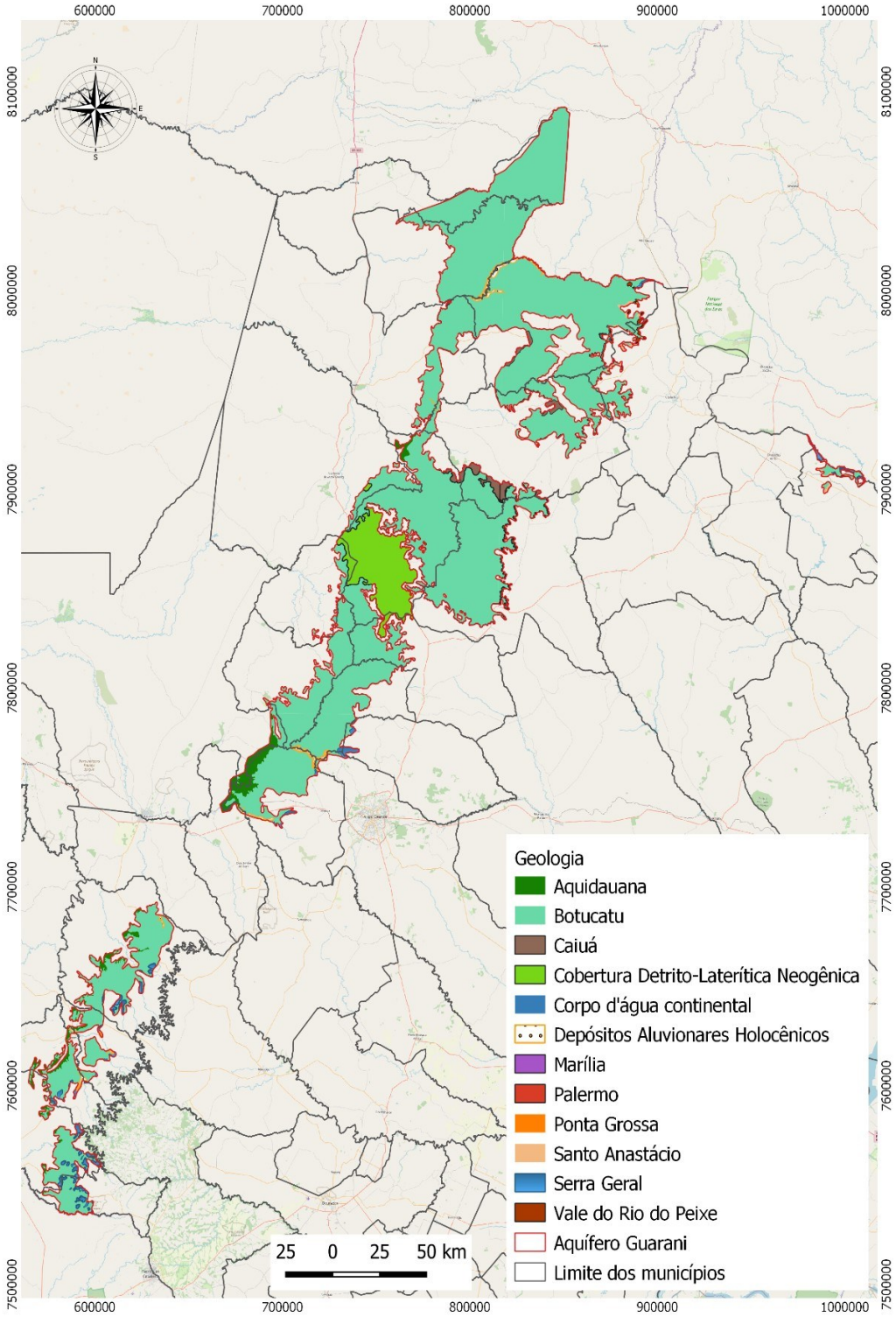
> Arenito fino a grosso de coloração avermelhada, grãos bem arredondados e com alta esfericidade, dispostos em sets ou cosets de estratificações cruzadas de grande porte; ambiente continental desértico: depósito de dunas eólicas. Arenitos avermelhados, finos a muito finos, bem selecionados, típicos de sedimentação eólica em ambiente desértico (Figura 3).

Figura 3: Formação Botucatu (MS)

Fonte: ENGECORPS e ANA (2016)

Na figura 3 é possível verificar a predominância da Formação Botucatu, seguida da unidade Cobertura Detrito-Laterítica Neogênica que englobaram os extensos depósitos eluviais, coluviais e colúvio-aluviais laterizados que ocorrem nas chapadas e chapadões. Também ocorrem áreas da Formação Aquidauana, que consiste em sedimentos de coloração vermelha arroxeada podendo ser identificados, grosseiramente, três intervalos litológicos. Em quarto lugar aparece a Formação Caiuá, um arenito de cor avermelhado tijolo, composto por grãos de areia de quartzo de granulação média de forma irregular, lisos e cimentados por óxido de ferro (Bdia/IBGE, 2021).

Figura 4: Formações geológicas na área de afloramento do SAG/MS No Estado de Mato Grosso do Sul



Elaboração: Elias Rodrigues da Cunha, 2025.
Fonte: BDia/IBGE, 2021

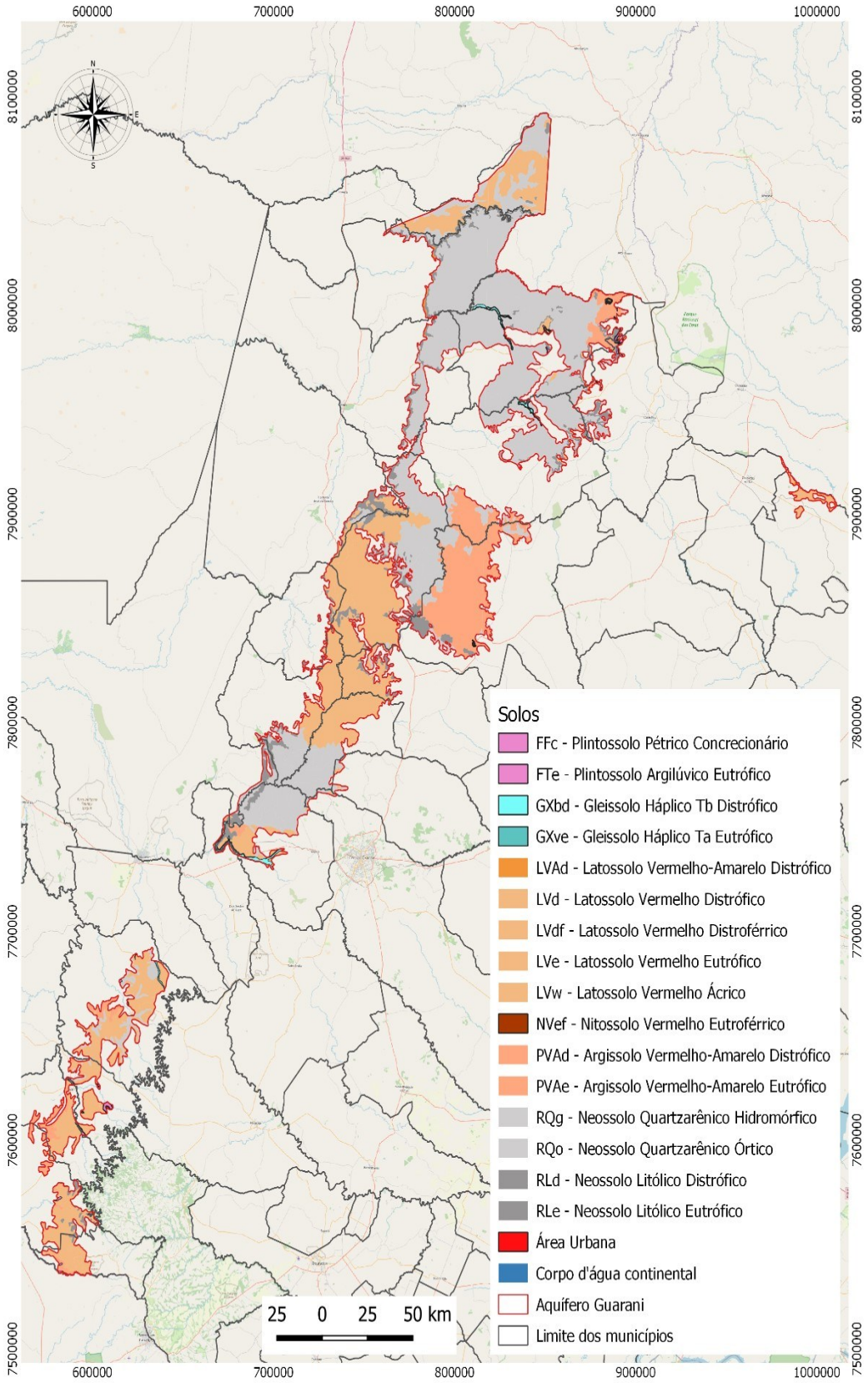
Desta forma, observa-se que as formações geológicas que recobrem a área de afloramentos do SAG são de natureza sedimentar/arenosa, o que propicia maior risco de contaminação das águas.

A área de afloramento do Aquífero Guarani é crucial para a recarga natural do sistema aquífero. Nessas regiões, a água da chuva e dos rios pode infiltrar-se diretamente no aquífero, repondo os volumes de água subterrânea. Além disso, o entendimento das formações geológicas nessa área é fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos, evitando a superexploração e a contaminação.

3.1.2 Pedologia

Em relação aos solos, observa-se na figura 5 a predominância de ocorrência de neossolos: Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, caracterizado como solos jovens, pertencente ao grupamento de solos pouco evoluídos, sem horizonte B diagnóstico definido. Solos de textura arenosa desprovida de minerais alteráveis. Presença de lençol freático elevado na maior parte do ano, na maioria dos anos; Neossolo Quartzarênico Órtico, conotativo de solos jovens, em início de formação. Grupamento de solos pouco evoluídos, sem horizonte B diagnóstico definido. Solos com horizontes A, C + contato lítico além de 50cm da superfície + 4% de minerais alteráveis ou 5% de fragmentos de rocha. Também se observa a ocorrência de Latossolos como o Latossolo Vermelho-Amarelo Distroférrico, que corresponde ao material altamente alterado, Grupamento de solos com horizonte B latossólico. Solos de cor vermelho-amarela. Apresentam saturação por bases menor que 50% (Bdia/IBGE, 2021).

