



**INSTITUTO MATO-GROSSENSE DO FEIJÃO, PULSES,
COLHEITAS ESPECIAIS E IRRIGAÇÃO (IMAFIR-MT)
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ)**

**ESTUDO ENVOLVENDO LEVANTAMENTO INTEGRADO DE
INFORMAÇÕES DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS E
SUBTERRÂNEOS PARA OS POLOS DE AGRICULTURA IRRIGADA
DO CENTRO SUL E DO ALTO TELES PIRES NO ESTADO DE
MATO GROSSO**

Segundo Relatório Parcial:

*Período de 01 de dezembro de 2023 a 31
de maio de 2025.*

Cuiabá, MT - Brasil
2025

Sumário

1	META 1 – IMPLANTAÇÃO GERAL DAS PARCERIAS E ESTUDOS	6
1.1	PLANEJAMENTO	6
1.2	SENSIBILIZAÇÃO E TREINAMENTO	6
1.3	SENSIBILIZAÇÃO E TREINAMENTO	6
1.4	IMPLEMENTAÇÃO	6
1.5	MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO	6
2	META 2 - ESTUDO CLIMÁTICO	6
2.1	COLETA DE DADOS CLIMÁTICOS	6
2.2	ANÁLISE DA VARIABILIDADE INTERANUAL	8
2.3	IDENTIFICAÇÃO DAS TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS	16
2.4	IDENTIFICAÇÃO DAS IMPLICAÇÕES PARA PRODUÇÃO IRRIGADA	22
2.5	DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO	23
3	META 3 - ESTUDO DO USO/OCUPAÇÃO DO SOLO E DA DEMANDA HÍDRICA	25
3.1	LEVANTAMENTO DA ÁREA DISPONÍVEL PARA IRRIGAÇÃO	25
3.2	DEFINIÇÃO DAS CULTURAS A SEREM EXPLORADAS	30
3.3	ESTIMATIVA DA DEMANDA HÍDRICA	37
3.4	DEFINIÇÃO DOS PERÍODOS DE FUNCIONAMENTO DOS PIVÔS	40
3.5	MAPEAMENTO DE ÁREAS APTAS PARA EXPANSÃO DA AGRICULTURA IRRIGADA	42
4	META 4 - ESTUDO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL	43
4.1	COLETA DE DADOS HIDROLÓGICOS	43
4.2	ANÁLISE DA SAZONALIDADE NA OFERTA HÍDRICA	58
4.3	MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL	67
4.4	VIABILIDADE DE INCREMENTO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL	79
4.5	DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RECARGA DE ÁGUA E PRÁTICAS DE MANEJO CONSERVACIONISTAS DO SOLO	92
5	META 5 - ESTUDO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA	101
5.1	COLETA DE DADOS PRIMÁRIOS	101
5.2	CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA E HIDROQUÍMICA DOS AQUÍFEROS - BACIA DO RIO DAS MORTES	143
5.3	CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA E HIDROQUÍMICA DOS AQUÍFEROS - BACIA DO ALTO TELES PIRES	187

5.4	ELABORAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL REGIONAL - BACIA DO RIO DAS MORTES	242
5.5	ELABORAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL REGIONAL - BACIA DO ALTO TELES PIRES	249
5.6	ELABORAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO DE FLUXO DOS AQUÍFEROS - BACIA DO RIO DAS MORTES	257
5.7	ELABORAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO DE FLUXO DOS AQUÍFEROS - BACIA DO ALTO TELES PIRES	258
5.8	DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS - BACIA DO RIO DAS MORTES	260
5.9	DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS - BACIA DO ALTO TELES PIRES	266
6	META 6 - GOVERNANÇA	278
6.1	DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL.....	278
6.2	DEFINIÇÃO DE MODELOS DE GOVERNANÇA	287
6.3	FORTALECIMENTO DA TRANSPARÊNCIA E CONFIANÇA	289
6.4	IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO.....	290
6.5	MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO	290
7	META 7 - AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE EXPANSÃO SUSTENTÁVEL DA IRRIGAÇÃO	291
7.1	ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	291
7.2	ESTUDO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	296
7.3	IDENTIFICAÇÃO DE ZONAS COM POTENCIAL PARA AUMENTO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	300
7.4	MELHORIA DA EFICIÊNCIA DAS ÁREAS IRRIGADAS	300
7.5	GARANTIA DOS USOS MÚLTIPLOS DAS BACIAS	300
8	META 8 - SISTEMA DE VISUALIZAÇÃO ONLINE PARA INTELIGÊNCIA HÍDRICA	301
8.1	LEVANTAMENTO DE DADOS GEOESPACIAIS DA REGIÃO DO ESTUDO	301
8.2	PADRONIZAÇÃO DOS DADOS E ELABORAÇÃO DE METADADOS	303
8.3	DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA PARA COMPARTILHAMENTO DE DADOS GEOESPACIAIS	305
8.4	TESTES E VALIDAÇÃO DA PLATAFORMA	309
8.5	DISPONIBILIZAÇÃO DA PLATAFORMA PARA O PÚBLICO.....	309
9	META 9 - IRRIGAÇÃO E AGRICULTURA IRRIGADA.....	310
9.1	IDENTIFICAR AS ÁREAS IRRIGADAS E SEUS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	310
9.2	AVALIAR A QUALIDADE, MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO.....	314

9.3	CARACTERIZAR A EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO E DO USO DE ÁGUA NOS CULTIVOS IRRIGADOS	335
9.4	REALIZAR ESTUDOS DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL PARA A TERCEIRA SAFRA	350
9.5	PROPOR ESTRATÉGIAS PARA UM SISTEMA DE FERTIRRIGAÇÃO EFICIENTE E CONFIÁVEL EM ÁREAS IRRIGADAS	366
10	META 10 - MONITORAMENTO	384
10.1	DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO.....	384
10.2	AQUISIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS.....	387
10.3	IMPLANTAÇÃO DA REDE DE MONITORAMENTO	387
10.4	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA GESTOR	389
10.5	SUPERVISÃO DA REDE DE MONITORAMENTO	390
11	META 11 - DIFUSÃO DE TECNOLOGIA	392
11.1	IDENTIFICAÇÃO DO PÚBLICO-ALVO.....	392
11.2	DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE COMUNICAÇÃO.....	393
11.3	DESENVOLVIMENTO DOS MATERIAIS INFORMATIVOS	395
11.4	ORGANIZAÇÃO DE EVENTOS E TREINAMENTOS	395
11.5	AValiação e treinamento.....	396
12	CONCLUSÕES	397
13	REFERÊNCIAS	398

1 META 1 – IMPLANTAÇÃO GERAL DAS PARCERIAS E ESTUDOS

1.1 PLANEJAMENTO

Relatório apresentado na prestação de contas referente ao exercício de 2023.

1.2 SENSIBILIZAÇÃO E TREINAMENTO

Relatório apresentado na prestação de contas referente ao exercício de 2023.

1.3 SENSIBILIZAÇÃO E TREINAMENTO

Relatório apresentado na prestação de contas referente ao exercício de 2023.

1.4 IMPLEMENTAÇÃO

Nesta etapa, foi realizada a implantação efetiva do sistema desenvolvido no âmbito da Meta 1, com foco na integração das ferramentas e na operacionalização das estratégias definidas junto às instituições parceiras.

Foram conduzidos testes e validações para garantir o correto funcionamento das soluções implantadas, com atenção especial à qualidade dos dados gerados e à interação entre os diferentes módulos do projeto. A implementação ocorreu de forma gradual, minimizando os impactos nas atividades administrativas, técnicas e operacionais das instituições envolvidas.

Além disso, foi concluída a estruturação da equipe técnica e administrativa responsável pela execução das atividades, incluindo a contratação de estagiários e bolsistas de acordo com documentos já apresentados anteriormente. Também foi realizada a programação e aquisição de materiais permanentes e de consumo, garantindo o suporte operacional necessário para o desenvolvimento e continuidade das próximas etapas do projeto.

1.5 MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO

A execução da etapa de Monitoramento e Avaliação da Meta 1 consistiu na estruturação de um sistema para acompanhamento contínuo do desempenho das ações implementadas ao longo do projeto. Foram definidos indicadores de desempenho específicos para cada atividade, permitindo o acompanhamento dos resultados em relação aos objetivos e metas estabelecidos no planejamento inicial. A equipe técnica realizou monitoramentos periódicos para avaliar a efetividade das soluções implantadas e a integração das ações entre as instituições parceiras.

Com base nas informações coletadas, foram feitas análises para identificar possíveis ajustes e necessidades de correção de rota, visando garantir a melhoria contínua do sistema de gestão e a adequada execução das etapas subsequentes do projeto.

2 META 2 - ESTUDO CLIMÁTICO

2.1 COLETA DE DADOS CLIMÁTICOS

2.1.1 Introdução

As variáveis climáticas, como precipitação e temperatura, têm importante papel para o desempenho da agricultura na região, de forma que a avaliação de sua variabilidade interanual e identificação de tendências faz-se necessário. Para isso, existem diferentes bancos de dados, com variadas resoluções espaço-temporais, disponíveis na literatura e de acesso gratuito. Neste contexto, a Atividade 2.1 buscou identificar, dentre os bancos de dados disponíveis, o de melhor resolução espaço-temporal e precisão. Esses bancos de dados servirão como base para as atividades subsequentes do projeto, especificamente as Atividades 2.2 e 2.3.

2.1.2 Atividades desenvolvidas

Nesta etapa buscou-se identificar bancos de dados de chuva e temperatura com melhor resolução espaço-temporal para a região de estudo. O banco de dados *Brazilian Daily Weather Gridded Data* (Xavier *et al.*, 2022) referentes ao período de 1980 a 2023, construído a partir de dados de estações de superfície, apresenta-se como referência para a variável temperatura.

Para reduzir a incerteza acerca das observações da variável precipitação, foram avaliados quatro bancos de dados diários com diferentes resoluções espaço-temporais (Tabela 2.1): PERSIANN (Nguyen *et al.*, 2019), TRMM/GPM IMERG, CHIRPS (Beck *et al.*, 2019; Xavier *et al.*, 2016), que possuem dados desde 1979 (exceto o IMERG que começou em 2000) até presente, com uma resolução espacial variando de $0,05^\circ \times 0,05^\circ$ (aproximadamente 31 km^2) até $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ (aproximadamente 729 km^2). Esses bancos de dados baseiam-se em dados de pluviômetros ou em uma combinação de dados de pluviômetros com dados de satélite, o que melhora sensivelmente a interpolação espacial dos dados de pluviômetros em uma escala diária. Através da análise estatísticas, identificamos como os dados se comportam e selecionamos o de melhor resolução espaço-temporal. Após estas etapas, os bancos de dados foram então baixados e processados para utilização nos estudos na Meta de Estudos Climáticos.

Tabela 2.1 - Bancos de dados de precipitação

Banco de dados	Resolução espacial	Duração da série
Xavier <i>et al.</i> , 2022	0,25° x 0,25°	1980-2023
PERSIANN	0,25° x 0,25°	1983-2020
CHIRPS	0,05° x 0,05°	1981-2020
IMERG	0,1° x 0,1°	2000-2020

2.1.3 Resultados

Os bancos de dados de precipitação recortados para o estado de Mato Grosso apresentam boa concordância e elevada correlação para a escala mensal (Figura 2.1) com coeficientes de determinação superiores a 0,99, indicando que todas as fontes de dados são de excelente qualidade. Sendo assim, são pequenas as incertezas relacionadas às observações de precipitação.

Para priorizar a boa representação em escala local, optou-se por selecionar o banco de dados do *Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS) (Funk *et al.*, 2015), que representa a melhor opção de resolução espacial dentre os bancos de dados testados para o estado. Além disso, os dados de temperaturas mínima e máxima foram extraídos do *Brazilian Daily Weather Gridded Data* (Xavier *et al.*, 2022) referentes ao período de 1980 a 2023, construído a partir e dados de estações de superfície.

Estes bancos de dados observados selecionados nesta etapa serão utilizados nas demais avaliações das metas de estudo climático e de demanda hídrica.

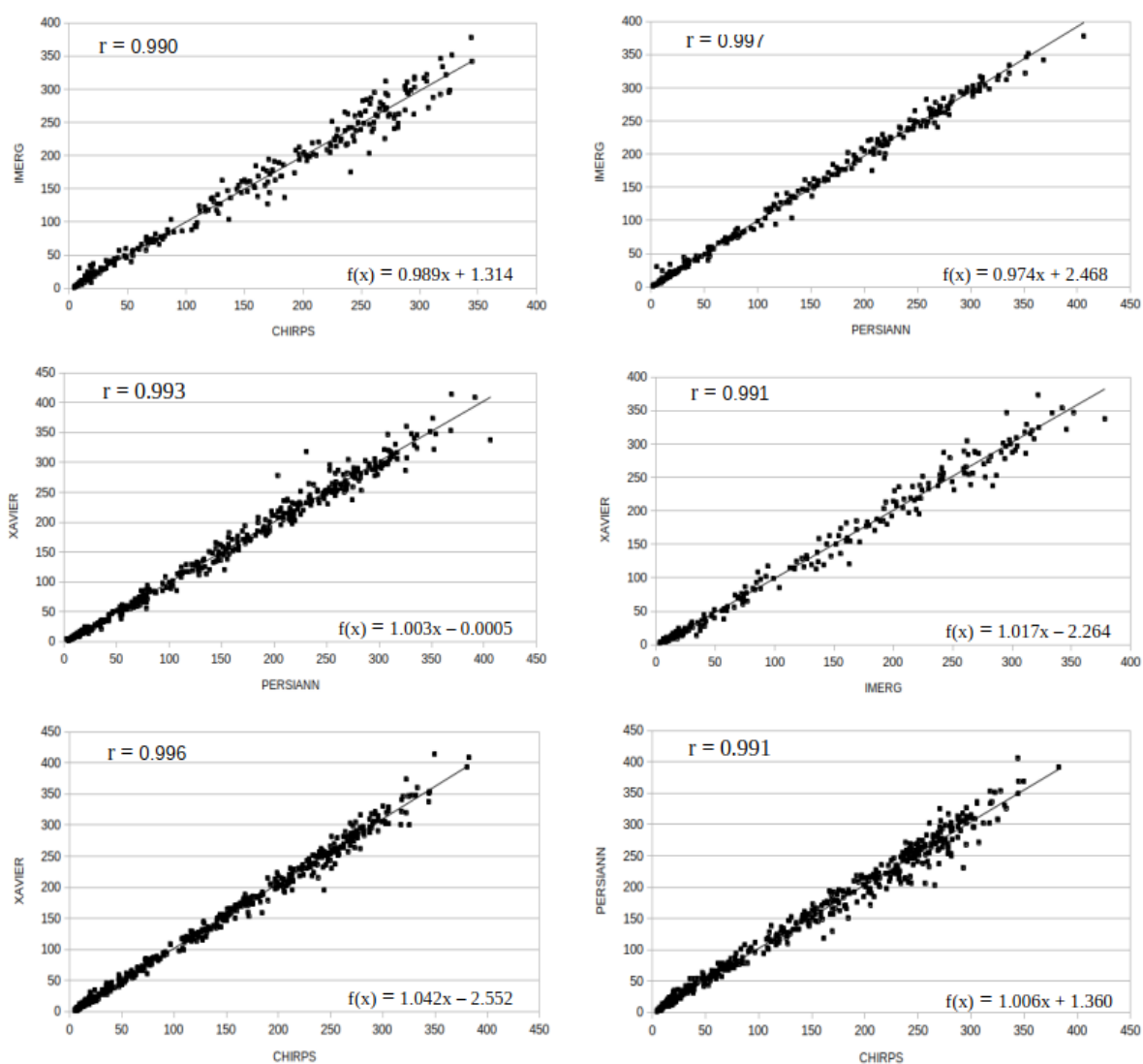


Figura 2.1 - Correlação entre os dados de precipitação mensal dos bancos de dados avaliados neste estudo e descritos na Tabela 2.1.

2.2 ANÁLISE DA VARIABILIDADE INTERANUAL

2.2.1 Introdução

A variabilidade interanual do clima produzida pela interação dos componentes do sistema climático, as mudanças ambientais e conversão de savanas e florestas tropicais em pastagem e cultivo agrícola, bem como as mudanças climáticas, resultam em alteração do padrão das chuvas e aumento da temperatura, podendo afetar de forma negativa a produtividade agrícola e a segurança alimentar (Costa *et al.*, 2019).

Diante disso, é fundamental para o planejamento e gestão das atividades agrícolas que sejam realizados estudos de variabilidade interanual do clima, já que o comportamento das

chuvas, assim como da temperatura superficial tem um impacto significativo na produtividade de algumas culturas, como o milho e a soja (Lucía Casali *et al.*, 2022).

2.2.2 Atividades Desenvolvidas

Para a realização da caracterização climática e análise da variabilidade interanual para o estado do Mato Grosso (MT), foram utilizados dados de precipitação do *Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS) (Funk *et al.*, 2015) e os dados de temperaturas mínima e máxima do *Brazilian Daily Weather Gridded Data* (Xavier *et al.*, 2022) referentes ao período de 1980 a 2023.

Considerando a amplitude térmica como um dos elementos cruciais, os registros de temperatura mínima, máxima e média foram examinados. Esses dados oferecem informações cruciais sobre as variações sazonais, permitindo uma compreensão mais abrangente das condições climáticas ao longo do tempo.

Além das variáveis térmicas, a análise da precipitação desempenha um papel fundamental na caracterização climática de Mato Grosso (MT). As informações relativas à distribuição das chuvas ao longo dos meses do ano são vitais para compreender padrões climáticos, identificar períodos de seca ou excesso de chuvas e avaliar possíveis impactos em setores, como na agricultura e em recursos hídricos. Ainda em relação às chuvas, também foram avaliadas as datas de início e o intervalo de duração da estação chuvosa observadas nas últimas quatro décadas.

2.2.3 Resultados

O estado de Mato Grosso, apresenta uma temperatura média entre 24°C e 27°C a maior parte do ano (Figura 2.2). As temperaturas médias começam a subir a partir de agosto, mantendo-se acima dos 26°C até dezembro para a maior parte do estado. Também é possível notar que a região pantaneira, sudoeste do estado, apresenta temperaturas médias mais altas que o restante do estado durante a maior parte do ano (Figura 2.2). A média de temperaturas mais altas se concentra nos meses de fim da estação seca e transição para a estação chuvosa, ou seja, de agosto a outubro (Figura 2.3). Enquanto a média de temperaturas mínimas estão alocadas na maioria dos meses de inverno, entre junho e agosto (Figura 2.4).

Em relação às chuvas, o Mato Grosso apresenta uma clara sazonalidade. O volume diário de chuvas começa aumentar em outubro, com uma média de 3 – 6 mm dia⁻¹, encontrando-se uma quase dobra de valor entre os meses de dezembro e março, com uma recessão a partir

de abril, quando a estação seca passa a dominar a região (Figura 2.5). Devido aos diversos biomas presentes no estado, a porção noroeste de Mato Grosso, que abrange a região sul da Amazônia, apresenta uma redução tardia na quantidade de chuvas, bem como o aumento dos volumes diários de chuva acontecem justamente nesta porção do estado, com as chuvas seguindo uma orientação noroeste-sudeste.

Este gradiente de orientação noroeste-sudeste de aumento nos volumes de chuva também é observado em relação aos volumes totais precipitados sobre o estado nas últimas décadas (Figura 2.6). Dessa forma, percebe-se que a região noroeste possui uma média do total anual precipitado superior a 2.000 mm por ano, enquanto as regiões mais ao sul e sudoeste do estado apresentam valores anuais consideravelmente inferiores. Ademais, é possível observar uma grande variabilidade de chuvas nas últimas quatro décadas, especialmente na porção central do estado.

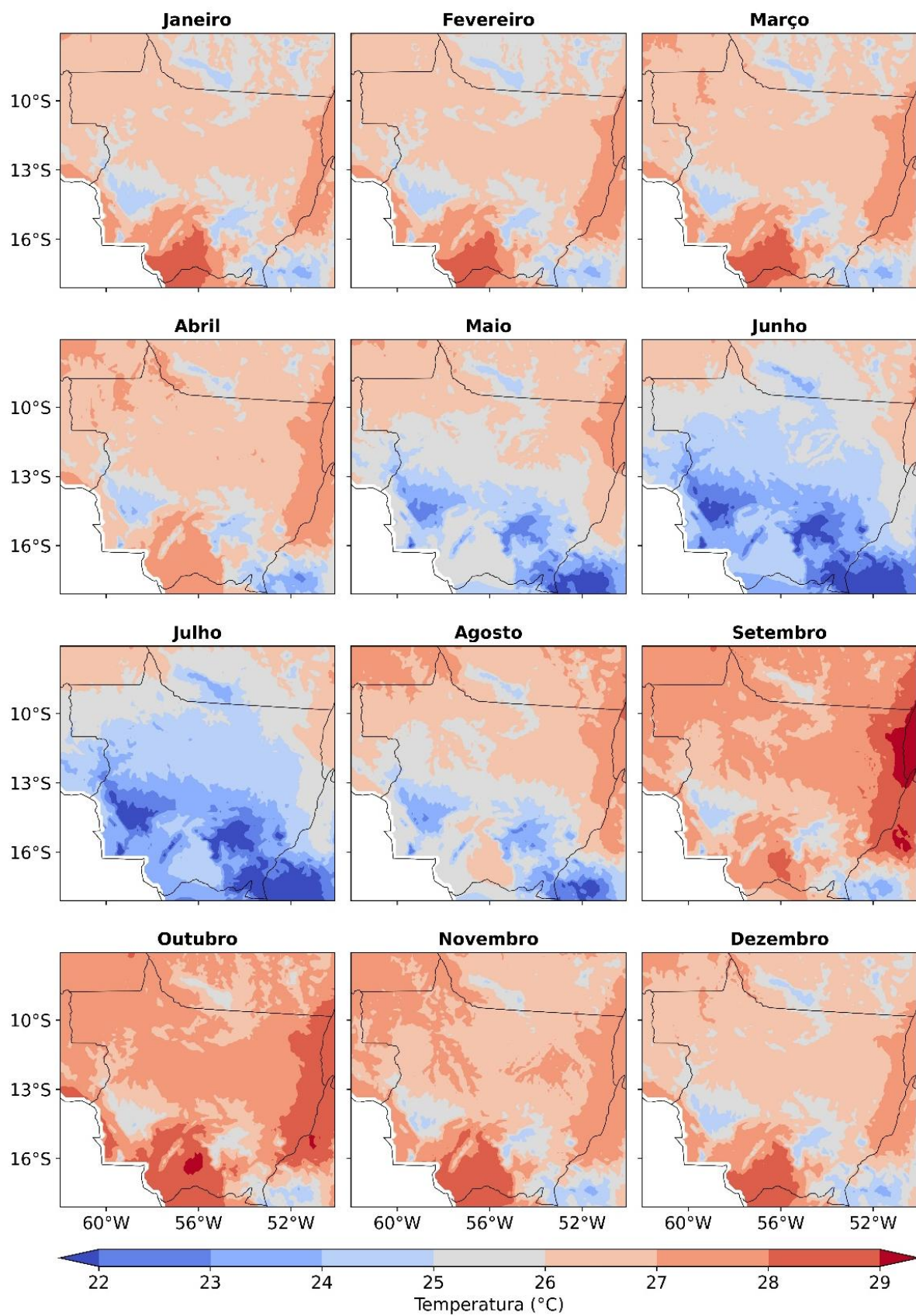


Figura 2.2 - Média mensais das temperaturas médias entre 1980 e 2020 para o MT, usando dados de Xavier *et al.* (2022).