Figura 5: Ocorrência de solos na área de afloramento do SAG/MS No Estado de Mato Grosso do Sul



Elaboração: Elias Rodrigues da Cunha, 2025.
Fonte: BDia/IBGE, 2021

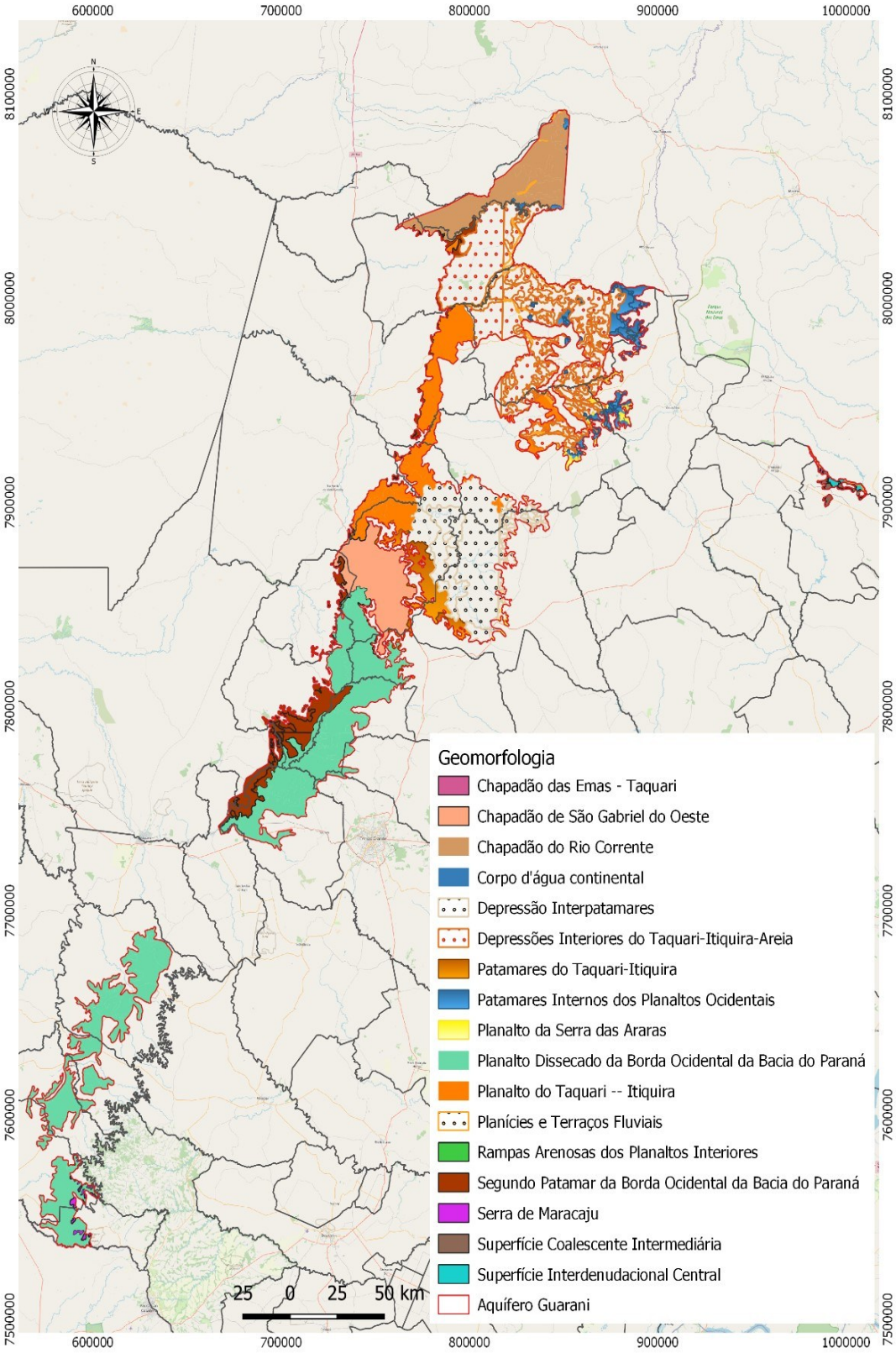
A ocorrência dos tipos de solos acima citados tem relação com predominância de formações geológicas com presença de arenitos na maior parte da área de afloramento do SAG.

3.1.3 Geomorfologia

Na figura 6, verifica-se a distribuição das unidades geomorfológicas na área de afloramento do SAG.

Observa-se a predominância de ocorrência do Planalto Dissecado da Borda Ocidental da Bacia do Paraná que se estende no sentido centro-sul da área do SAG, que representa a borda ocidental da Bacia Sedimentar do Paraná composta por sedimentos silurodevonianos e permocarboníferos onde dominam os arenitos finos, médios e grossos, com estratificações cruzadas, assim como siltitos, argilitos diamictitos e conglomerados mais restritos, compondo uma estrutura cuestiforme com orientação meridiana e reverso no sentido leste (Bdia/IBGE, 2021). Observa-se ainda áreas de depressões e patamares significativos na área.

Figura 6: Unidades geomorfológicas na área de afloramento do SAG/MS



Elaboração: Elias Rodrigues da Cunha, 2025.
Fonte: BDia/IBGE, 2021

É importante destacar a Unidade Chapadão de São Gabriel do Oeste que de acordo com Bdia/IBGE (2021, p. 23):

> Representa um relevo alçado com altimetrias em torno de 700m correspondendo a uma superfície pediplanada etchplanada (Pge) e degradada inumada (Pgi). A borda ocidental deste relevo, identificada como serra de São Gabriel é marcada por escarpas erosivas com desníveis de aproximadamente 100m. Modelados de dissecação de topos tabulares e convexos amplos inclinam-se para os vales muito abertos. Sobre as formas aplanadas e tabulares desenvolveram-se Latossolos Vermelho-Escuro, com uso intensivo de agricultura; nos vales ocorrem Cambissolos. Toda a área é dominada pela vegetação de Cerradão. A borda suloriental do chapadão apresenta coalesce gradualmente com o Planalto de Cristalina.

Assim, ao correlacionar geologia, pedologia e geomorfologia, verifica-se que a área de afloramento do SAG possui uma vulnerabildiade natural à possível contaminação de suas águas, que pode ser agravada com o tipo de uso da terra praticado na região.

O mapa geomorfológico destaca a diversidade de formas de relevo na região do Aquífero Guarani no Mato Grosso do Sul. Essas unidades geomorfológicas (chapadões, depressões, planaltos e planícies) são fundamentais para entender a dinâmica do aquífero, pois influenciam a recarga, o fluxo e a descarga da água subterrânea. Áreas como os chapadões e as rampas arenosas são particularmente importantes para a infiltração da água, enquanto as depressões podem ser zonas de descarga ou acumulação de sedimentos.

A presença de corpos d'água continentais e terraços fluviais também indica a interação entre o aquífero e os sistemas superficiais, o que é crucial para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

3.1.4.-HIDROGEOLOGIA DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI/MS

Os dados do SAG analisados neste trabalho foram extraídos dos registros de poços geridos pelas empresas de abastecimento de água, em particular a SANESUL, em Mato Grosso do Sul.

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos à partir de cadastros de empresas de perfuração que construíram poços para indústrias, propriedades rurais, clubes e outros usos, além de poços exploratórios de petróleo perfurados pela Petrobrás na região analisada. Segundo o relatório do IMASUL (2021), o Estado de Mato Grosso do Sul possui 69 poços cadastrados, dos quais apenas 13 estão captando água do aquífero Guarani, com maior

concentração nas áreas mais desenvolvidas, especialmente próximas a Campo Grande e Dourados.

Quanto à exploração do SAG no estado, estimativas indicam um volume extraído de 48 milhões de m³/ano (Chang, 2001), equivalente a 25% do abastecimento hídrico estadual, considerando operação de 20 horas/dia

4. METODOLOGIA

Para realizar este trabalho, utilizou-se abordagens qualitativas e quantitativas. Essa metodologia permitiu uma análise abrangente e integrada dos aspectos teóricos, legais e empíricos relacionados à qualidade das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani (SAG) em Mato Grosso do Sul.

4.1 – Procedimentos metodológicos

O trabalho foi desenvolvido em três etapas (Tabela 1): na primeira etapa foram realizados levantamentos bibliográficos, através de pesquisas documentais (livros, dissertações, artigos científicos, artigos de jornais, sites da internet etc.) sobre as águas subterrâneas de Mato Grosso do Sul e o Sistema Aquífero Guarani (SAG), bem como os aspectos legais das águas subterrâneas no Brasil e no Mato Grosso do Sul.

A segunda etapa do estudo foi realizada com a aquisição de dados secundários junto ao Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL) sobre a qualidade das águas subterrâneas do Aquífero, através da Rede de Monitoramento (2018 a 2022) bem como arquivos digitais de mapas dos bancos de dados BDia/IBGE, 2021 e MapBiomas Brasil (2002, 2012, 2012, 2018 e 2022).

Por fim, a integração e a compilação cartográfica feita através do software ArcGis, com análises integradas de toda as variáveis destacadas fundamentadas de acordo com os objetivos propostos.

Para contextualizar o tema com base em fundamentos teóricos, técnicos e legais, foram utilizadas:

- Fontes acadêmicas: Artigos científicos indexados (Scopus, Web of Science, SciELO, Google acadêmico etc.…), teses, dissertações e livros técnicos sobre hidrogeologia, qualidade de águas subterrâneas e gestão de recursos hídricos.
- Legais: Legislação federal (Lei nº 9.433/1997 – Política Nacional de Recursos Hídricos); Normas estaduais (Leis e Resoluções do IMASUL sobre outorga e monitoramento de águas subterrâneas)
- Institucionais: Relatórios técnicos da ANA (Agência Nacional de Águas), CPRM (Serviço Geológico do Brasil) e IMASUL.

- Mídia e bases de dados abertas: Dados complementares de órgãos ambientais e plataformas como SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos).

- Critérios de seleção:
  - ✓ Priorização de publicações dos últimos 5 anos (2018–2022), exceto para marcos legais e estudos clássicos.

Coleta e Tratamento de Dados Secundários

Obter dados representativos da qualidade da água do SAG no estado.

- Fontes de dados Secundários:
- ✓ IMASUL: Dados da Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas (2018–2022), incluindo:
  - (a) Parâmetros físico-químicos (pH, condutividade, turbidez).
  - (b) Concentrações de íons majoritários (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Cl^{-}, SO_4^{2-}) e contaminantes (NO_3^{-}, metais pesados).
  - (c) Dados de poços monitorados (localização, profundidade, vazão).

- ✓ Shapefiles georreferenciados: Limites do SAG, unidades hidrogeológicas e mapas de uso do solo.
- ✓ Tratamento dos dados:

1- Controle de qualidade: Eliminação de dados inconsistentes (valores ausentes ou fora de padrão).
2- Normalização: Conversão de unidades para padrões do CONAMA 396/2008.
3- Organização: Criação de planilhas estruturadas (Excel) para análise estatística.

- Análise Espacial e Integração dos Resultados

Correlação de dados hidroquímicos com fatores geográficos e antrópicos. Ferramentas utilizadas: ArcGIS 10.8: Para: Mapeamento temático (distribuição de parâmetros químicos).

Tabela 1: Etapas de realização das atividades da pesquisa

Etapa	Atividades	Ferramentas/Recursos	Período
Etapa1	Levantamento bibliográfico e pesquisa documental - Foco: Águas subterrâneas, SAG e aspectos legais	Livros, artigos, dissertações, sites	Início do estudo
Etapa 2	-Aquisição de dados secundários de qualidade da água (2018-2022) - Integração e compilação cartográfica -Análise integrada das variáveis	Dados do IMASUL (Rede de Monitoramento). Arquivos de mapas digitais (Bdia/IBGE e MapBiomas) Software ArcGIS	Meio do estudo
Etapa 3	- Interpretação dos dados Conclusões e recomendações	Análise crítica e alinhamento com objetivos	Final do estudo

Org. O autor

5. **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

5.1 – Uso e cobertura da terra

O Aquífero Guarani, reconhecido como um dos maiores sistemas aquíferos transfronteiriços do mundo (UNESCO, 2009), possui extrema relevância para o Mato Grosso do Sul, sendo que a cobertura sobre o Aquífero Guarani apresenta características distintas conforme as atividades desenvolvidas. A agricultura, principalmente o cultivo de soja, milho e cana-de-açúcar, ocupa extensas áreas que coincidem com zonas estratégicas de recarga. Dados do MapBiomas (2023) revelam que essa atividade se expandiu em 40% na última década, enquanto pesquisas da Embrapa (2021) alertam que 30% dessas áreas apresentam risco moderado a alto de contaminação por agrotóxicos e nitratos. Paralelamente, a pecuária extensiva, outro pilar econômico regional, contribui para a compactação do solo, reduzindo em até 50% sua capacidade de infiltração (Foster et al., 2020).

O crescimento urbano representa outro fator de pressão significativo. Municipios como Dourados, Ponta Porã e Maracaju, que se desenvolvem sobre o aquífero, tiveram expansão de 25% nos últimos 15 anos Ministério das Cidades (Brasil, 2023).

Diante desses desafios, iniciativas como o Projeto Aquífero Guarani (SAG, 2018) e o Plano Estadual de Recursos Hídricos (2021) vêm implementando medidas como o zoneamento de 40% das áreas de recarga, programas de boas práticas agrícolas em 1.200 propriedades e uma rede de monitoramento com 120 poços de observação. A UNESCO-IHP (2021) reforça que a sustentabilidade do aquífero depende da ampliação dessas ações, da implementação de políticas de uso sustentável do solo e do fortalecimento da governança transfronteiriça.

O mapa de uso e cobertura da terra referente ao ano de 2002 (Figura 7) apresenta uma diversidade de categorias que refletem a ocupação e a dinâmica do território. Entre as formações vegetais, destacam-se a Formação florestal, que indica áreas de florestas naturais, e a Formação savânica, caracterizada por vegetação herbácea e arbustiva típica de savanas. Além disso, há a Floresta plantada, que sugere áreas de reflorestamento ou cultivo de árvores para fins comerciais. Outras formações incluem o Campo Alagado, que representa áreas úmidas ou pantanosas, e a Formação Campestre, com predominância de vegetação herbácea.

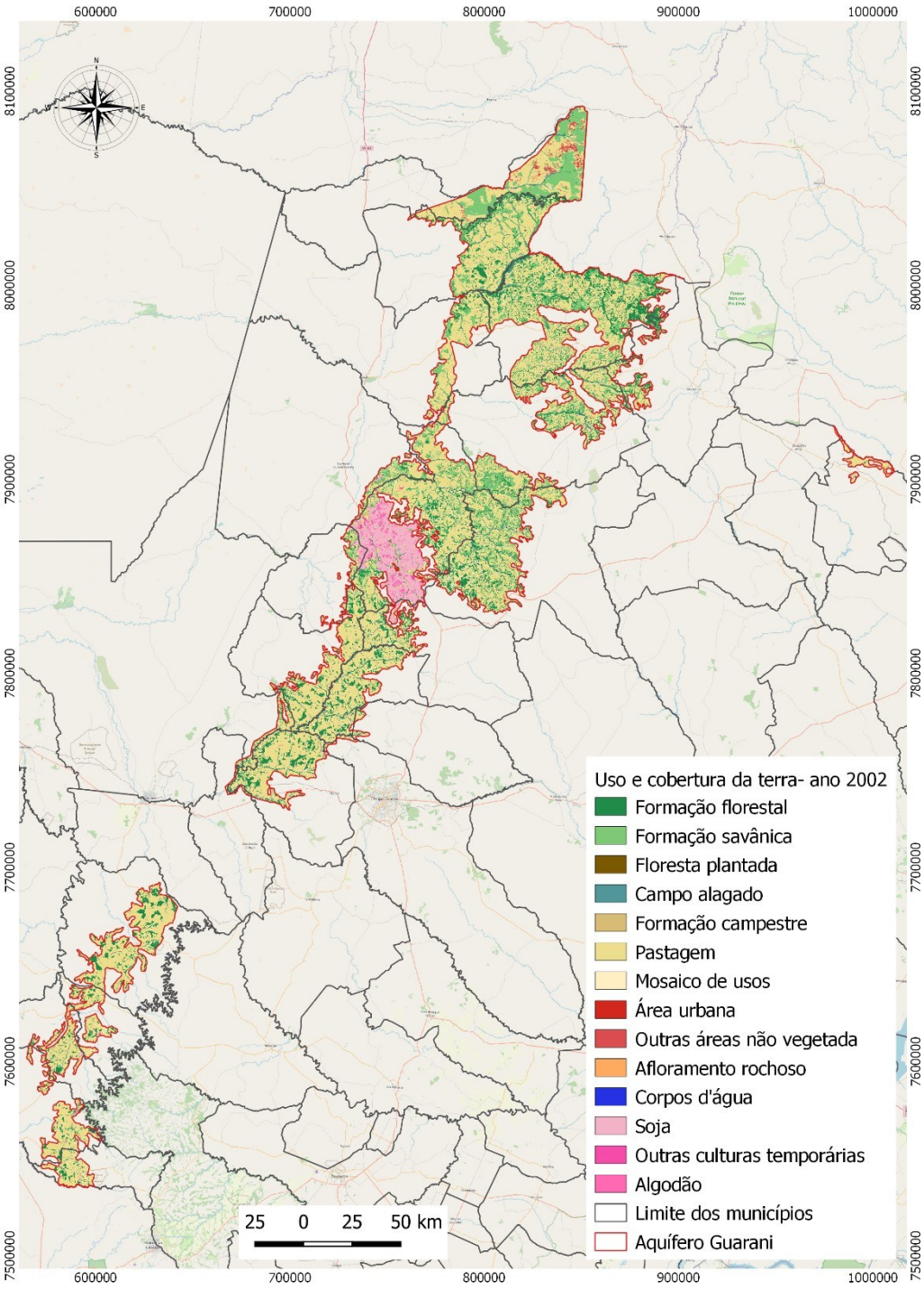
No que diz respeito ao uso agrícola, a Pastagem é uma categoria relevante, indicando áreas destinadas à criação de gado. O cultivo de Soja e Algodão também é evidenciado, mostrando a importância dessas culturas temporárias na região. Do outro lado, há menção a outras culturas temporárias, que abrangem diversos tipos de plantações de ciclo anual.

As áreas urbanizadas são representadas pela categoria Área Urbana, que delimita regiões de habitação humana e infraestrutura. Já as outras áreas não vegetadas e os Afloramentos Rochosos indicam locais com pouca ou nenhuma cobertura vegetal, seja por ação humana ou características naturais.

Os recursos hídricos também estão presentes no mapa, com a indicação de Corpos d'água, como rios e lagos, e do Aquífero Guarani, um dos maiores reservatórios de água subterrânea do mundo. Essa menção sugere a importância da gestão sustentável desse recurso na região.

Por fim, o mapa inclui os limites dos municípios, que demarcam as divisões administrativas, e o Mosaico de Usos, que representa áreas com uma mistura de diferentes tipos de ocupação e cobertura da terra.

Figura 7: Uso e cobertura da terra em 2002 na área de afloramento do Aquífero Guarani/MS



Elaboração: Elias Rodrigues da Cunha, 2025.
Fonte: MapBiomas, 2023

Na tabela 2 verifica-se que a classe de uso pastagem compreende 54,8% da área do Aquífero, seguida por formação florestal com 16,7% e formação savânica com 13,6%.

Tabela 2: Quantificação de Classes de Uso e Cobertura da Terra em 2002 na área de afloramento do Aquífero Guarani/MS

Classes de uso e cobertura da terra 2002	**Km2**	**%**
Formação florestal	3.586,8	16,7
Formação savânica	2.917,1	13,6
Floresta plantada	5,2	0,0
Campo alagado	499,9	2,3
Formação campestre	62,1	0,3
Pastagem	11.759,0	54,8
Cana-de-açúcar	0,0	0,0
Mosaico de usos	1.283,7	6,0
Área urbana	16,7	0,1
Outras áreas não vegetadas	123,6	0,6
Corpos d'água	49,8	0,2
Soja	937,1	4,4
Outras lavouras temporárias	74,2	0,3
Algodão	133,9	0,6
Total	21.449,1	100

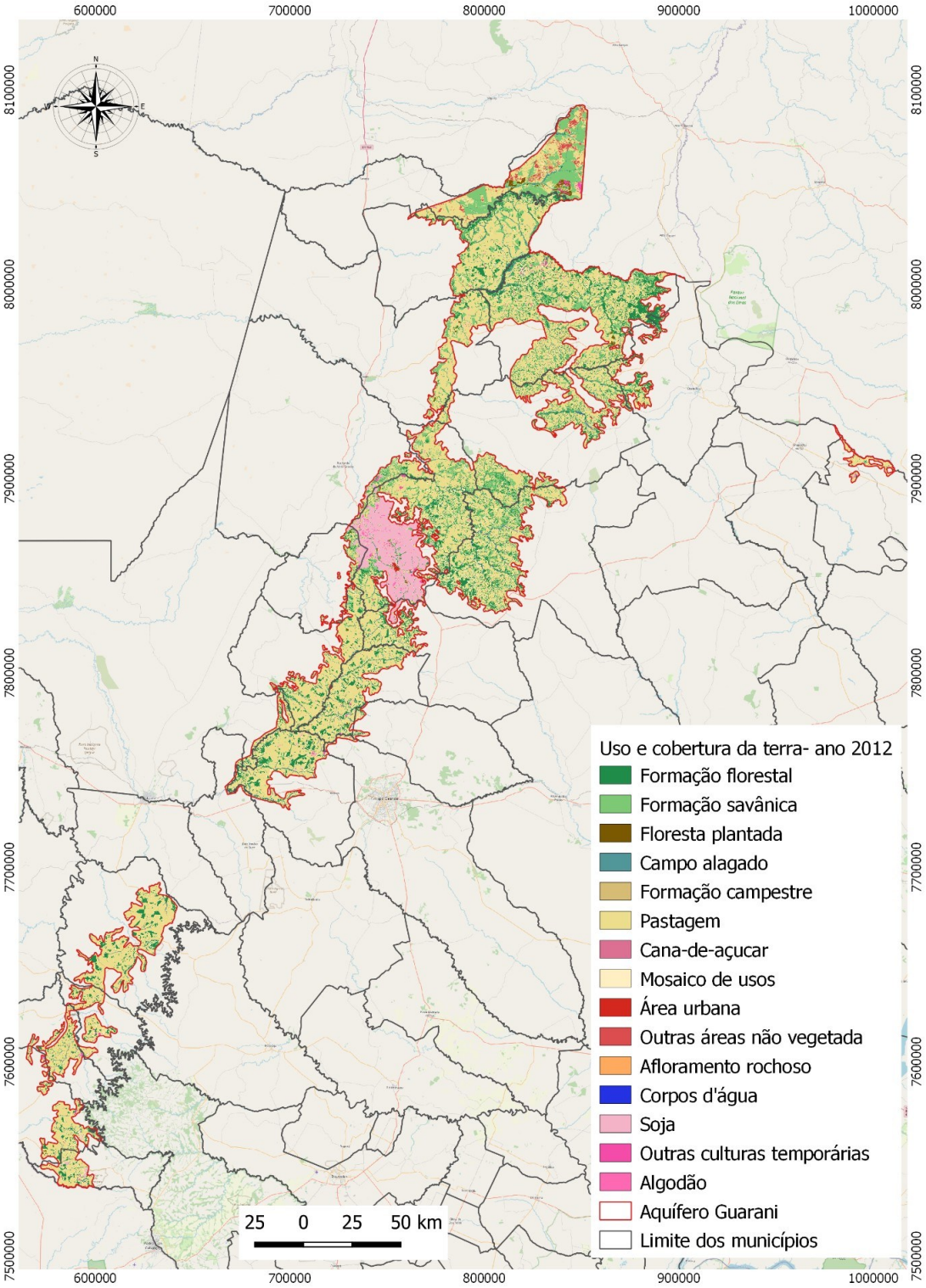
Fonte: MapBiomas, 2023

Em comparação ao mapa de 2002, observa-se uma evolução no uso e cobertura da terra. Em 2002, a Pastagem e as culturas de soja e algodão já eram relevantes, mas em 2012, a introdução da cana-de-açúcar como categoria específica indica uma expansão ou maior detalhamento das atividades agrícolas. Além disso, a presença do Mosaico de Usos em 2012 sugere uma maior complexidade na ocupação da terra, com áreas que combinam diferentes tipos de uso, o que pode refletir uma intensificação das atividades humanas e uma maior fragmentação das paisagens naturais (Figura 10).

A Formação Florestal e a Formação Savânica mantiveram-se presentes em ambos os anos, mas a dinâmica de sua distribuição pode ter mudado, possivelmente devido ao avanço das áreas agrícolas e urbanas.