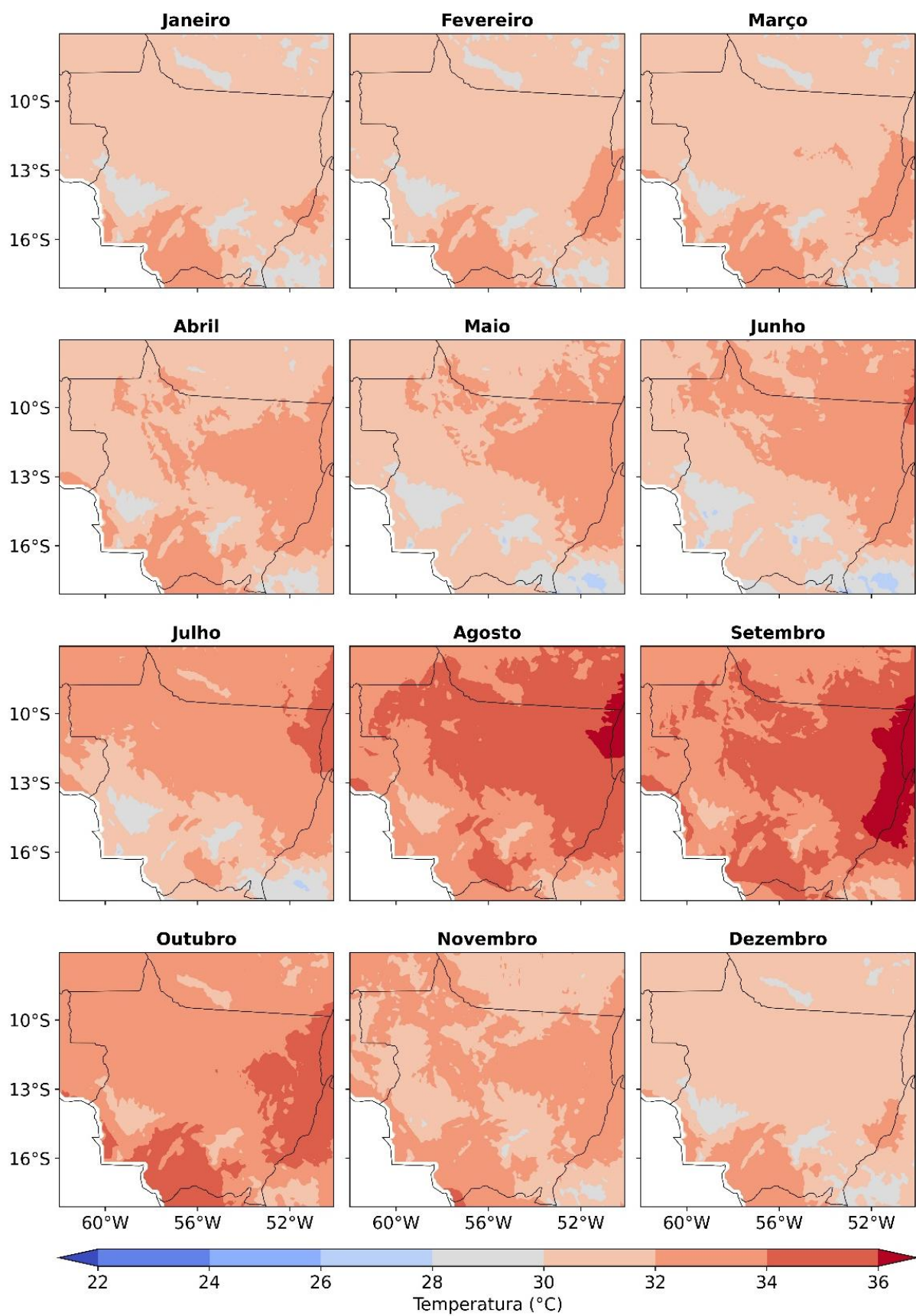


Figura 2.3 - Média mensais das temperaturas máximas entre 1980 e 2020 para o MT, usando dados de Xavier *et al.* (2022).

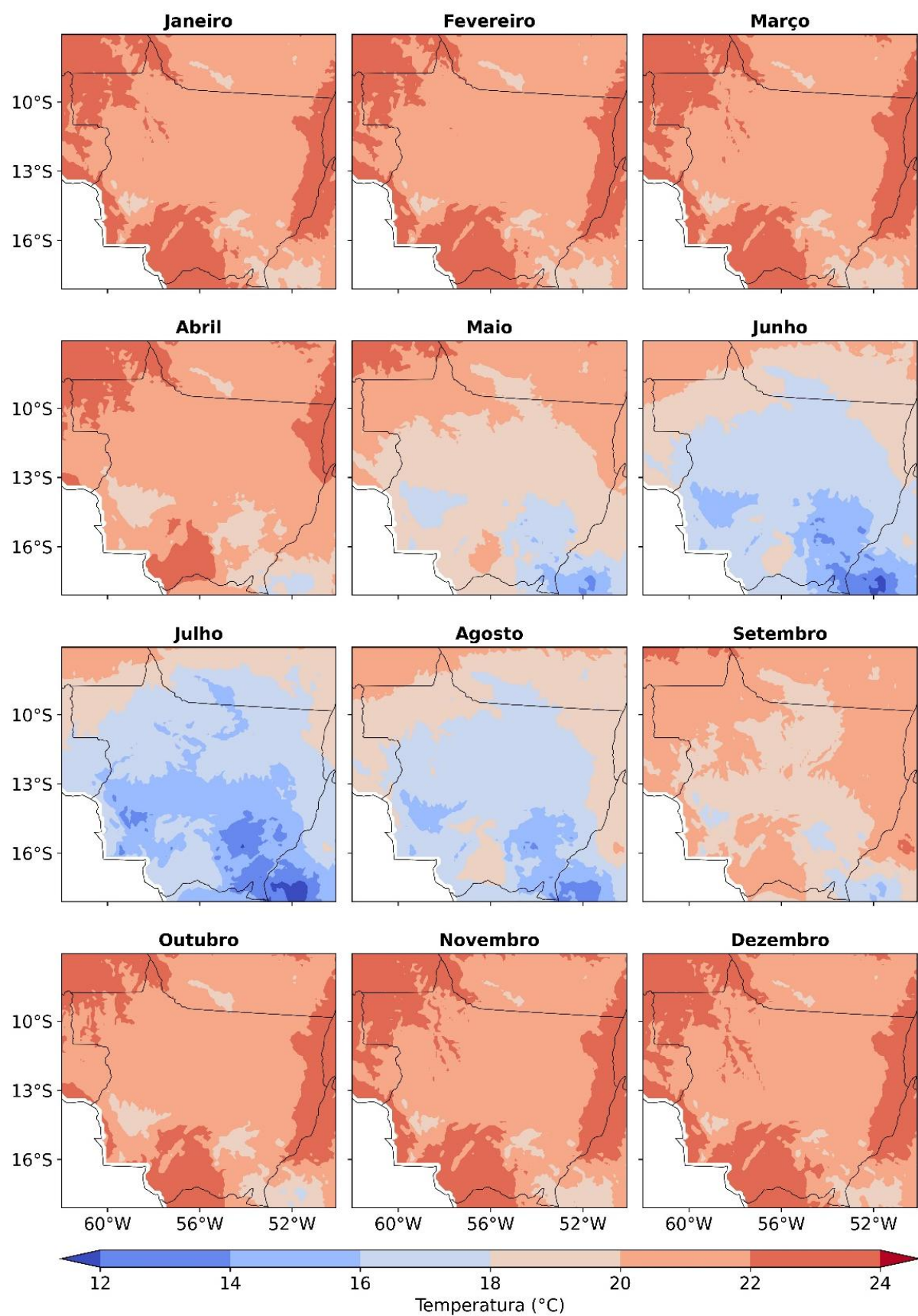


Figura 2.4 - Média mensais das temperaturas mínimas entre 1980 e 2020 para o MT, usando dados de Xavier *et al.* (2022).

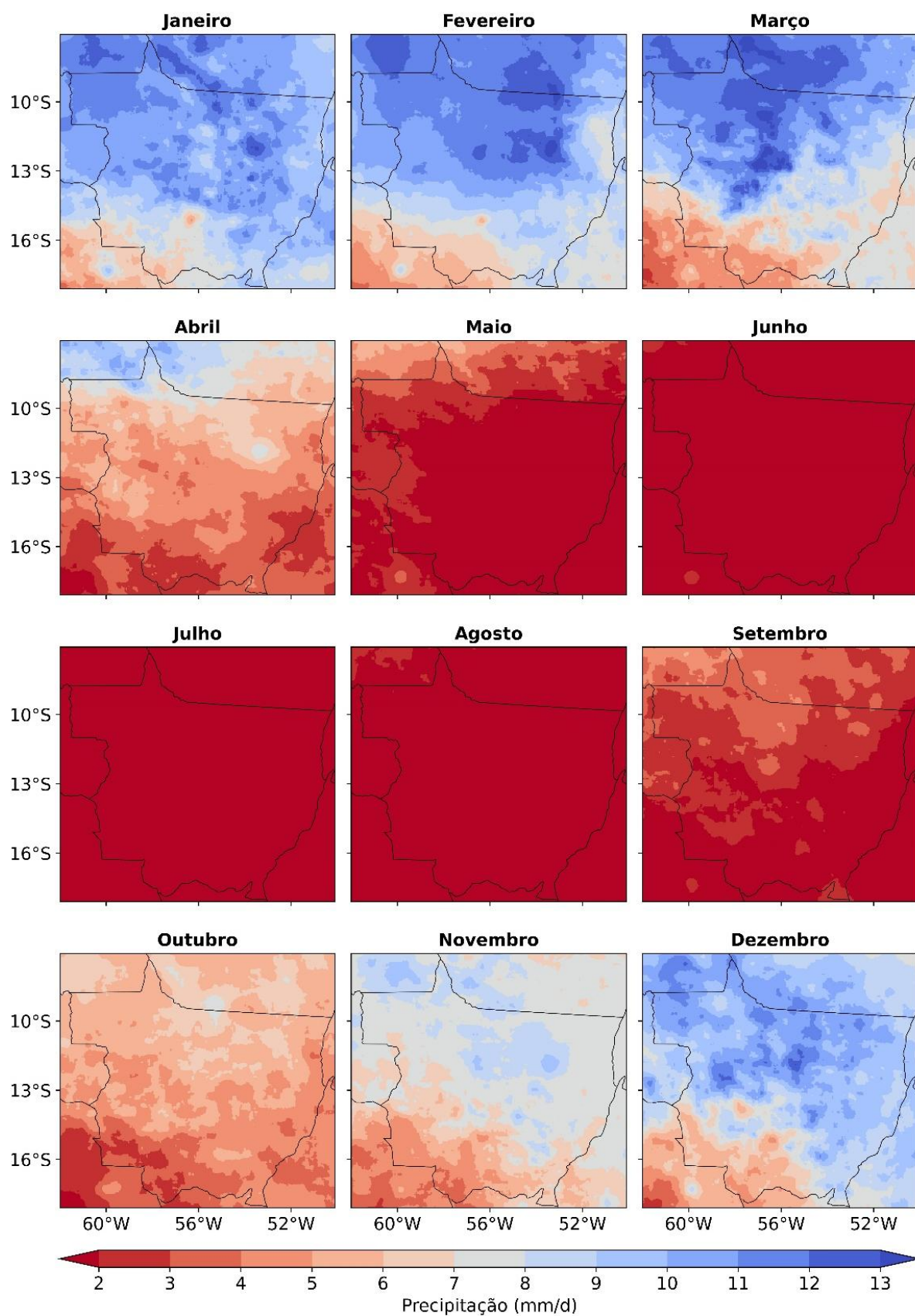


Figura 2.5 - Média mensal diária das precipitações entre 1980 e 2022 para o MT, usando dados do CHIRPS.

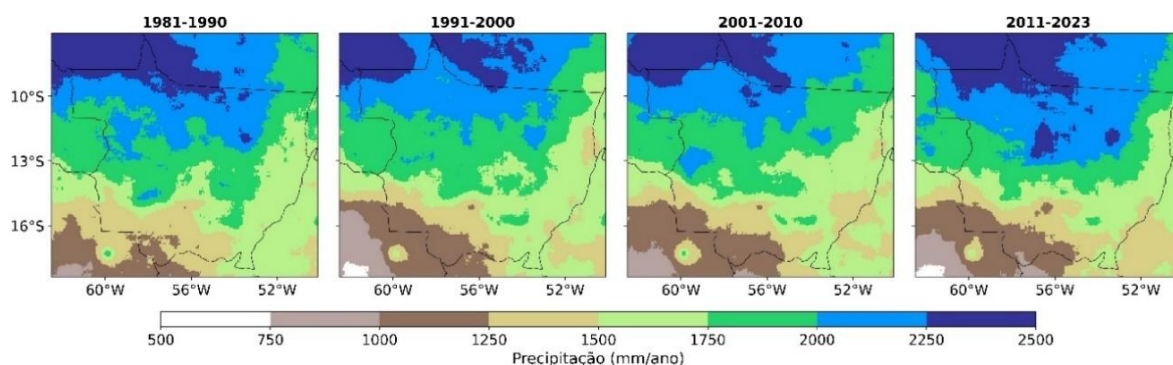


Figura 2.6 - Média do total anual precipitado sobre o MT, considerando as últimas quatro décadas, usando dados do CHIRPS (Funk *et al.*, 2015).

Aplicando a análise de estação chuvosa nos dados observados do CHIRPS, foi possível notar a dominância do gradiente noroeste – sudeste em relação às datas de início das chuvas. Enquanto a porção noroeste do estado apresenta um início de chuvas entre 15 de agosto e 14 de setembro, a porção sudeste tem o início das chuvas a partir de 15 de setembro (Figura 2.7), configurando uma diferença de até um mês para o estabelecimento das chuvas em todo o estado.

Ademais, é possível observar que esse gradiente está presente na análise da duração das chuvas: na porção mais ao norte e noroeste as chuvas duram cerca de $\frac{2}{3}$ do ano (mais que 230 dias); já no sul e sudeste do estado, percebe-se um comportamento mais sazonal, com a estação chuvosa distribuindo-se na faixa de 175 e 215 dias (Figura 2.7). Também foi possível observar uma pequena diferença do início da estação chuvosa entre as décadas, sendo que o período de 2001-2021 apresentou um maior atraso no início das chuvas na maior parte de MT, quando comparado com as outras décadas (Figura 2.7).