Essa diversidade de categorias em 2012, em comparação com 2002, reflete uma maior complexidade e pressão sobre o uso do solo, reforçando a necessidade de um planejamento territorial que equilibre a preservação ambiental, a produção agrícola e o crescimento urbano.

Figure 8: Uso e cobertura da terra em 2012 na área de afloramento do Aquífero Guarani/MS



Elaboração: Elias Rodrigues da Cunha, 2025.
Fonte: MapBiomas, 2023

Na tabela 3 verifica-se que a classe de uso pastagem compreende 55,4% da área do Aquífero, seguida por Formação Florestal com 15,7% e Formação Savânica com 12,0%.

Tabela 3: Quantificação de Classes de Uso e Cobertura da Terra em 2012 na área de afloramento do Aquífero Guarani/MS

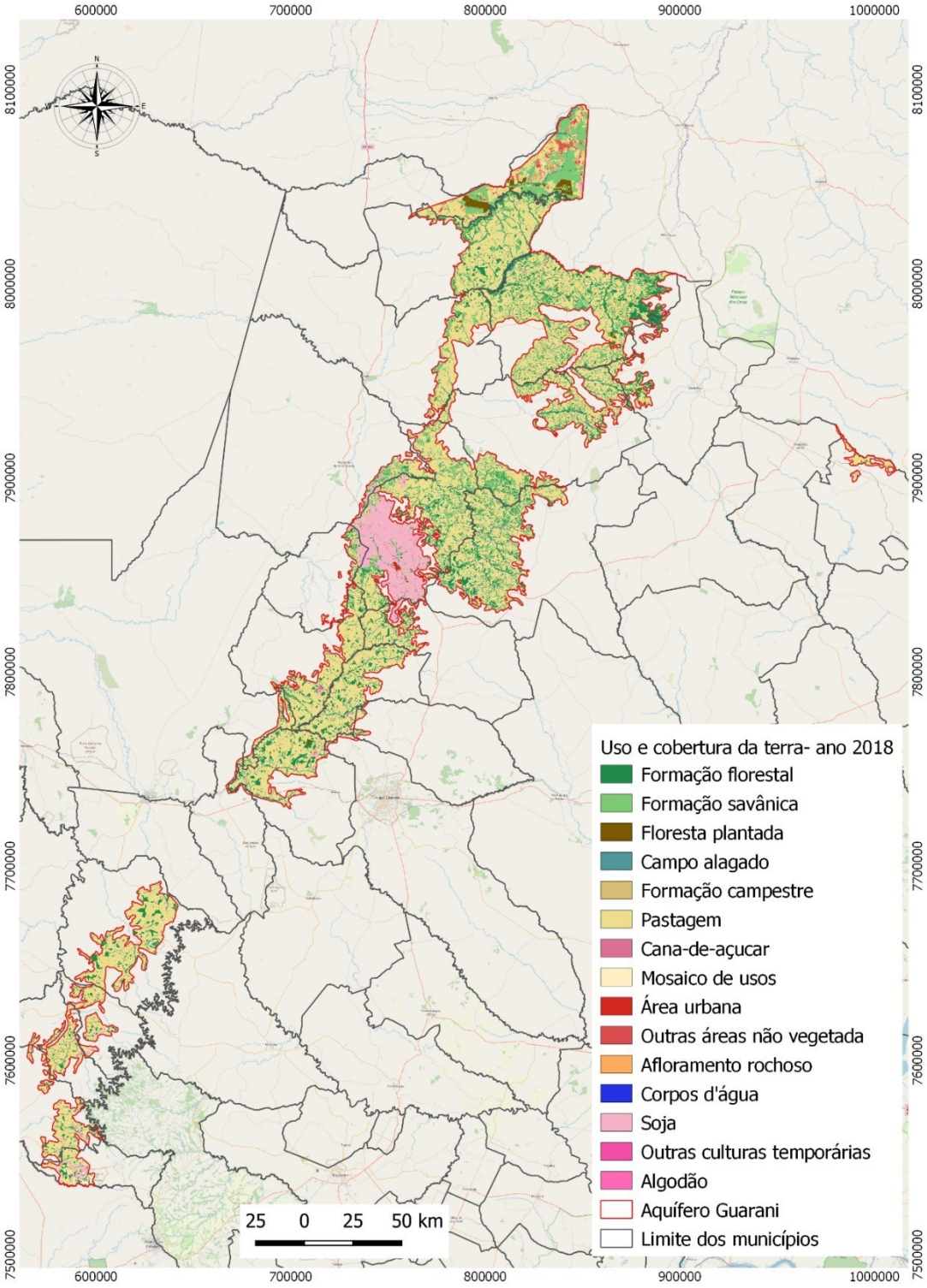
Classes de uso e cobertura da terra 2012	**Km2**	**%**
Formação florestal	3.374,4	15,7
Formação savânica	2.565,9	12,0
Floresta plantada	82,4	0,4
Campo alagado	498,9	2,3
Formação campestre	111,2	0,5
Pastagem	11.885,7	55,4
Cana-de-açúcar	0,2	0,0
Mosaico de usos	1.447,3	6,7
Área urbana	20,9	0,1
Outras áreas não vegetadas	127,7	0,6
Corpos d'água	47,9	0,2
Soja	1.132,5	5,3
Outras lavouras temporárias	128,8	0,6
Algodão	25,4	0,1
Total	21.449,1	100

Fonte: MapBiomas, 2023

Em comparação com os mapas de 2002 e 2012, observa-se uma evolução contínua no uso e cobertura da terra. Em 2002, a pastagem e as culturas de soja e algodão já eram relevantes, mas em 2012, a introdução da Cana-de-açúcar como categoria específica, indicou uma expansão ou maior detalhamento das atividades agrícolas. Em 2018, essa tendência se mantém, com a Cana-de-açúcar consolidada como uma categoria importante, sugerindo uma intensificação da produção agrícola (Figura 11).

A Formação Florestal e a Formação Savânica permaneceram presentes ao longo dos anos, mas a dinâmica de sua distribuição pode ter mudado, possivelmente devido ao avanço das áreas agrícolas e urbanas.

Figure 9: Uso e cobertura da terra em 2018 na área de afloramento do Aquífero Guarani/MS



Elaboração: Elias Rodrigues da Cunha, 2025.
Fonte: MapBiomas, 2023

Na tabela 4 verifica-se que a classe de uso pastagem compreende 54,0% da área do Aquífero, seguida por Formação Florestal com 15,7% e Formação Savânica com 11,8%.

Tabela 4: Quantificação de Classes de Uso e Cobertura da Terra em 2018 na área de afloramento do Aquífero Guarani/MS

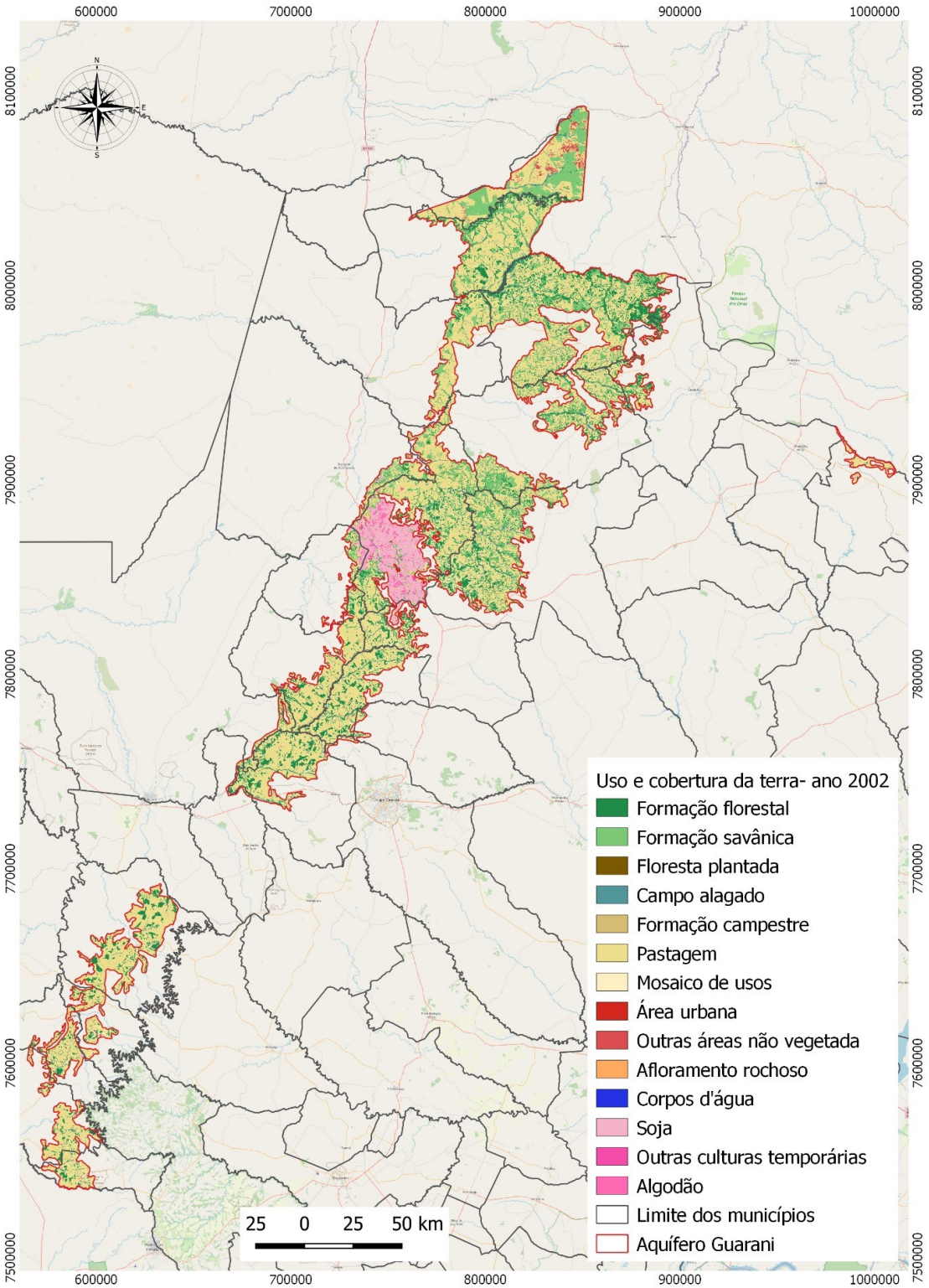
Classes de uso e cobertura da terra 2018	**Km2**	**%**
Formação florestal	3.372,7	15,7
Formação savânica	2.529,0	11,8
Floresta plantada	178,7	0,8
Campo alagado	518,0	2,4
Formação campestre	148,8	0,7
Pastagem	11.578,8	54,0
Cana-de-açúcar	1,8	0,0
Mosaico de usos	1.569,2	7,3
Área urbana	22,4	0,1
Outras áreas não vegetadas	129,8	0,6
Corpos d'água	41,1	0,2
Soja	1.291,6	6,0
Outras lavouras temporárias	58,1	0,3
Algodão	9,4	0,0
Total	21.449,1	100

Fonte: MapBiomas, 2023

Ao comparar os mapas de 2002, 2012, 2018 e 2022, é possível identificar uma evolução no uso e cobertura da terra. Em 2022, a pastagem e as culturas de soja e algodão já desempenhavam papéis significativos. No entanto, em 2012, a introdução da cana-deaçúcar como uma categoria específica indicou uma expansão ou um maior detalhamento das atividades agrícolas. Essa tendência se manteve em 2018 e 2022, com a cana-deaçúcar consolidando-se como uma categoria importante, o que sugere uma intensificação contínua da produção agrícola ao longo dos anos (Figura 10).

A Formação Florestal e a Formação Savânica permaneceram presentes em todos os períodos analisados, mas a distribuição dessas áreas pode ter sofrido alterações, provavelmente devido ao avanço das áreas agrícolas e à expansão urbana. O Mosaico de Usos, presente em 2002, 2012, 2018 e 2022, indica uma complexidade decrescente na ocupação da terra, com áreas que integram diferentes tipos de uso, refletindo uma maior fragmentação das paisagens naturais e uma intensificação das atividades humanas.

Figura 10: Uso e cobertura da terra em 2022 na área de afloramento do Aquífero Guarani/MS



Elaboração: Elias Rodrigues da Cunha, 2025.
Fonte: MapBiomas, 2023

Na tabela 5 verifica-se que a classe de uso pastagem compreende 52,1% da área do Aquífero, seguida por formação florestal com 15,4% e formação savânica com 11,2%.

Tabela 5: Quantificação de Classes de Uso e cobertura da terra em 2022 na área de afloramento do Aquífero Gurani/MS

Classes de uso e cobertura da terra 2022	**Km2**	**%**
Formação florestal	3.298,1	15,4
Formação savânica	2.402,2	11,2
Floresta plantada	197,2	0,9
Campo alagado	546,2	2,5
Formação campestre	169,0	0,8
Pastagem	11.181,5	52,1
Cana-de-açúcar	1,4	0,0
Mosaico de usos	1.893,6	8,8
Área urbana	23,4	0,1
Outras áreas não vegetadas	243,5	1,1
Corpos d'água	38,5	0,2
Soja	1.413,8	6,6
Outras lavouras temporárias	40,5	0,2
Algodão	0,3	0,0
Total	21.449,1	100

Fonte: MapBiomas, 2023

Entre 2002 e 2022, observou-se uma tendência de redução nas formações naturais (florestas e savanas) e pastagens, enquanto houve um aumento nas áreas de cultivo agrícola (especialmente soja e florestas plantadas) e no mosaico de usos (Tabela 6). A expansão urbana foi modesta, mas as áreas não vegetadas aumentaram, possivelmente devido à degradação do solo ou expansão de infraestrutura. A diminuição dos corpos d'água é preocupante e pode estar relacionada a mudanças climáticas ou uso insustentável dos recursos hídricos.

Essas mudanças refletem uma pressão crescente sobre o uso do solo, com a expansão agrícola e a fragmentação de ecossistemas naturais. Isso reforça a necessidade de políticas de planejamento territorial que promovam o equilíbrio entre a produção agrícola, a conservação ambiental e o desenvolvimento urbano sustentável.

O Aquífero Guarani, um dos maiores reservatórios de água doce subterrânea do mundo, enfrenta pressões crescentes devido às mudanças no uso e cobertura da terra nas últimas décadas. Esses impactos, diretos e indiretos, ameaçam sua disponibilidade e qualidade, colocando em risco o abastecimento de milhões de pessoas e a sustentabilidade de atividades econômicas essenciais.

Observou-se que a expansão de cultivos como soja e cana-de-açúcar tem aumentado o uso de fertilizantes e pesticidas, que infiltram no solo e atingem o lençol freático. Estudos

recentes, como os da Embrapa (2023), já detectaram a presença de nitratos e glifosato em poços próximos a áreas agrícolas, indicando um risco real de contaminação da água subterrânea. Se não controlado, esse processo pode inviabilizar o consumo humano sem tratamentos caros e complexos.

A irrigação em larga escala, especialmente em culturas como cana e soja, reduz a recarga natural do aquífero. Em regiões como Ribeirão Preto (SP), o nível do Aquífero Guarani já baixou 15 metros em 20 anos (ANA, 2022), um sinal alarmante de que a extração está superando a capacidade de renovação. Se esse ritmo continuar, áreas críticas podem enfrentar escassez hídrica, gerando conflitos pelo uso da água.

Tabela 6: Evolução dos percentuais por classes de uso do Aquífero Guarani/MS

	2002	**2012**	**2018**	**2022**	**2002-2022**
Formação florestal	16,72	15,73	15,72	15,38	-1,3%
Formação savânica	13,60	11,96	11,79	11,20	-2,4%
Floresta plantada	0,02	0,38	0,83	0,92	+0,9%
Campo alagado	2,33	2,33	2,41	2,55	+0,2%
Formação campestre	0,29	0,52	0,69	0,79	+0,5%
Pastagem	54,82	55,41	53,98	52,13	-2,7%
Cana-de-açúcar	0,00	0,00	0,01	0,01	+0,01%
Mosaico de usos	5,98	6,75	7,32	8,83	+2,85%
Área urbana	0,08	0,10	0,10	0,11	+0,3%
Outras áreas não veget.	0,58	0,60	0,60	1,14	+0,56
Corpos d'água	0,23	0,22	0,19	0,18	-0,05
Soja	4,37	5,28	6,02	6,59	+2,22%
Outras lavouras temp.	0,35	0,60	0,27	0,19	-0,16%
Algodão	0,62	0,12	0,04	0,00	-0,62%
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	

Fonte: MapBiomas, 2023

Então o desmatamento de matas ciliares e savanas diminui a infiltração da água da chuva, comprometendo a reposição do aquífero. Na tabela 6 observou-se a diminuição de 3,7% na cobertura vegetal nativa (formação florestal e formação savânica) na área de afloramento do Aquífero Guarani desde 2002, o que pode agravar o problema. Sem vegetação suficiente, o solo perde capacidade de absorção, aumentando o escoamento superficial e reduzindo a água que chega ao subsolo.

Desta forma, se as tendências atuais persistirem, o Aquífero Guarani pode enfrentar problemas de escassez regional, com poços secando em áreas de alta demanda, bem como a degradação da qualidade da água, exigindo tratamentos caros ou inviabilizando o uso direto.

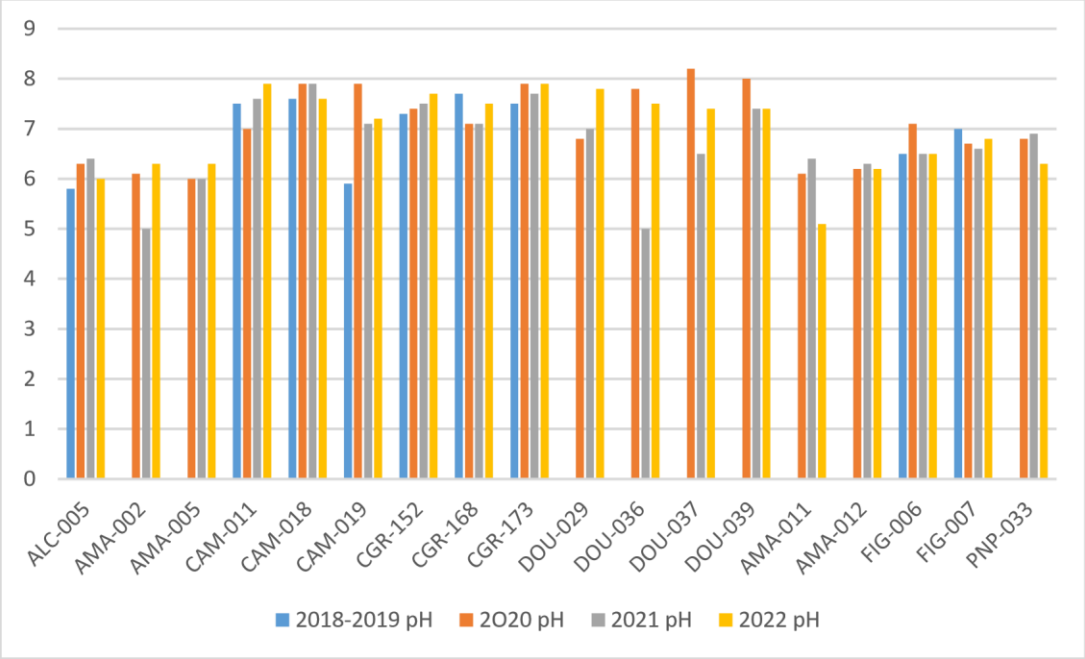
5.2.-Monitoramento de qualidade das águas no SAG/MS – 2018 a 2022

O monitoramento da qualidade das águas no SAG/MS é realizado pelo IMASUL utilizando-se de parâmetros físico-químicos e biológicos. Estes são parâmetros facilmente mensuráveis e úteis para ver a evolução dos elementos químicos mais dominantes nas águas dos poços da área de estudo, as suas concentrações e as suas origens. Os parâmetros físicoquímicos e biológicos analisados são os seguintes:

5.2.1.- Potencial de hidrogênio (pH)

O pH é um parâmetro físico que determina a acidez ou alcalinidade de uma solução, sendo medido por um medidor de pH. Segundo dados do Imasul (2018-2022), observamos o valor mínimo registrado foi pH 5 (nas perfurações AMA-002 e DOU-036), enquanto o máximo atingiu pH 8,2 (perfuração DOU-037). No entanto, conforme a resolução CONAMA nº 396/2008**,** nao tem um valor limites permitidos para pH em águas doces **são.** Dessa forma, os resultados indicam que grande parte das medições ultrapassam os padrões estabelecidos, sinalizando a necessidade de avaliação quanto à qualidade da água nessas localidades.

Figura 11: Potencial de hidrogênio (pH) entre os anos de 2018-2022 nos poços subterrâneos do Estado de MS



Fonte: IMASUL, 2023. Org.: o autor

5.2.2.-Condutividade elétrica

Segundo Blanco (2017), A medição da condutividade elétrica fornece informações sobre a mineralização da água. Aumenta com o aumento do teor de sal dissolvido na água. A variação na mineralização da água é governada por vários fatores:

• Evaporação significativa ligada à aproximação da superfície

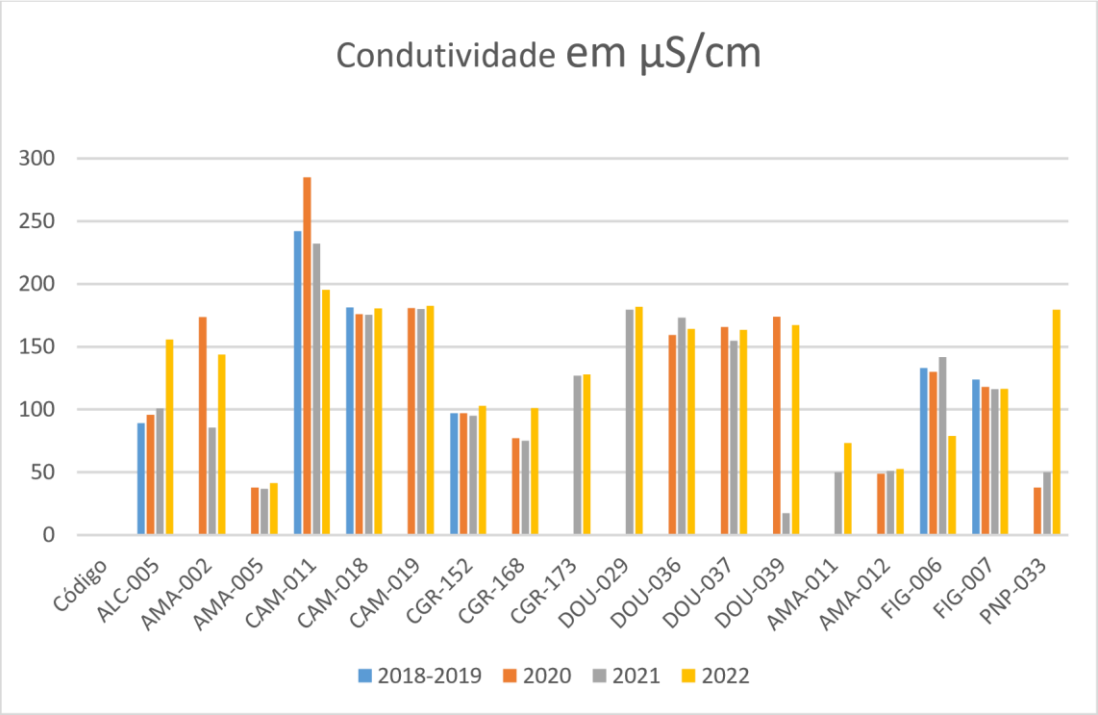
• Tempo de residência e troca de água ao redor

• Direção geral do fluxo do lençol freático

• Trocas com lençóis freáticos adjacentes

Ao anlisar os dados de qualidade da agua disponibilizados pelo Imasul, notou-se que no período de 2018-2022 os valores da condutividade elétrica do lençol freático variaram de um poço para outro, sendo um mínimo da ordem de 36.8µs/cm ao nível AAM-005, porém, o valor máximo, da ordem de 242 µs/cm ao nível da perfuração CAM-011 (figura 12).