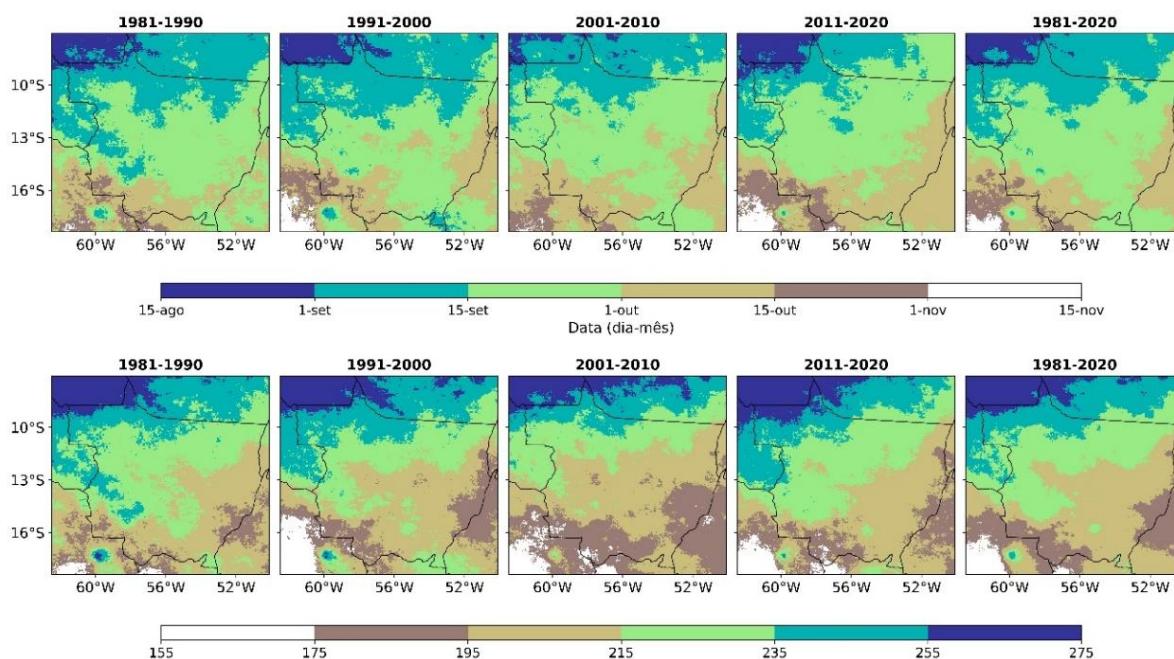


Figura 2.7 - Início (linha superior) e duração (linha inferior) da estação chuvosa no MT, considerando as últimas quatro décadas, usando dados do CHIRPS (Funk *et al.*, 2015).

2.3 IDENTIFICAÇÃO DAS TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS

2.3.1 Introdução

O setor agrícola brasileiro apresentou um crescimento notável da produtividade nas últimas décadas, impulsionado por investimentos em inovação, facilitação de financiamento e liberalização do comércio (Arias *et al.*, 2017). Para garantir a crescente produtividade, é necessário se adaptar às condições climáticas, já que a agricultura é dependente do clima. Sendo assim, a identificação de tendências climáticas desempenha um papel crucial, considerando que as mudanças climáticas podem diminuir a produção agrícola por hectare no Brasil em 18% até 2030-2049 (Assunção e Chein, 2016).

As anomalias climáticas podem causar perdas econômicas consideráveis, estimando-se que os desvios de precipitação no Brasil, no ano de 2006, tenham custado bilhões de reais (Pereda e Alves, 2018), reforçando, assim, a necessidade de identificação das tendências climáticas em áreas brasileiras de produção agrícola.

2.3.2 Atividades Desenvolvidas

Considerando não apenas as condições climáticas atuais, mas também antevendo possíveis mudanças futuras, foram realizadas análises prospectivas para compreender o

impacto das mudanças climáticas na região de Mato Grosso (MT). Assim, os esforços foram direcionados para examinar as tendências climáticas até meados do século, abrangendo o período de análise de 1990 até o ano de 2049.

Nesse contexto, as análises foram particularmente focadas no comportamento da estação chuvosa, uma vez que há o predomínio do plantio em múltiplas safras na região que acompanha a dinâmica do período chuvoso. Foram utilizados os dados simulados pelo *Community Earth System Model version 1.0.6* (CESM) (Hurrell *et al.*, 2013) para a realização de uma análise de probabilidade de início e duração da estação chuvosa.

2.3.3 Resultados

2.3.3.1 Projeção da probabilidade de início da estação chuvosa

Pode ser observado que ao longo das décadas, a probabilidade do início da estação chuvosa no mês de setembro reduz drasticamente (Figura 2.8). Simultaneamente, a probabilidade de as chuvas iniciarem durante outubro aumenta consideravelmente nas porções sudoeste e nordeste do MT (Figura 2.9 e Figura 2.10). Além disso, as chuvas iniciadas em novembro, que para o período de 1990-2000 chegavam ao máximo de 10% para considerável área do estado, atingem até 30% nas décadas posteriores (Figura 2.11).

A duração da estação chuvosa também foi fortemente impactada pelas mudanças climáticas. As durações de 180 dias aumentam na mesma medida em que locais com duração maiores - superiores a 220 dias - diminuem sendo a região sudeste a mais prejudicada, possuindo as maiores recessões de duração da estação chuvosa (Figura 2.12 – Figura 2.15).

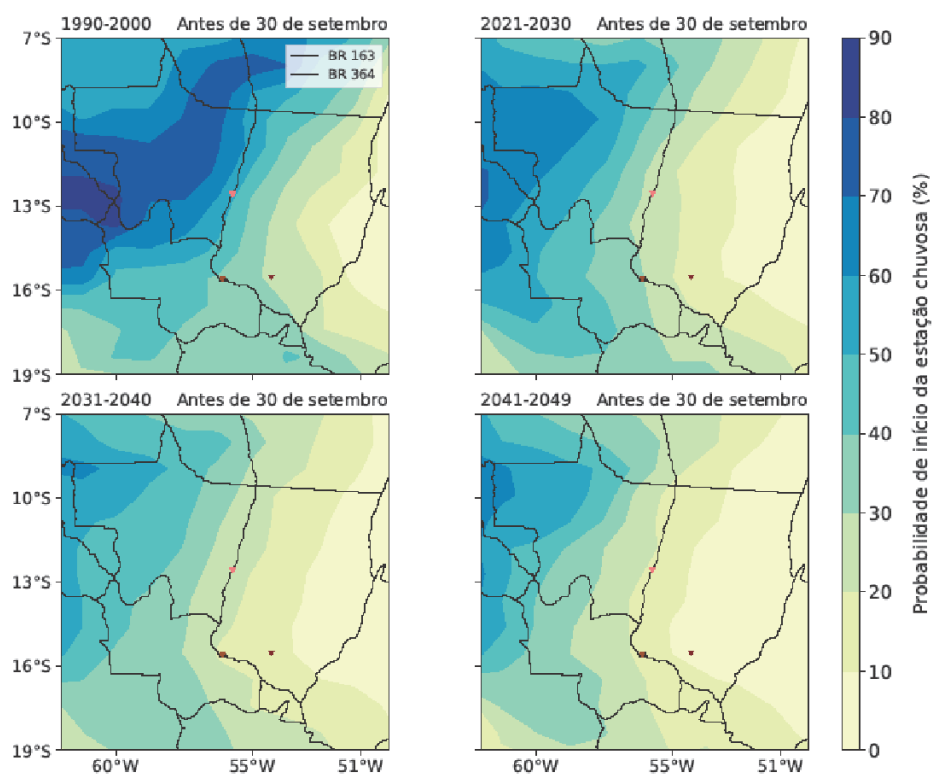


Figura 2.8 - Probabilidade de início da estação chuvosa antes de 30 de setembro, considerando dados climáticos simulados pelo CESM, para o período histórico (1990 – 2000) e décadas futuras (2021 – 2030, 2031 – 2040 e 2041 - 2050).

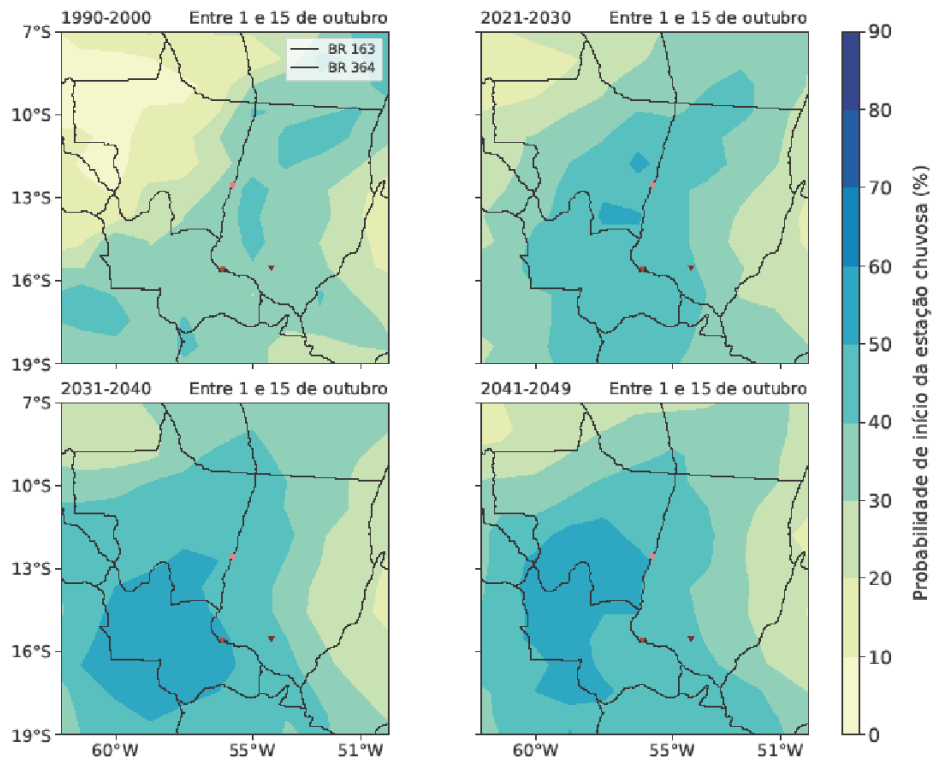


Figura 2.9 - Probabilidade de início da estação chuvosa entre 1 e 15 de outubro, considerando dados climáticos simulados pelo CESM, para o período histórico (1990 – 2000) e décadas futuras (2021 – 2030, 2031 – 2040 e 2041 - 2050).

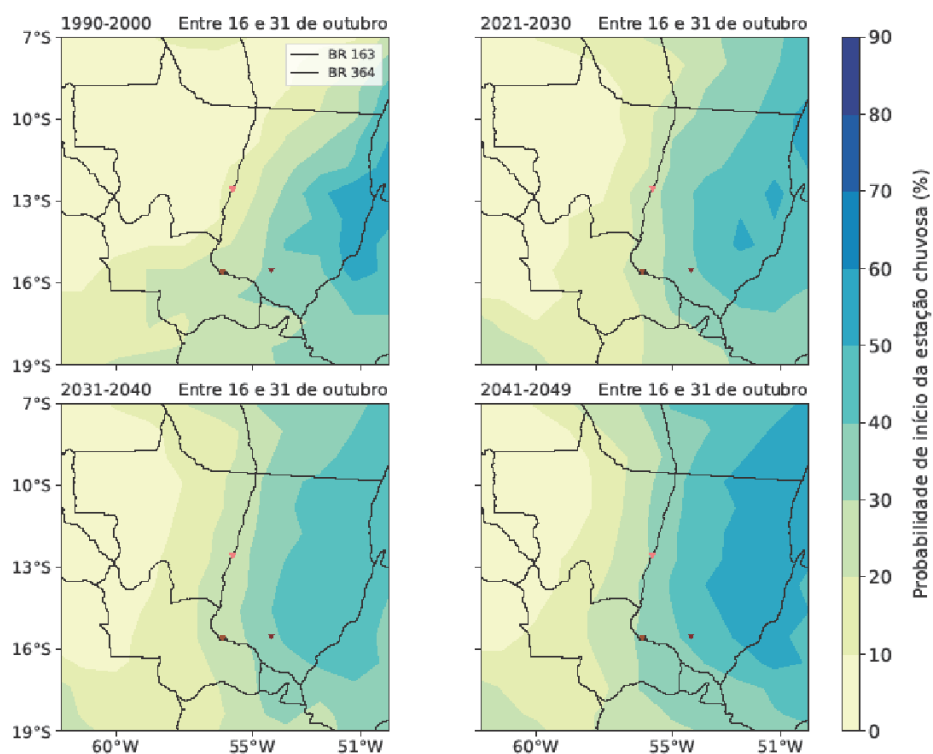


Figura 2.10 - Probabilidade de início da estação chuvosa entre 16 e 31 de outubro, considerando dados climáticos simulados pelo CESM, para o período histórico (1990 – 2000) e décadas futuras (2021 – 2030, 2031 – 2040 e 2041 - 2050).