Figura 12: Condutividade elétrica entre os anos de 2018-2022 nos poços subterrâneos do Estado de MS



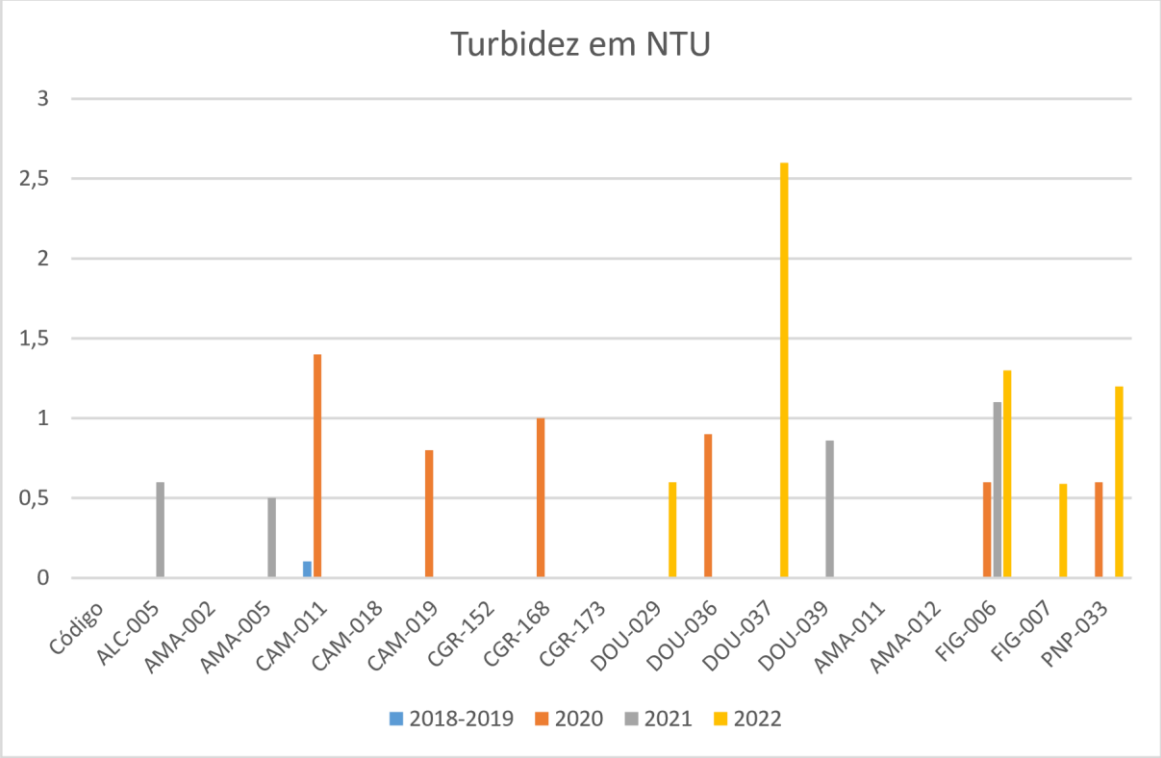
Fonte: IMASUL, 2023. Org. : o autor

5.2.3.-Turbidez

A turvação de uma fonte é causada pela presença de matéria em suspensão ou por substâncias em solução, tais como substâncias minerais (areia, argila ou lodo), matéria orgânica (matéria orgânica morta ou plantas em decomposição etc.) ou outros materiais microscópicos que formam um obstáculo à passagem da luz na água.

No nosso caso, os valores registados nos 19 poços entre 2018 e 2022 pelo IMASUL com turbidimetria variam entre os valores <0.5 NTU a 2.6 NTU. Segundo a OMS, os valores de turbidez devem ser inferiores a 5 NTU, pelo que podemos dizer que todas as perfurações recolhidas em 2018-2022 estão em conformidade com os padrões da OMS (figura 13).

Figura 13: Turbidez entre os anos de 2018-2022 nos poços subterrâneos do Estado de MS



Fonte: IMASUL, 2023. Org.: o autor

5.2.4.- Oxigênio Dissolvido

Medir o oxigênio dissolvido na água e tratar para manter os níveis corretos de OD são funções essenciais em muitas aplicações de tratamento de água. Embora o oxigênio dissolvido seja necessário para hospedar formas de vida e apoiar os processos de processamento, ele também pode ser prejudicial, levando à oxidação que danifica o equipamento e compromete o produto.

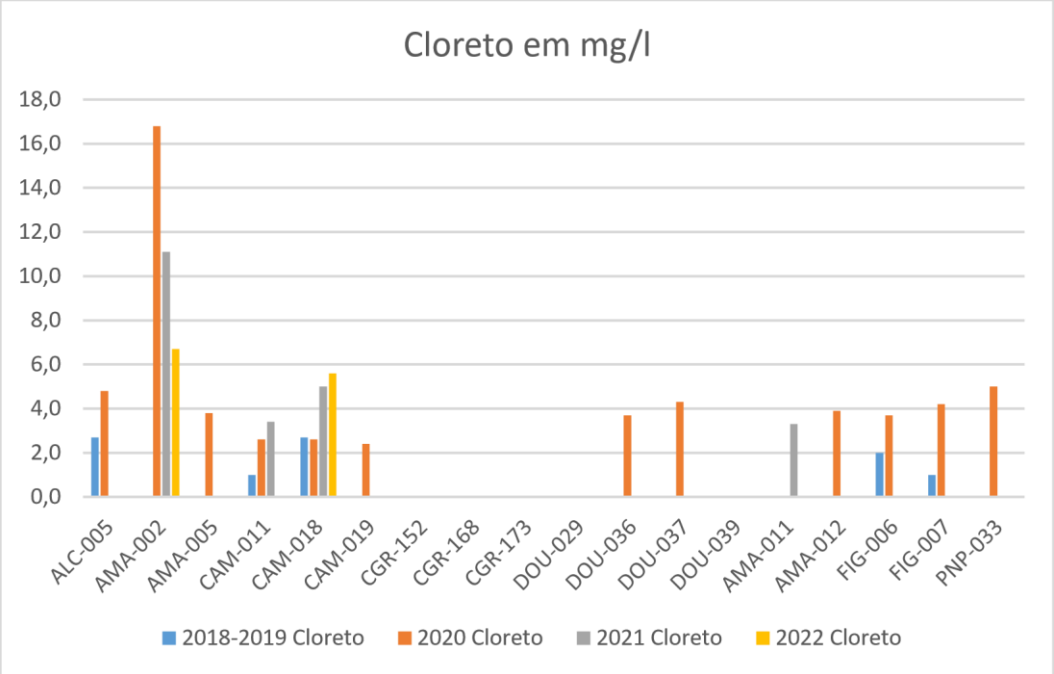
De acordo com a OMS, o valor mínimo aceite para oxigénio dissolvido na água potável, uma concentração de $5mgL^{-1}$ é frequentemente considerada um mínimo aceitável para manter uma boa qualidade da água enquanto, de acordo com CONAMA nº 396/2008 o valor não deve inferior a 6 mgL^{-1}. Para uma qualidade ideal, concentrações mais elevadas, até 8-10 mgL^{-1}, podem ser desejáveis.

5.2.5.-Cloretos

Observamos que, os cloretos estão sempre presentes nas águas naturais em proporções muito variáveis, a sua presença nas águas subterrâneas resulta da dissolução de sais naturais, pela dissolução da silvita (KCl) e da halite (NaCl).

Os dados coletados no período de 2018 a 2022 mostram que os valores de cloretos variam de um poço para outro com um mínimo inferior a (2.3 e 2.5) mg/l Cl_2 em CGR-152; CGR-168; CGR-173; DOU-029; DOU-039; por outro lado o máximo é 16.2 mg/l de Cl_2, no poço AMA-002 (Figura 14). De acordo com CONAMA nº 396/2008, o valor limite deve ser igual a 250 mg/l

Figura 14: Cloretos entre os anos de 2018-2022 nos poços subterrâneos do Estado de MS



Fonte: IMASUL, 2023. Org.: o autor

5.2.6.- Nitrato (NO3)

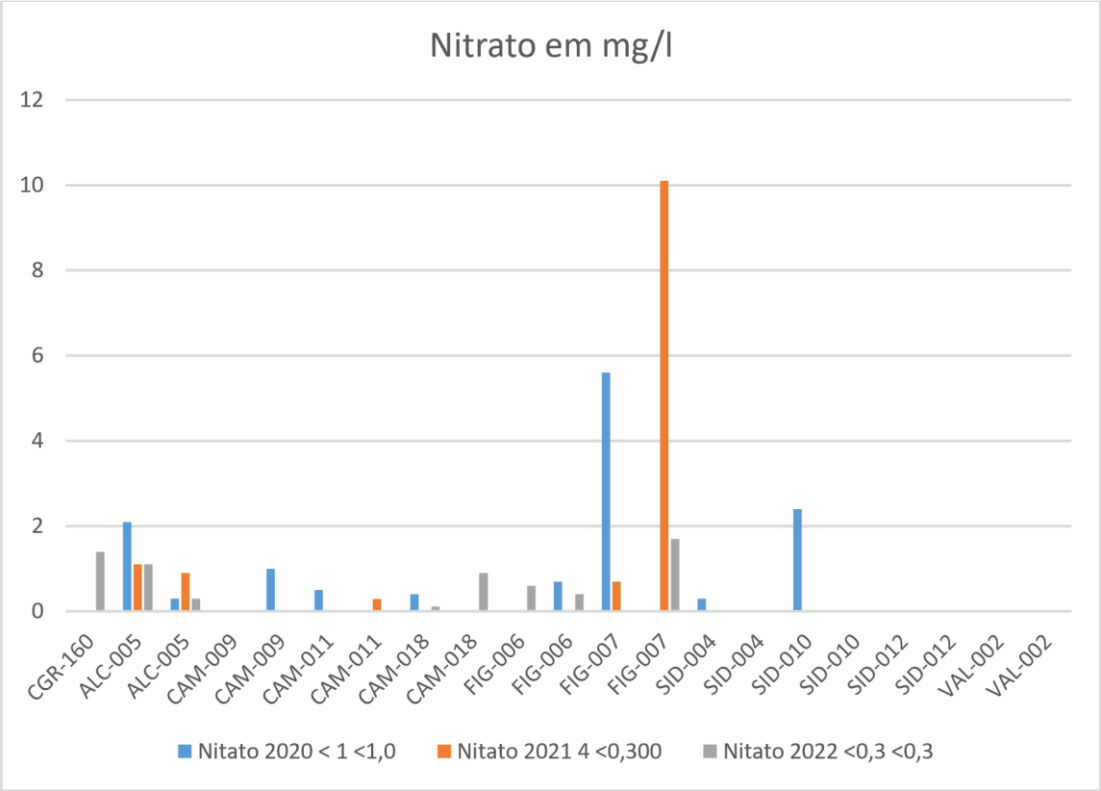
Basicamente os nitratos presentes na água têm diversas formas como por exemplo.

- Fixação biológica
- Precipitação atmosférica,
- Mineralização de resíduos vegetais e animais e nitrogênio orgânico do solo.

O desenvolvimento das atividades humanas modificou o ciclo natural do nitrogênio, aumentando consideravelmente as quantidades envolvidas (Who, 2011; Fetter, 2001).

O limite de qualidade é fixado em 50mg/l de nitratos na água de abastecimento. Baseiase nas recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS). Observamos que, os teores de nitratos nas águas subterrâneas da área de estudo para os períodos de 2018 a 2022 situam-se entre valores inferiores a 0,23 mg/l até um valor máximo de 10,1 mg/l. Em 2021, o poço AMA002 apresentou valor de nitrato de 10,1 e em 2022, o poço ALC-005 apresentou um valor de 14,8, em desconformidade com a Resolução CONAMA 396/2008 que traz como valor máximo aceitável 10,0 (figura 15).

Figura 15: Nitratos entre os anos de 2018-2022 nos poços subterrâneos do Estado de MS



Fonte: IMASUL, 2023. Org. : o autor

5.2.7.- Dureza

A dureza da água, ou teor de cal, é a quantidade de cálcio e magnésio dissolvidos na água. Quanto menor esta quantidade, mais "macia" ou "agressiva" é a água; quanto maior esta quantidade, mais "dura" ou "calcária" é a água.

A dureza da água é geralmente expressa em graus franceses (°f):

0 a 6°f: água muito macia

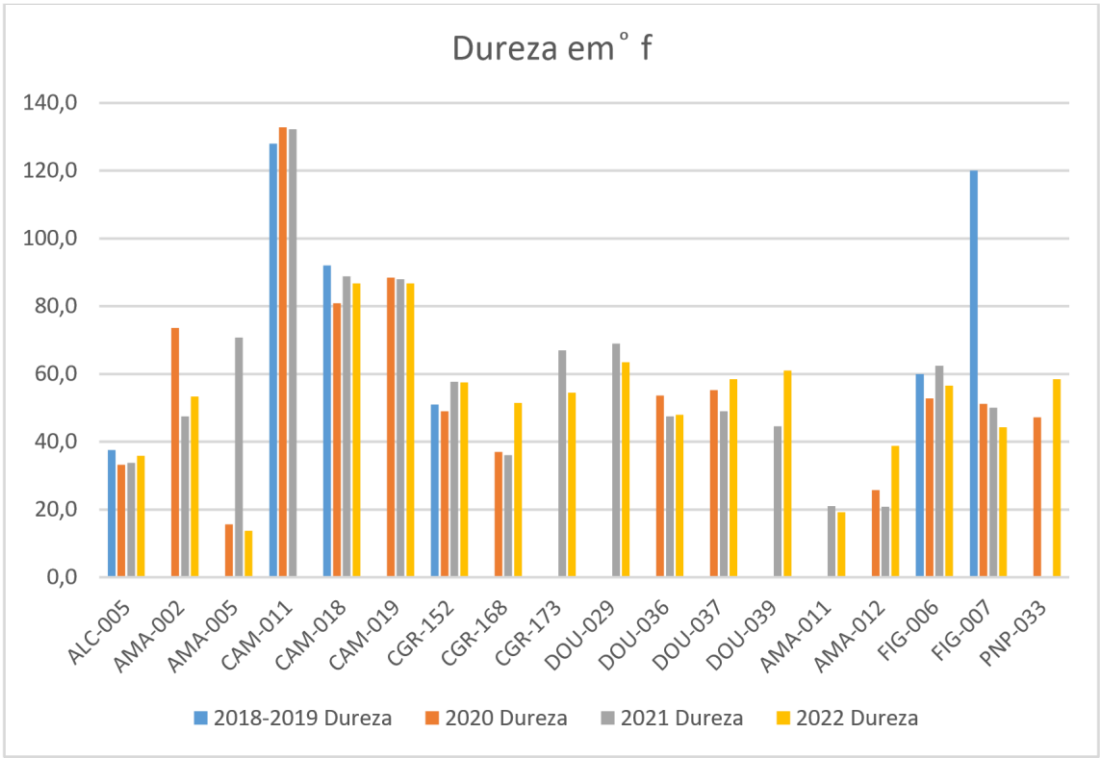
6 a 15°f: água doce

15 a 30°f: água moderadamente dura

30 a 40°f: água dura

> 40°f: água muito dura (Blanco, 2017).

Figura 16: Dureza entre os anos de 2018-2022 nos poços subterraneas do Estado de MS



Fonte: IMASUL, 2023. Org. : o autor

5.3 - Fontes potenciais de contaminação dos recursos hídricos no SAG/MS

Em relação às desconformidades da Resolução CONAMA 396/2008, observou-se a presença de Coliformes totais nos poços CAM-018 e FIG-006 em 2022. Em 2021 coliformes totais no CAM-011 (tabela 7).

De acordo com Blanco (2017), o nitrato é a principal fonte de poluição que se difunde nas águas subterrâneas, devido à sua elevada mobilidade é reconhecido em todo o mundo, e a sua origem está ligada às atividades humanas. Águas com elevados níveis de contaminação por nitratos são um sinal de poluição mais distante, pois é o produto da oxidação do nitrogênio.

Os nitratos presentes nas águas subterrâneas provêm principalmente de quatro fontes:

a) aplicação de fertilizantes nitrogenados, outros produtos químicos inorgânicos e esterco animal, nas plantações;

b) lavoura;

c) águas residuais humanas depositadas em fossas sépticas e

d) depósitos atmosféricos

Tabela 6: Quadro síntese dos resultados de qualidade das águas subterrâneas do SAG em 2018-2019, no Estado de Mato Grosso do Sul.

	2018-2019		2020		2021		2022		2018-2022
Parâmetro	Valor mín.	Valor máx.	Valor mín.	Valor máx.	Valor mín.	Valor máx.	Valor mín.	Valor máx.	
pH	5.2	8.3	6.0	8.2	5.0	7.9	5.1	7.9	5.0 – 8.3
Conditividade	30	243.7	37.9	285.0	17.3	232.0	41.3	195.0	17.3-285.0
Turbidez	0.1	3.3	<0.5	1.4	<0.5	1.09	<0.5	2.62	0.1 – 3.3
Nitratos	0.3	3.7	<0.05	5.60	<0.23	10.1	0.11	14.8	0.05 -14.8
Dureza	16	140	15.6	132.8	14.8	123.2	13.7	86.7	13.7 - 140
Coliformes Totais	Presença 2 amostras		Presença 2 amostras		Presença 1 amostra		Presença 4 amostras		
E.Coli	Presença 01 amostra		---		---		Presença 1 amostras		

Fonte: IMASUL, 2023 (Org. O autor)

De acordo com Camponogara et al. (2006), as águas subterrâneas são um recurso natural muitas vezes subestimado, o que se reflete no insuficiente reconhecimento da sua importância a nível ambiental, social e económico. No entanto, constitui uma fonte de água acessível e de melhor qualidade que a das captações superficiais, porque estas últimas estão mais expostas ao contacto com fontes poluentes.

As águas subterrâneas, devido à sua localização no interior das rochas e/ou dos seus produtos de intemperismo, dificultam a penetração de substâncias poluentes, bem como a sua mobilidade. Além disso, muitas rochas porosas funcionam como filtros naturais, de modo que os custos de tratamento associados a elas são menores, exigindo uma portaria de cloração e fluoretação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados no estudo sobre o uso e cobertura da terra e a qualidade das águas no Aquífero Guarani/MS entre 2018 a 2022 revelam tendências e desafios significativos que demandam atenção e ações estratégicas. A análise dos dados permite compreender a dinâmica de ocupação da terra e os impactos sobre os recursos hídricos, destacando a necessidade de um planejamento territorial que promova o equilíbrio entre o desenvolvimento econômico, a conservação ambiental e a sustentabilidade.

Em relação ao uso e cobertura da terra, observou-se uma redução nas áreas de formações florestais e savânicas ao longo dos anos. Essas áreas, que representam ecossistemas naturais importantes, sofreram diminuição, possivelmente devido ao avanço das atividades agrícolas e à expansão urbana. Essa perda de habitats naturais pode ter impactos negativos sobre a biodiversidade e a qualidade dos recursos hídricos, uma vez que as formações vegetais desempenham um papel crucial na regulação do ciclo hidrológico e na proteção do solo contra a erosão.

Por outro lado, houve um aumento significativo nas áreas de cultivo agrícola, especialmente de soja e florestas plantadas. Esse crescimento reflete a intensificação da agricultura na região, impulsionada pela demanda por commodities e pelo desenvolvimento de técnicas agrícolas modernas. A introdução da cana-de-açúcar como categoria específica a partir de 2012 também indica uma diversificação e expansão das atividades agrícolas. No entanto, essa expansão pode trazer desafios, como a maior demanda por recursos hídricos e o uso intensivo de fertilizantes e agrotóxicos, que podem contaminar o solo e a água.

As pastagens, embora ainda representem a maior parte da cobertura da terra, apresentaram uma leve redução ao longo dos anos. Essa diminuição pode estar relacionada à conversão de áreas de pastagem para cultivos agrícolas, o que reflete uma mudança no padrão de uso da terra. A expansão urbana, embora modesta, também foi observada, indicando um crescimento populacional e o desenvolvimento de infraestrutura na região. Esse crescimento, se não for adequadamente planejado, pode pressionar ainda mais os recursos naturais, especialmente os hídricos.

A qualidade das águas subterrâneas, monitorada entre 2018 e 2022, apresentou variações significativas entre os poços analisados. Alguns parâmetros, como o pH e a condutividade elétrica, mostraram valores dentro dos limites aceitáveis, indicando uma relativa estabilidade na composição química da água. No entanto, a presença de nitratos acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008 em alguns poços é preocupante. Os

nitratos, provenientes principalmente da aplicação de fertilizantes nitrogenados e de atividades humanas, podem contaminar as águas subterrâneas e representar riscos à saúde pública.

Além disso, a detecção de coliformes totais e E. coli em alguns poços sugere contaminação por esgoto ou esterco animal, o que reforça a necessidade de melhorias no saneamento básico e na gestão de resíduos na região. A turbidez e os níveis de oxigênio dissolvido, embora dentro dos padrões recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), também devem ser monitorados continuamente para garantir a qualidade da água.

Os desafios identificados no estudo destacam a importância de uma gestão integrada e sustentável dos recursos naturais na região do Aquífero Guarani/MS. A pressão crescente sobre o uso da terra, combinada com a necessidade de preservar os ecossistemas naturais e garantir a qualidade dos recursos hídricos, exige a implementação de políticas públicas eficazes. Essas políticas devem promover o equilíbrio entre a produção agrícola, a conservação ambiental e o desenvolvimento urbano, garantindo que as atividades econômicas não comprometam a disponibilidade e a qualidade da água para as gerações futuras.

Enfim, resultados do estudo reforçam a necessidade de um monitoramento contínuo da qualidade das águas e da cobertura da terra, bem como a implementação de práticas agrícolas sustentáveis e a conservação das áreas naturais. A gestão sustentável do Aquífero Guarani/MS é essencial para garantir a segurança hídrica, a preservação da biodiversidade e o desenvolvimento socioeconômico da região. Somente por meio de um planejamento territorial integrado e participativo será possível alcançar um equilíbrio entre as demandas humanas e a capacidade de suporte dos ecossistemas.

RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos, propõem-se as seguintes medidas para garantir a proteção e uso racional deste importante recurso hídrico:

1. Gestão Territorial Integrada

(a) **Proteção de Áreas Estratégicas**

- Estabelecer zonas de proteção especial para recarga do aquífero, com regulamentação específica para atividades potencialmente poluidoras
- Implementar corredores ecológicos que conectem remanescentes de vegetação nativa, promovendo a conservação da biodiversidade

(b) **Agricultura Sustentável**

- Adoção obrigatória de práticas conservacionistas, incluindo:
  - Sistemas de rotação de culturas
  - Manutenção de áreas tampão ao redor de poços e nascentes
  - Fiscalização rigorosa do cumprimento da legislação ambiental

(c) **Ordenamento Urbano**

- Definir limites para expansão urbana em áreas de recarga
- Exigir projetos de saneamento ambiental para novos empreendimentos habitacionais

2. Monitoramento e Conservação Hídrica

(a) **Fortalecimento do Monitoramento**

- Intensificar a frequência de análises em pontos críticos
- Desenvolver sistema georreferenciado para identificação de áreas vulneráveis

(b) **Controle de Contaminantes**

- Implantar sistemas naturais de tratamento de efluentes
- Fomentar a transição para sistemas agroecológicos em áreas sensíveis

(c) **Proteção de Poços**

- Implementar medidas sanitárias preventivas em pontos de captação vulneráveis

3. Governança e Políticas Públicas

(a) **Estrutura de Gestão Participativa**

- Constituir comitê gestor multissetorial com representantes de:
  - Órgãos governamentais
  - Instituições de pesquisa

- Setor produtivo
- Comunidades locais

(b) **Incentivos Econômicos**

- Criar programas de apoio à adoção de tecnologias eficientes
- Estabelecer mecanismos de compensação por serviços ambientais

(c) **Capacitação e Conscientização**

- Desenvolver programas educativos para produtores rurais
- Realizar campanhas de conscientização sobre riscos ambientais

4. Fomento à Pesquisa e Inovação

- Desenvolver estudos aplicados sobre:
  - Técnicas de descontaminação de aquíferos
  - Sistemas agrícolas de baixo impacto
- Criar plataforma de dados abertos sobre qualidade hídrica e uso do solo Estas recomendações buscam equilibrar o desenvolvimento socioeconômico com a preservação ambiental, garantindo a sustentabilidade deste recurso vital para as gerações presentes e futuras

REFERÊNCIAS

ANA (Agência Nacional de Águas). Águas Subterrâneas. Apud Paulo César Alves da Silva. **RESERVA HIDRICA**: Aquífero Guarani e seu Uso Sustentável 2011. p40. Dissertação (pósgraduação) do Centro de Formação, Treinamento e Aperfeiçoamento, Brasilia 2011.

ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). **Diagnóstico do Aquífero Guarani**. Brasília: ANA, 2020.

ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil:** *2022*. Brasília: ANA, 2022. 356 p.

ARAÚJO, L.M.; FRANÇA, A.B.; POTTER, P.E. 1. Aqüífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai, e Uruguai: mapas hidrogeológicos das formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobrás), 16p. In. Ernani, F. da R. F.; Eduardo, C.H.; Sidnei, P.R.; Francisco, J.F.F.; André, V. L.B. **Sistema Aquifero Guarani – Considerações Preliminares Sobre A Influência Do Arco De Ponta Grossa No Fluxo Das Águas Subterrâneas,** 2002. p92

BLANCO, Sérgio Paulo Deitos. **Monitoramento de águas subterrâneas do Aquífero Serra Geral e avaliação do processo de adsorção para remoção de contaminantes. 2017.** 1 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017

BRASIL. **Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).** Resolução CNRH nº 58, de 30 de janeiro de 2006. Aprova o Plano Nacional de Recursos Hídricos.

BRASIL. **Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).** Resolução CNRH nº 67, de 16 de novembro de 2006. Aprova a Estratégia de Implementação do PNRH.

BRASIL. **Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).** Resolução CNRH nº 216, de 10 de setembro de 2020. Prorroga o prazo de vigência do PNRH.

BRASIL. **Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).** Resolução CNRH nº 135, de 10 de novembro de 2011. Estabelece as prioridades do PNRH para o período 2012-2015.

BRASIL. **Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).** Resolução CNRH nº 181, de 13 de dezembro de 2016. Aprova a segunda revisão do PNRH e estabelece metas e ações para o período até 2020.

BRASIL. **Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR).** Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH 2022-2040). Brasília, 2022. Disponível em link:

https://www.gov.br/mdr/ptbr/assuntos/seguranca-hidrica/plano-nacional-de-recursos-hidricos-1/pnrh_2022_para_baixar_e_imprimir.pdf . Accesso de 14 de dezembro de 2024.

BRASIL. **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).** Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2021

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 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. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

BRASIL. Ministério das Cidades**.** ***Relatório de Expansão Urbana 2023*****. Brasília, 2023**

CHANG, H. K. ***Estimativas de extração do Sistema Aquífero Guarani em Mato Grosso do Sul*****.** São Paulo, 2001**.**

CAMPONOGARA, I. **Vulnerabilidade Natural No Sistema Aqüífero Guarani E Análise De Parâmetros Físico-Químicos Das Águas Subterrâneas Em Quaraí, Br E Artigas, UY**, Santa Maria, RS, Brasil. 2006, p.26-27. Dissertação De Mestrado. Universidade Federal De Santa Maria Centro De Ciências Naturais E Exatas Programa De Pós–Graduação Em Geografia E Geociências.

CRISPIM, B.A; MARAN, N.H; SPOSITO, J. C.V; OLIVEIRA, K.M.P; JUNIOR, J.L.R; CARDOSO, C.A.L; GRISOLIA, A.B. Análises Preliminares da Qualidade De Águas Subterrâneas nos Municípios De Caarapó E Itaporã, MS. IN: IV CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO. Brasil, 2015.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária)**.** ***Impactos da Agricultura nos Recursos Hídricos*****. Campinas: Embrapa, 2021.**

ENGECORPS; Ana **Estudo De Vulnerabilidade Natural À Contaminação E Estratégias De Proteção Do Sistema Aquífero Guarani Nas Áreas De Afloramento**. Relatório Final Tomo Ii - Área Piloto De São Gabriel Do Oeste, Ms, Brasil, 2016**.**

FETTER, C. W. ***Applied hydrogeology.*** **4th ed. Upper Saddle River**: Prentice Hall, 2001.

FOSTER, S; HIRATA, R; VIDAL, A; SCHMIDT, G; GARDUÑO, H; KEMPER, K; MEJIA,A; OLSON,D; TAFFESSE, S. A Iniciativa do Programa Sistema Aquífero Guarani – Rumo a Gestão Prática da Água Subterrânea em um Contexto Transfronteiriço, 2009. p.9

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da Qualidade das Águas Subterrâneas**: Um Guia para Serviços Públicos de Água, Autoridades Municipais e Agências Ambientais.2013. Disponível em: https://link.ufms.br/mpNov. Acesso em 17 jan. 2025.

GASTMANS, D.; KIANG, C. H. Avaliação da hidrogeologia e hidroquímica do sistema aqüífero guarani (SAG) no estado de Mato Grosso do Sul. **Águas Subterrâneas**, *19*(1). 2005. https://doi.org/10.14295/ras.v19i1.1350. Disponível em https://link.ufms.br/egPmg. Acesso em 15 fev. 2025.

GOETTEN, W.J.; RAMOS, C.A.; BOHN, N. **Caracterização Hidroquímica Das Águas Subterrâneas Do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral**. IN: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017. Disponível em: https://link.ufms.br/6zfS4. Acesso em: 03 fev. 2025.

GOMES, M. A. F; HAMADA, E; FILIZOLA, H.F; QUEIROZ, S .C .N; FERRACINI, V.L; PESSOA, M.C.P.Y; CHAIM, A. Ordenamento Agroambiental Das Áreas De Recarga Do Aquífero Guarani – Estudos De Caso Em Território Brasileiro. In: Hamada, E. (Ed.). **Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. p. 1-22. Disponível em: https://link.ufms.br/32tgv. Acesso em: 25 jun. 2024.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**)**. *Censo Agropecuário 2022*. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IMASUL (Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul). ***Relatório de monitoramento de poços no Aquífero Guarani no Estado de Mato Grosso do Sul.*** Campo Grande: IMASUL, 2021.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL. **Diagnóstico dos poços no SAG em MS**. Campo Grande: IMASUL, 2021. 15 p.

IMASUL. Relatório Da Rede De Monitoramento. **Qualidade Das Águas Subterrâneas Do Estado De Mato Grosso Do Sul,** 2023, p.11

IRITANI, M.A; EZAKI, S. **As Águas Subterrâneas Do Estado De São Paulo**: Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA, 2012. 104p. 3ª edição. ISBN 978.85.86624.56.8. Disponível para download em www.igeologico.sp.gov.br

MAPBIOMAS. *Coleção 7.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil*. 2023. Disponível em: https://mapbiomas.org. Acesso em: outubro de 2024.

Organização Mundial da Saúde e Fundo das Nações Unidas para a Infância Programa Conjunto de Monitoramento para Abastecimento de Água e Saneamento (JMP). (2008.).

OEA. **programa estratégico de ação**. 2009 disponível em: **https://ipt.br/wp-content/uploads/2024/08/Sistema-AquiferoGuarani.pdf**. Acesso: 10 janeiro 2025.

PINTO, A. Metodologias De Avaliação Da Vulnerabilidade À Poluição E Definição De Perímetros De Proteção Dos Recursos Hídricos Subterrâneos Em Viqueque – Timor-Leste, 2016. p.7. Dissertação. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

PROBIO. *Monitoramento do Bioma Cerrado*. Brasília: MMA, 2022.

REBOUÇAS, A.D.C.; AMORE, L. O Sistema Aqüífero Guarani- SAG. **Águas Subterrâneas**, v. 16, n. 1, 9 dez. 2002. p. 135-137

ROSA FILHO, E.F.; HINDI, E.C.; ROSTIROLLA, S.P.; FERREIRA, F.J.F.; BITTENCOURT, A.V.L. Sistema Aquifero Guarani – Considerações Preliminares Sobre A Influência Do Arco De Ponta Grossa No Fluxo Das Águas Subterrâneas**, Rev. Águas Subterrâneas,** n.17/ Maio 2003.

SAG (Sistema Aquífero Guarani). *Projeto Aquífero Guarani: relatório final*. São Paulo: SAG, 2018.

SANESUL. Aquífero Guarani - o gigante de água doce. Disponível em: https://link.ufms.br/P60pg. Acesso em: 30 set. 2024.

SANTOS, M. J. DOS, RIOS, I. H. R. ., SOUZA, R. J., & ALBUQUERQUE , E. DA S. Avaliação de parâmetros químicos e microbiológicos das águas subterrâneas do município de Parintins - AM como indicadores de poluição das águas. **Águas Subterrâneas**, *38*(1), 2024, e-30257. https://doi.org/10.14295/ras.v38i1.30257

SOARES, A.P; SOARES, P.C; BETTÚ, D.F; HOLZ, M. Compartimentação Estrutural Da Bacia Do Paraná: A Questão Dos Lineamentos E Sua Influência Na Distribuição Do Sistema Aquifero Guarani, Unesp: **Geociências**, v. 26, n. 4, 2007. Disponível em: https://link.ufms.br/Dc7zp. Acesso em 13 jan. 2025.

UFMS (Universidade Federal do Mato Grosso do Sul). ***Estudos Hidrogeológicos do Aquífero Guarani no MS.*** Campo Grande: UFMS, 2022.
UNESCO. ***Transboundary Aquifers of the World.*** Paris: UNESCO, 2009.

UNESCO-IHP. *Water Governance Framework for Transboundary Aquifers*. Paris: UNESCO, 2021.

WHO (Organização Mundial da Saúde): WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Nitrate and nitrite in drinking-water.* Geneva: WHO, 2011.

ZOBY, J.L.G Panorama Da Qualidade Das Águas Subterrâneas No Brasil, IN: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2008. Disponível em: https://link.ufms.br/q7kbs. Acesso em: 09 nov. 2024.