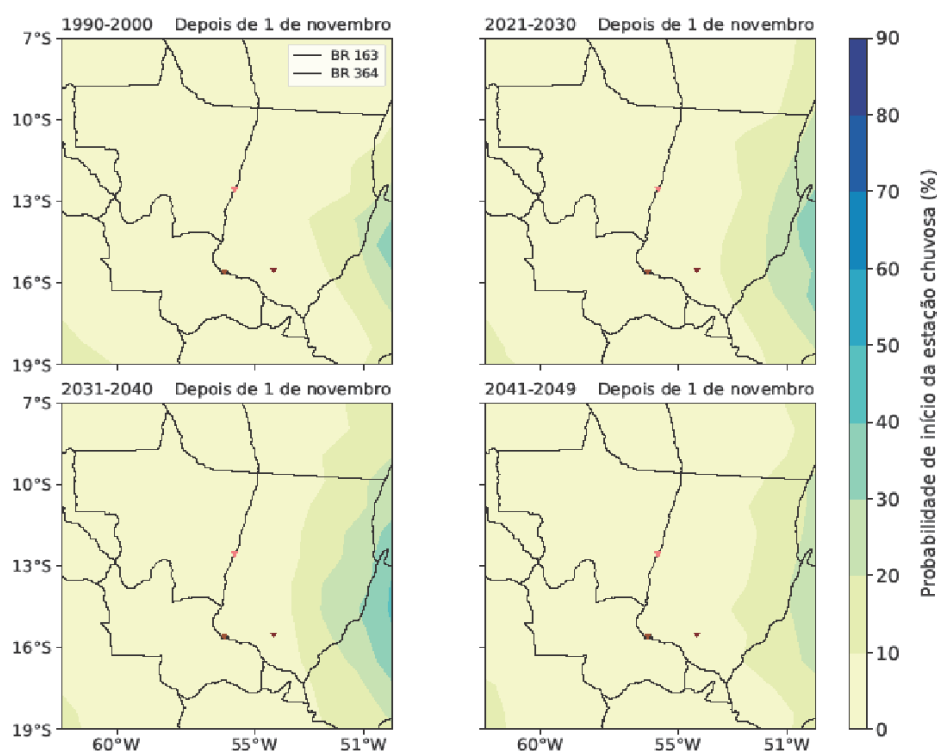


Figura 2.11 - Probabilidade de início da estação chuvosa após 1 de novembro, considerando dados climáticos simulados pelo CESM, para o período histórico (1990 – 2000) e décadas futuras (2021 – 2030, 2031 – 2040 e 2041 - 2050).

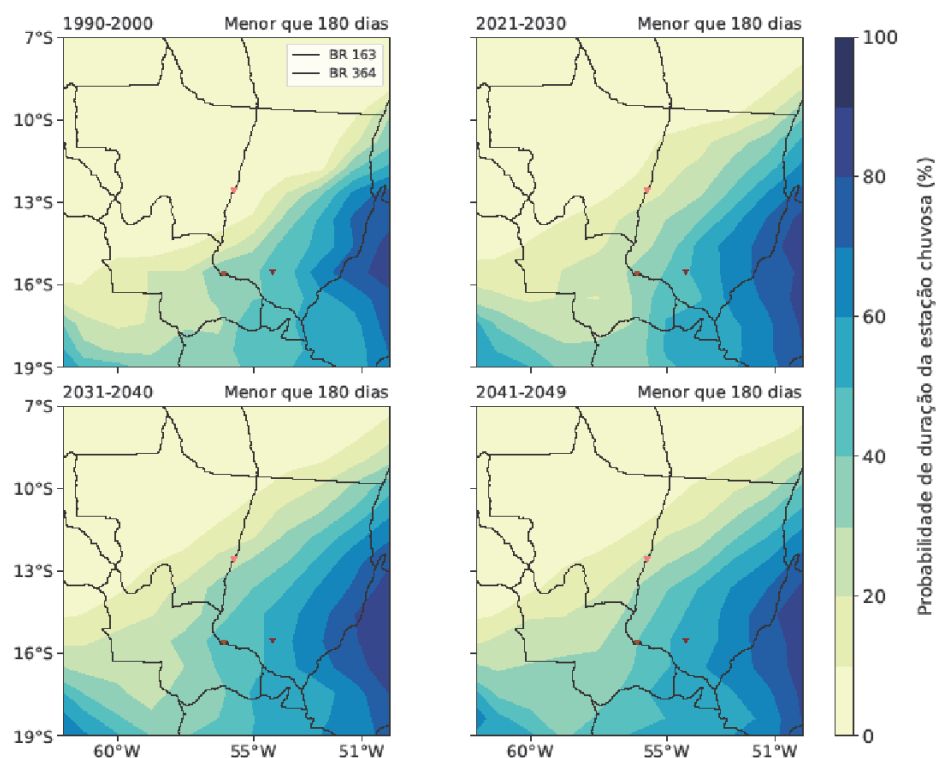


Figura 2.12 - Probabilidade de a duração da estação chuvosa ser menor que 180 dias, considerando dados climáticos simulados pelo CESM, para o período histórico (1990 – 2000) e décadas futuras (2021 – 2030, 2031 – 2040 e 2041 - 2050).

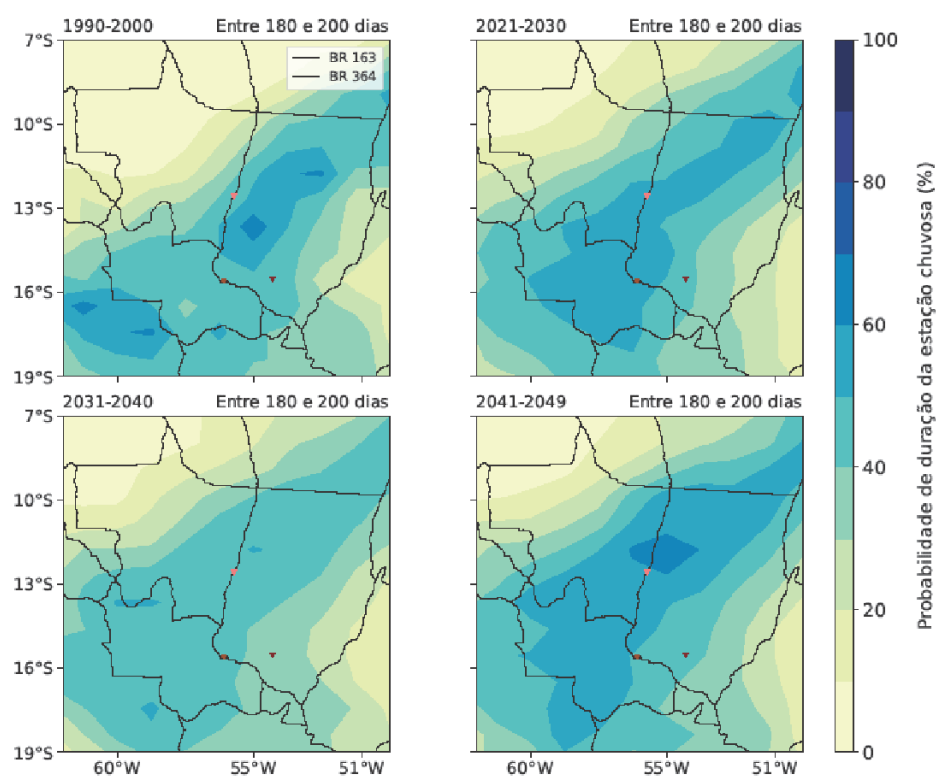


Figura 2.13 - Probabilidade de a duração da estação chuvosa ficar entre 180 e 200 dias, considerando dados climáticos simulados pelo CESM, para o período histórico (1990 – 2000) e décadas futuras (2021 – 2030, 2031 – 2040 e 2041 - 2050).

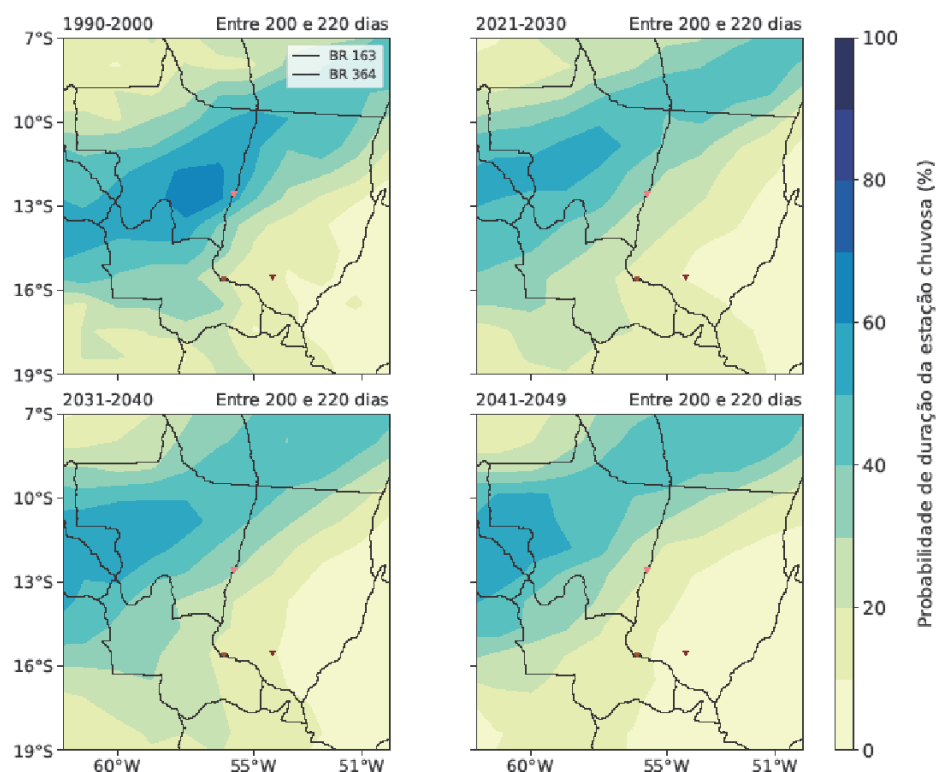


Figura 2.14 - Probabilidade de a duração da estação chuvosa ficar entre 200 e 220 dias, considerando dados climáticos simulados pelo CESM, para o período histórico (1990 – 2000) e décadas futuras (2021 – 2030, 2031 – 2040 e 2041 - 2050).

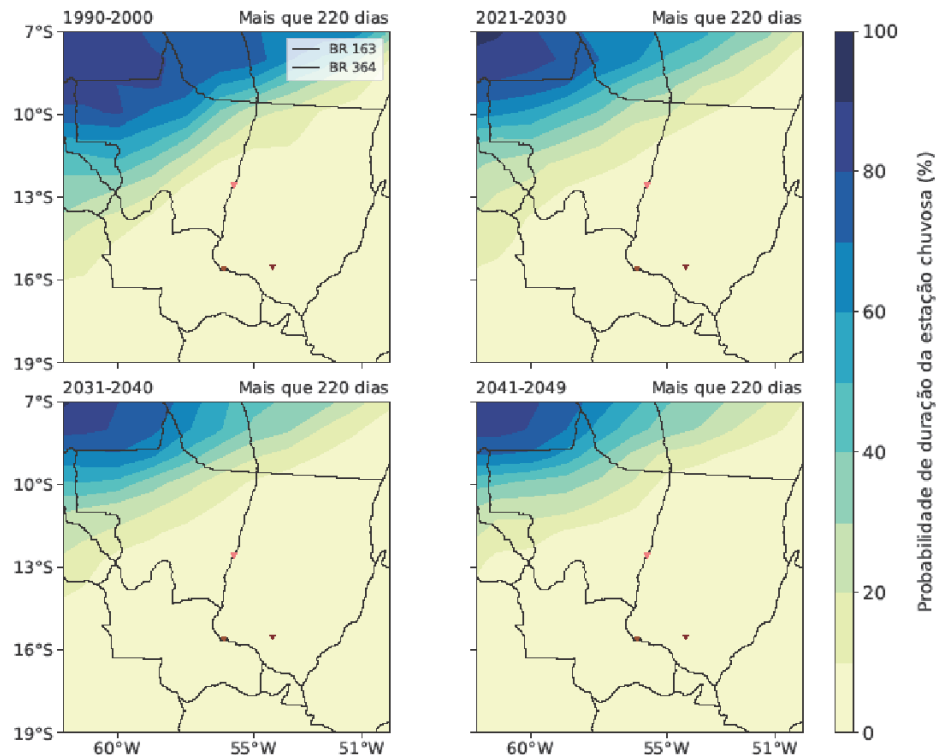


Figura 2.15 - Probabilidade de a duração da estação chuvosa ser maior que 220 dias, considerando dados climáticos simulados pelo CESM, para o período histórico (1990 – 2000) e décadas futuras (2021 – 2030, 2031 – 2040 e 2041 - 2050).

2.4 IDENTIFICAÇÃO DAS IMPLICAÇÕES PARA PRODUÇÃO IRRIGADA

2.4.1 Introdução

O estado do Mato Grosso apresentou um crescimento da atividade agrícola nas últimas três décadas, aumentando a produção de soja e milho de 260.000 toneladas em 1980 para 90 milhões toneladas em 2023.

Dentre diversos fatores, a adoção de sistemas de dupla safra foi um dos impulsionadores do aumento da produção desses grãos na região, principalmente a de milho, que é plantado na mesma área após a colheita de soja dentro do mesmo calendário agrícola. Essa prática foi possível de ser adotada, em sistema de sequeiro, no estado do Mato Grosso devido a existência de uma estação chuvosa longa que vai do fim de setembro a maio (Arvor et al. 2014). Atualmente, cerca de 70% (8.5 Mha) da área plantada do estado é de dupla safra (Zhang et al. 2021).

Como a maioria do sistema de dupla-safra do estado é cultivado sob o regime de sequeiro, essa prática agrícola é bastante dependente da variabilidade climática, especialmente da duração da estação chuvosa. A duração da estação chuvosa em boa parte do estado do Mato Grosso é influenciada principalmente pela mudança na composição atmosférica (mudança climática global) e o desmatamento dos biomas Amazônia e Cerrado (Leite-Filho et al. 2019; Commar et al. 2023). Vários estudos vêm mostrando um atraso no início da estação chuvosa, e consequentemente, redução da estação chuvosa na região devido à essas mudanças (Costa and Pires 2010; Fu et al. 2013; Boisier et al. 2015; Leite-Filho et al. 2019).

Dessa forma, com a intensificação das mudanças climáticas, a prática de dupla-safra está ameaçada no estado do Mato Grosso. Estratégias de adaptação deverão ser adotadas para que esse sistema continue altamente produtivo nos próximos anos, podendo a irrigação se tornar uma grande aliada nesse objetivo. Com isso, este relatório tem como objetivo discutir os resultados encontrados nas etapas 2.1, 2.2 e 2.3, relacionando-os a atividade de irrigação no estado do Mato Grosso.

2.4.2 Atividades desenvolvidas

Análise dos resultados obtidos nas etapas 2.1, 2.2 e 2.3, e discussão das implicações para produção irrigada.

2.4.3 Discussão e conclusão

A precipitação no estado do Mato Grosso apresentou uma tendência de redução ao longo do tempo, com reduções significativas para as regiões de Primavera do Leste e do Pantanal, esta última com anomalias superiores a 150 mm de 1981 a 2020. Em quase todo o estado, foi observado também um atraso no início e redução da duração da estação chuvosa, com destaque para as cidades de Sorriso e Primavera do Leste, grandes produtoras de grãos.

Os resultados das projeções futuras indicam que é estimado um atraso no início da estação chuvosa maior do que o que ocorreu no período de 2000 a 2020, para as cidades de Sorriso e Primavera do Leste. À medida que o tempo passa, as projeções indicam um atraso no início da estação chuvosa cada vez maior, com inícios mais tardios para o período de 2041 a 2050. Os atrasos do início da estação chuvosa nesse período em comparação com o observado são de cerca de 15 dias para essas cidades.

Esses resultados demonstram que o clima do fim do século 20 do estado do Mato Grosso, caracterizado por um clima chuvoso e com uma longa estação chuvosa, não será mais o mesmo na primeira metade do século 21. E que as práticas agrícolas antes utilizadas não serão mais viáveis.

A prática da dupla safra na região está ameaçada com o encurtamento da estação chuvosa, tanto o que já vêm ocorrendo como o projetado para o futuro. A suplementação da irrigação no início da primeira safra e no fim da segunda safra para que não haja perdas de produtividade pode ser uma solução sem utilização de muita água. Mas ao mesmo tempo, essa alternativa é desafiadora, já que devido ao clima do Mato Grosso, a irrigação era quase inexistente no início dos anos 2000 no estado. Apesar de um crescimento nos últimos anos, as áreas irrigadas no Mato Grosso são inferiores a 200.000 hectares, enquanto a necessidade de irrigação agora é de cerca de 10.000.000 hectares (Rocha Junior *et al.* 2020), uma diferença de 50 vezes. Os desafios são muitos, em termos de produção e distribuição de energia, e disponibilidade de crédito para os produtores para atender essa necessidade. Além disso, é essencial um monitoramento dos recursos hídricos da região para redução dos riscos de conflito de água e estresse hídrico.

2.5 DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO

2.5.1 Introdução

Com o encurtamento da estação chuvosa e a redução dos totais precipitados que já vêm ocorrendo nas regiões agrícolas do estado do Mato Grosso, a prática agrícola de dupla safra

está ameaçada. A projeção para o futuro é a intensificação desses processos com as mudanças climáticas.

Dessa forma, será necessário elaborar estratégias de adaptação para manter os sistemas de dupla safra altamente produtivos no futuro. Com isso, esse relatório tem como objetivo discutir as estratégias de adaptação para os sistemas de dupla safra no estado do Mato Grosso.

2.5.2 Atividades desenvolvidas

Análise dos resultados obtidos nas etapas 2.1, 2.2 e 2.3, e discussão das estratégias de adaptação para a região.

2.5.3 Discussão e conclusão

A suplementação da irrigação no início da primeira safra e no fim da segunda safra para que não haja perdas de produtividade pode ser uma solução sem utilização de muita água. Mas ao mesmo tempo, essa alternativa é desafiadora como comentado no relatório 2.4. O aumento da irrigação terá que ser de 50 vezes no estado, e isso implicará em expansão de infraestrutura de irrigação como produção e distribuição de energia, além de disponibilidade de crédito para os agricultores. E para reduzir os riscos de estresse e conflito hídrico no estado, será necessário um monitoramento dos recursos hídricos para acompanhar essa expansão da agricultura irrigada.

Outras alternativas de adaptação podem ser implementadas como: adoção de cultivares mais resistentes as secas, as altas temperaturas e doenças (Lybbert and Sumner 2012; Hampf et al. 2020), adoção de cultivares de ciclo mais curtos para reduzir a vulnerabilidade em relação ao encurtamento da estação chuvosa e a exposição aos eventos extremos que podem ocorrer durante o período de crescimento das culturas (Lybbert and Sumner 2012; Abrahão and Costa 2018; Brumatti et al. 2020), adoção de práticas agrícolas que priorizem a conservação de água e solo, e adoção de medidas que visem a conservação dos biomas brasileiros (Amazônia, Cerrado e Pantanal, presentes no estado do Mato Grosso), visto que vários estudos demonstraram uma relação negativa entre chuvas e desmatamento, e consequentemente, produção agrícola (Pires et al. 2016; Leite-Filho et al. 2019; Brumatti et al. 2020; Flach et al. 2021; Leite-Filho et al. 2021, 2024; Batista et al. 2023).

3 META 3 - ESTUDO DO USO/OCUPAÇÃO DO SOLO E DA DEMANDA HÍDRICA

3.1 LEVANTAMENTO DA ÁREA DISPONÍVEL PARA IRRIGAÇÃO

3.1.1 Introdução

No Brasil, a atividade de irrigação se iniciou no Rio Grande do Sul com o cultivo de arroz, e foi adotada em outras regiões nas décadas de 1970 e 1980. Com o crescimento da atividade na última década novos polos de irrigação surgiram no país (ANA, 2021).

A região Central do país, onde se localiza o estado do Mato Grosso, apesar de possuir uma estação chuvosa longa, apresenta um período de maio a setembro onde há escassez de chuva, sendo necessário o uso de irrigação caso ocorra plantio nesse período (Arvor *et al.*, 2014, ANA, 2021).

No estado do Mato Grosso, existem dois polos de irrigação: o do médio norte, que abrange a região do Alto Teles Pires, e o do Rio das Mortes. Para que a atividade de irrigação expanda no estado, há a necessidade de avaliar a disponibilidade de área e as regiões em que é possível expandir de acordo com critérios que favoreçam a instalação da tipologia de pivô central. Dessa forma, o objetivo dessa etapa é identificar as áreas possíveis de expansão para a irrigação no estado do Mato Grosso e nos polos de irrigação do Médio Norte e do Rio das Mortes.

3.1.2 Atividades desenvolvidas

O levantamento da área disponível para a expansão sustentável da irrigação foi feito considerando critérios necessários para a sua implementação, como proximidade dos rios (considerado de até 10 km), declividade do terreno inferior à 5%, terra já em uso pela agropecuária e ausência de áreas protegidas (unidades de conservação, terras indígenas, área de proteção permanente e reserva legal).

Os valores de declividade foram calculados a partir dos dados de elevação do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (Farr *et al.*, 2007), disponíveis para quase todo o globo em uma resolução espacial de 30 × 30 m. Os dados foram obtidos para todo o estado do Mato Grosso por meio da plataforma *Google Earth Engine*.

O dado de uso e cobertura do solo utilizado na análise foi o do ano de 2022, o qual foi obtido da coleção 8 do projeto MAPBIOMAS. O MAPBIOMAS é um projeto que mapeia a cobertura e uso do solo do Brasil de 1985 a 2022 em uma resolução espacial de 30 × 30 m, por

meio de classificação pixel a pixel de imagens LANDSAT, utilizando o classificador Random Forest (Souza *et al.*, 2020). Foram selecionadas as classes de uso do solo de agropecuária, vegetação nativa, áreas alagáveis e outros usos. Foi considerado como agropecuária as seguintes classes do MAPBIOMAS: pastagem, agricultura, agricultura temporária, soja, cana de açúcar, arroz, algodão, outras culturas temporárias, cultura perene, café, Dendê, citrus, outras culturas perenes, silvicultura e mosaico de usos.

Para vegetação nativa, foram consideradas algumas classes enquadradas em floresta e formação natural não florestal do MAPBIOMAS, mais especificamente: formação florestal, savana, formação campestre e outras formações não florestais. As áreas alagáveis foram consideradas as classes de mangue, floresta alagável, restinga arbórea, apicum, restinga herbácea, campo alagado e área pantanosa. Os outros usos são classes enquadradas em área não vegetada (área urbana, praias, dunas e areal, mineração e outras áreas não vegetadas), corpos d'água e afloramento rochoso do MAPBIOMAS.

Foram utilizados dados de rios da Agência Nacional de Águas (ANA) para determinar as distâncias de até 10 km a partir desses rios. Para essa análise, foram considerados rios com comprimento superior à 10 km. A análise levou em consideração as áreas protegidas no estado do Mato Grosso. Os dados referentes às reservas legais (RL) e áreas de preservação permanente (APP) foram obtidos do Cadastro Ambiental Rural (CAR) (www.car.gov.br). Já os dados de unidades de conservação (UC) e terras indígenas (TI) foram obtidos da plataforma Terrabrasilis (www.terrabrasilis.dpi.inpe.br).

Todos os dados utilizados para a seleção de áreas aptas podem ser visualizados separadamente na figura 3.1.

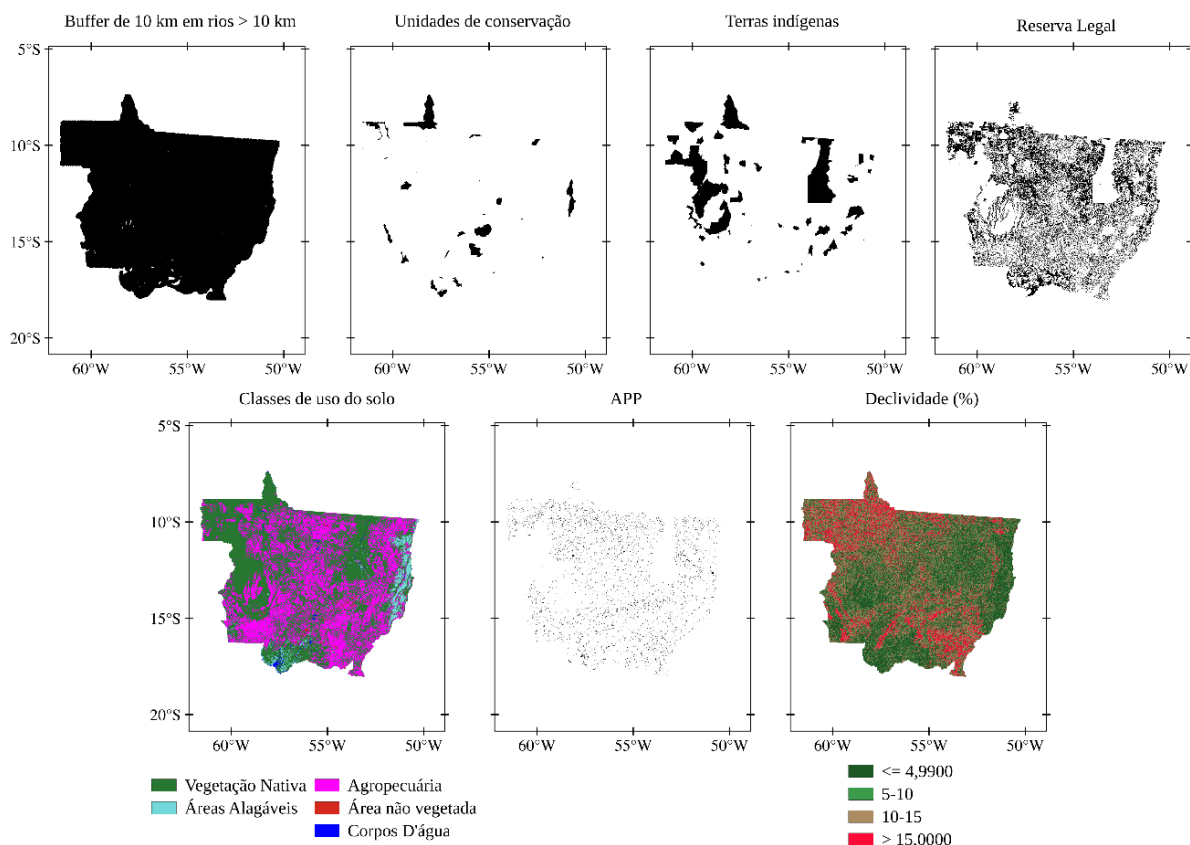


Figura 3.1 - Dados utilizados para a seleção das áreas aptas para agricultura.

A seleção das áreas aptas para a agricultura seguiu o fluxograma (Figura 3.2), chegando à quatro possíveis classificações: restrita ou área alagável, apta e já em uso pela agropecuária, apta, mas com vegetação nativa e inapta. As áreas restritas ou alagáveis são áreas classificadas como RL, APP, UC, TI, mangue, floresta alagável, restinga arbórea, apicum, restinga herbácea ou campo alagado e área pantanosa, não podendo haver expansão agropecuária nessas áreas. As áreas aptas são áreas com declividade inferior à 5% e distante até 10 km de rios, podendo já estar em uso pela agropecuária (apta e já em uso pela agropecuária) ou estar com vegetação nativa (apta, mas com vegetação nativa). É importante ressaltar que para que a expansão da agricultura irrigada seja sustentável, é necessário que esta ocorra em áreas que já estejam em uso pela agropecuária. As áreas que não atendem a esses critérios de declividade e distância de rio ou que possuem outros usos do solo, como corpos d'água e áreas não vegetadas, são classificadas como inapta.

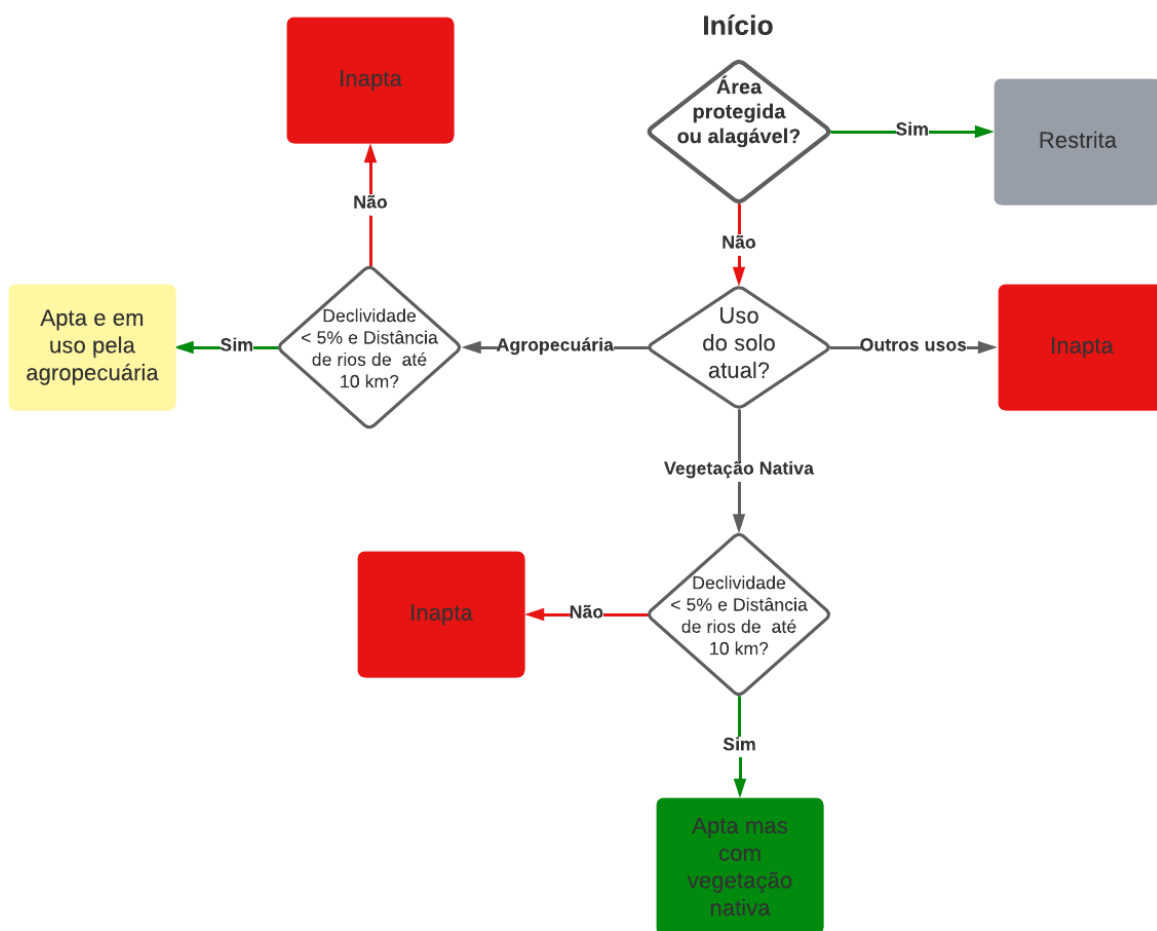


Figura 3.2 - Fluxograma para definição das áreas de aptidão agrícola.

3.1.3 Resultados

De acordo com os critérios estabelecidos para a seleção de áreas aptas para a agricultura, o estado do Mato Grosso possui 18,03 milhões de hectares (Mha) de áreas que são aptas e já estão em uso pela agropecuária (Tabela 3.1). As áreas restritas ou alagáveis equivalem a 48,96 Mha, enquanto as áreas aptas, mas com vegetação nativa e as áreas inaptas equivalem a 5,47 Mha e 17,99 Mha, respectivamente (Tabela 3.1).

A distribuição dessas classes de aptidão agrícola, em uma resolução espacial de 30×30 m, ao longo do estado do Mato Grosso está demonstrada na Figura 3.3.

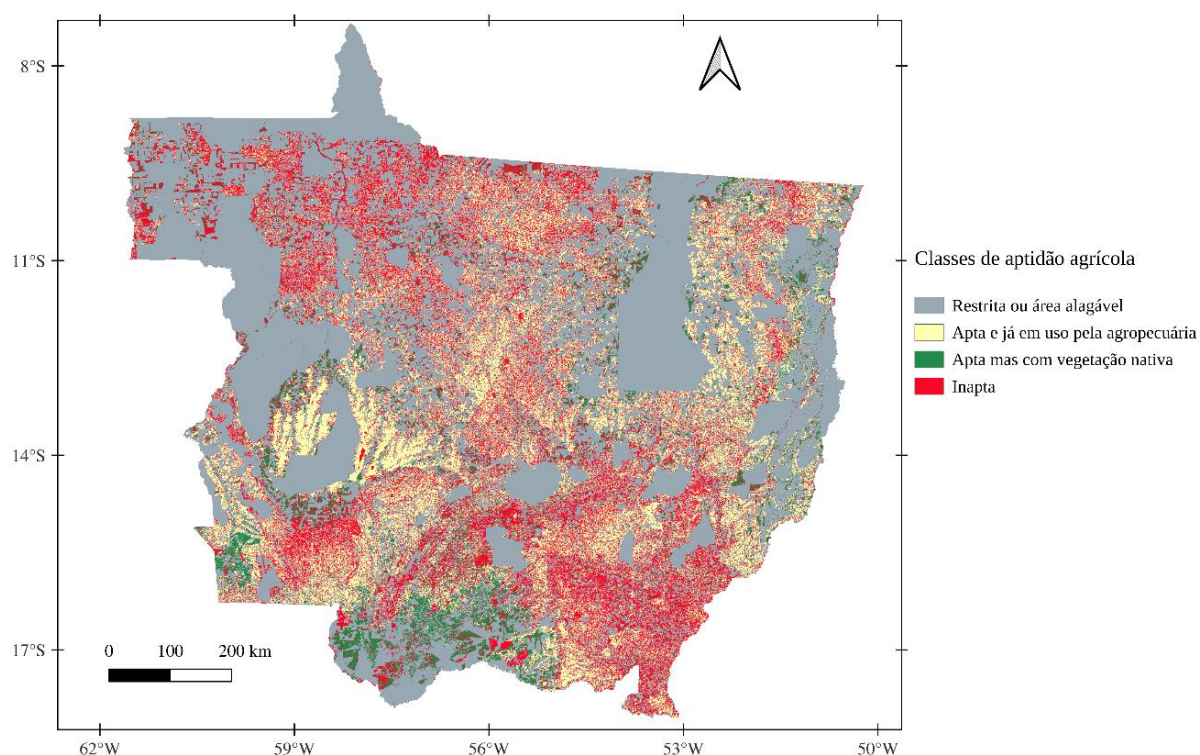


Figura 3.3 - Classificação de aptidão agrícola para o estado do Mato Grosso.

Tabela 3.1 - Áreas das classes de aptidão agrícola para irrigação para o estado do Mato Grosso.

Classes	Área (Mha)
Restrita ou área alagável	48,96
Apta para irrigação e já em uso pela agropecuária	18,03
Apta para irrigação, mas com vegetação nativa	5,47
Inapta	17,99

Para os polos de irrigação, a área restrita ou alagável equivale a cerca de 2,77 Mha e 6,25 Mha para o Rio das Mortes e Médio Norte, respectivamente. Já as áreas aptas para irrigação e já em uso pela agropecuária correspondem a cerca de 1,77 Mha e 3,17 Mha para o Rio das Mortes e Médio Norte, respectivamente. As áreas aptas para irrigação, mas com vegetação nativa equivalem cerca de 0,31 Mha e 0,63 Mha para o Rio das Mortes e o Médio Norte. E por fim, as áreas inaptas correspondem a cerca de 1,29 Mha e 2,46 Mha para o Rio

das Mortes e o Médio Norte, respectivamente (Tabela 3.2). A distribuição espacial das classes de aptidão agrícola está demonstrada na Figura 3.4.

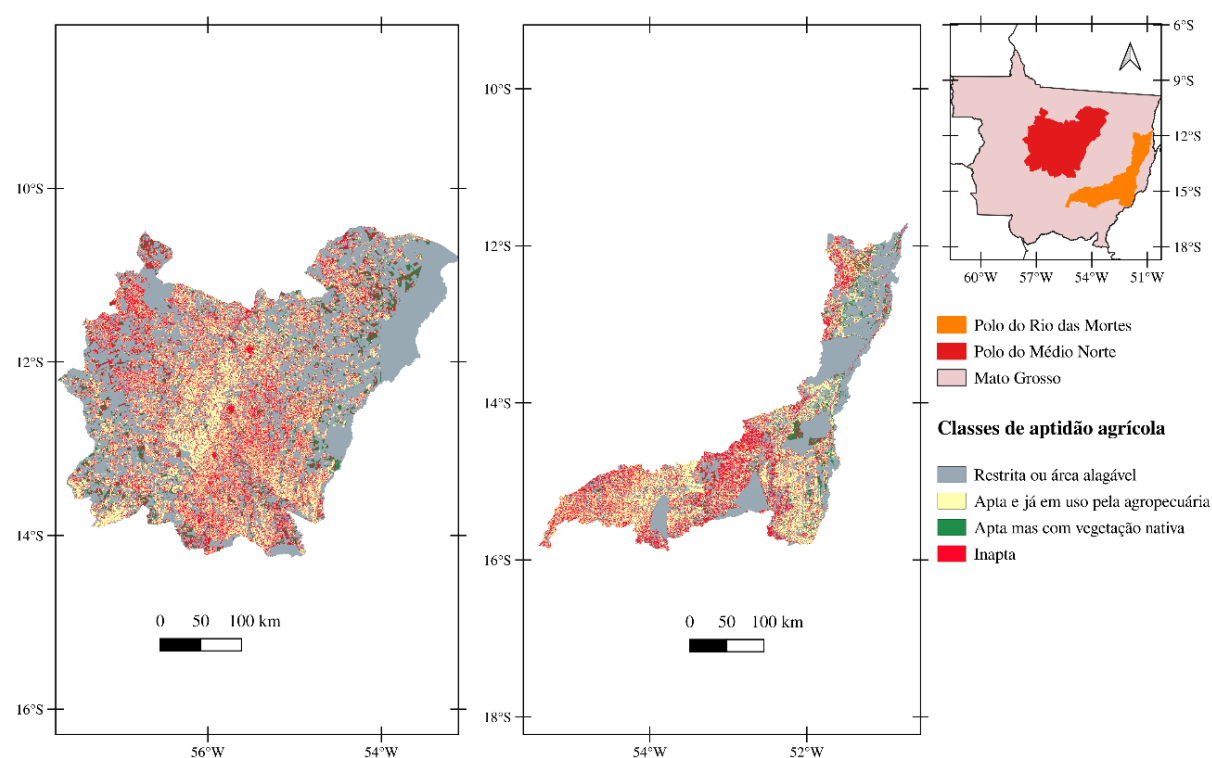


Figura 3.4 - Classificação de aptidão agrícola para os polos de irrigação.

Tabela 3.2 - Áreas das classes de aptidão agrícola para os polos de irrigação do Médio Norte e do Rio das Mortes.

Classes	Área (Mha)	
	Rio das Mortes	Médio Norte
Restrita ou área alagável	2,77	6,25
Apta para irrigação e já em uso pela agropecuária	1,77	3,17
Apta para irrigação, mas com vegetação nativa	0,31	0,63
Inapta	1,29	2,46

3.2 DEFINIÇÃO DAS CULTURAS A SEREM EXPLORADAS

3.2.1 Introdução

Esta etapa visa o levantamento de informações de campo referentes a utilização de água na irrigação das principais culturas exploradas na região com suporte aos estudos de

caracterização espacial através de imagens de satélites. O levantamento das culturas consiste na coleta de informações sobre o comportamento da evapotranspiração no pivô para posterior análise da comparação dessas informações com os dados captados via sensoriamento remoto.

3.2.2 Atividades desenvolvidas e resultados

3.2.2.1 Mapeamento da área ocupada por pivôs centrais

O mapeamento das áreas instaladas com pivôs centrais para o período 2001-2022 foi feito por procedimento de digitalização a partir das imagens dos satélites Landsat 5, 7 e 8 devidamente corrigidas dos efeitos da atmosfera e nuvens. Inicialmente as imagens utilizadas foram selecionadas dentro da plataforma *Google Earth Engine*, recortadas para a região e o período de interesse. Para o mapeamento anual, a imagem de referência foi escolhida durante o período seco do ano (que compreende de abril a setembro) para a obtenção de melhores imagens sem contaminação de nuvens. O mapeamento dos pivôs foi realizado na plataforma SIG do QGIS de maneira visual, com o reconhecimento das feições em composição RGB (Vermelho – Verde – Azul).

O mapeamento realizado mostrou que, em 2022, o estado de Mato Grosso possuía cerca de 177.000 hectares ocupados por pivôs centrais, totalizando 1.387 pivôs. Observou-se um crescimento expressivo na área dedicada a pivôs no polo de Irrigação do Médio Norte de Mato Grosso, que abrange dezenove municípios da região do Alto Teles Pires, bem como na bacia do Rio das Mortes (Figura 3.5, Tabela 3.3).

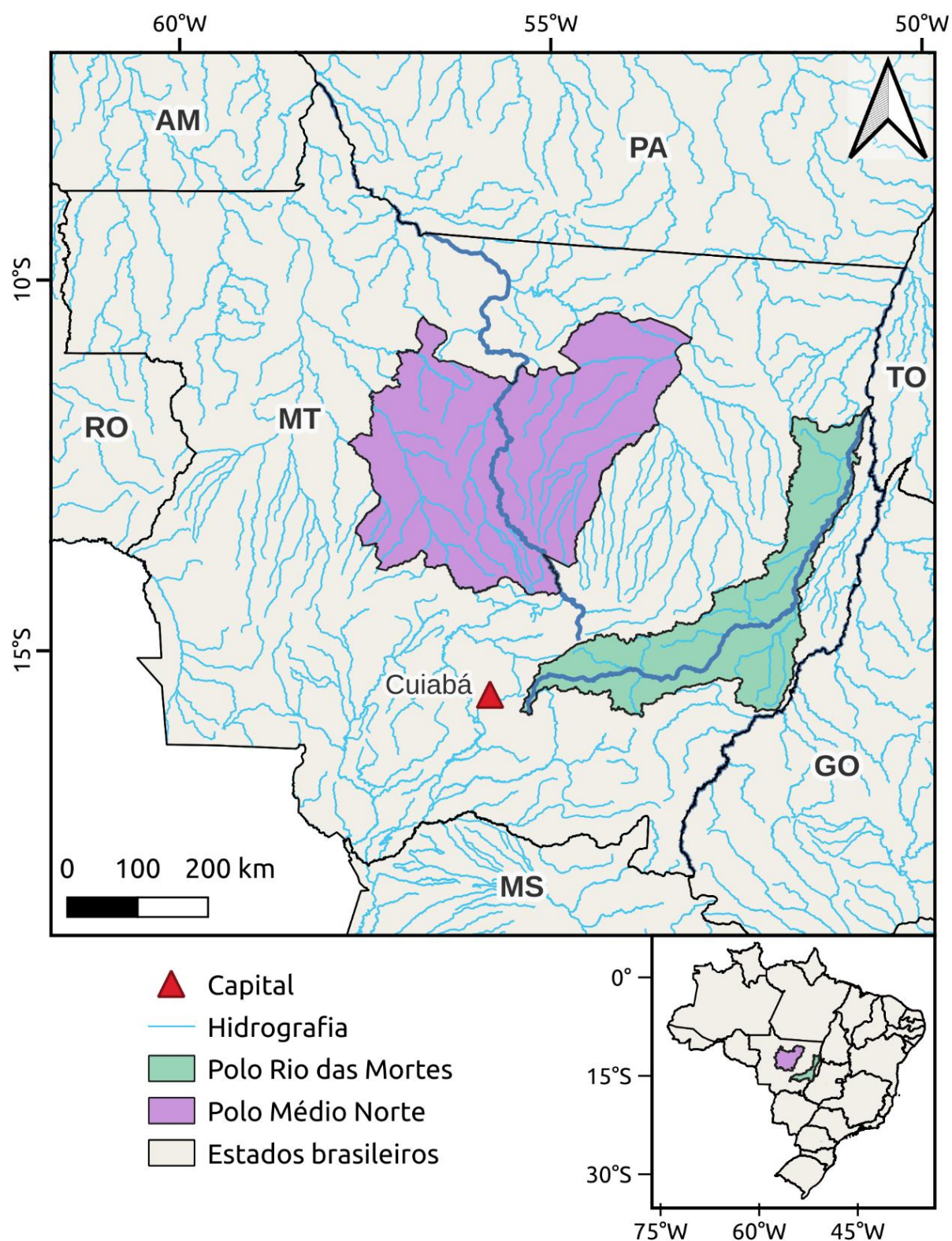


Figura 3.5 - Localização do estado do Mato Grosso e dos principais polos irrigantes do estado, Médio Norte (em lilás) e Rio das Mortes (em verde).

Tabela 3.3 - Evolução da área ocupada por pivôs centrais entre os anos de 2001 e 2022 no estado do Mato Grosso e para os polos de irrigação do Médio Norte e bacia do Rio das Mortes (em 1000 ha).

Anos	Polo Médio Norte	Rio das Mortes	Mato Grosso
2001	3,4	8,6	19,3
2002	4,3	16,6	29,0
2003	6,1	17,1	31,0
2004	11,5	18,8	38,1
2005	12,3	18,4	42,2
2006	12,5	18,1	42,6
2007	12,8	18,5	43,0
2008	13,4	19,8	45,0
2009	13,4	21,0	46,2
2010	13,5	22,5	48,1
2011	14,4	23,0	49,8
2012	17,8	23,8	54,2
2013	26,4	27,5	67,0
2014	32,1	34,1	80,9
2015	38,5	35,7	89,9
2016	44,3	40,6	100,5
2017	51,5	42,4	111,1
2018	58,8	47,1	125,1
2019	70,8	47,1	139,8
2020	81,9	47,4	152,9
2021	90,0	49,8	165,8
2022	97,5	50,0	177,3

3.2.2.2 Levantamento das informações das culturas presentes nos pivôs

Quanto a diversidade de culturas, o estado do Mato Grosso possui cerca de 188.512 km² plantados por culturas temporárias (IBGE, 2024). As principais culturas são: soja (58%), milho (34%), algodão (6%) e feijão (1%) (Figura 3.6).

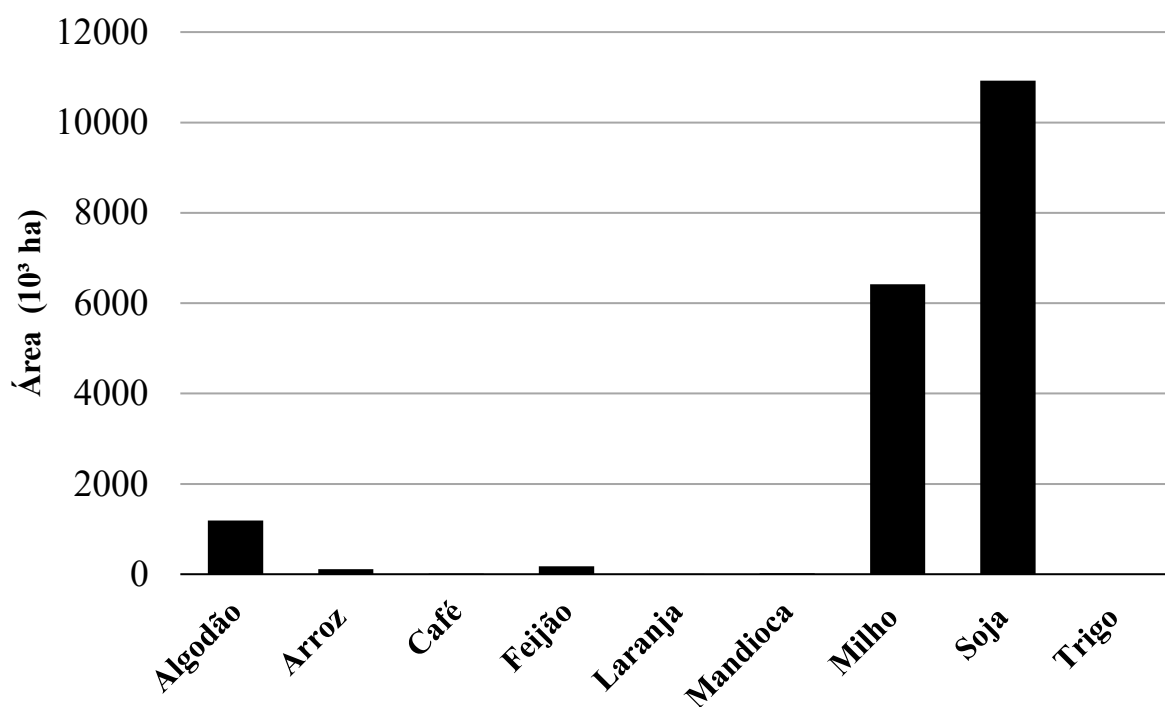


Figura 3.6 - Área plantada ou destinada à colheita (1000 ha) em 2022 para o estado do Mato Grosso (IBGE, 2024).

Apesar da relevância dessas culturas no estado, os dados catalogados nas bases de consulta pública não revelam a diversidade e o padrão do cultivo irrigado. Dessa forma, nesta etapa foi realizado o levantamento das principais culturas cultivadas nos pivôs mapeados na etapa anterior. Foram levantadas informações de 46 pivôs localizados na bacia do Rio das Mortes concedidas por produtores locais. Os pivôs englobam safras de 2018/2019 a 2021/2022, sendo as principais culturas soja, milho, algodão e feijão. A localização dos pivôs pode ser vista na figura 3.7 abaixo.

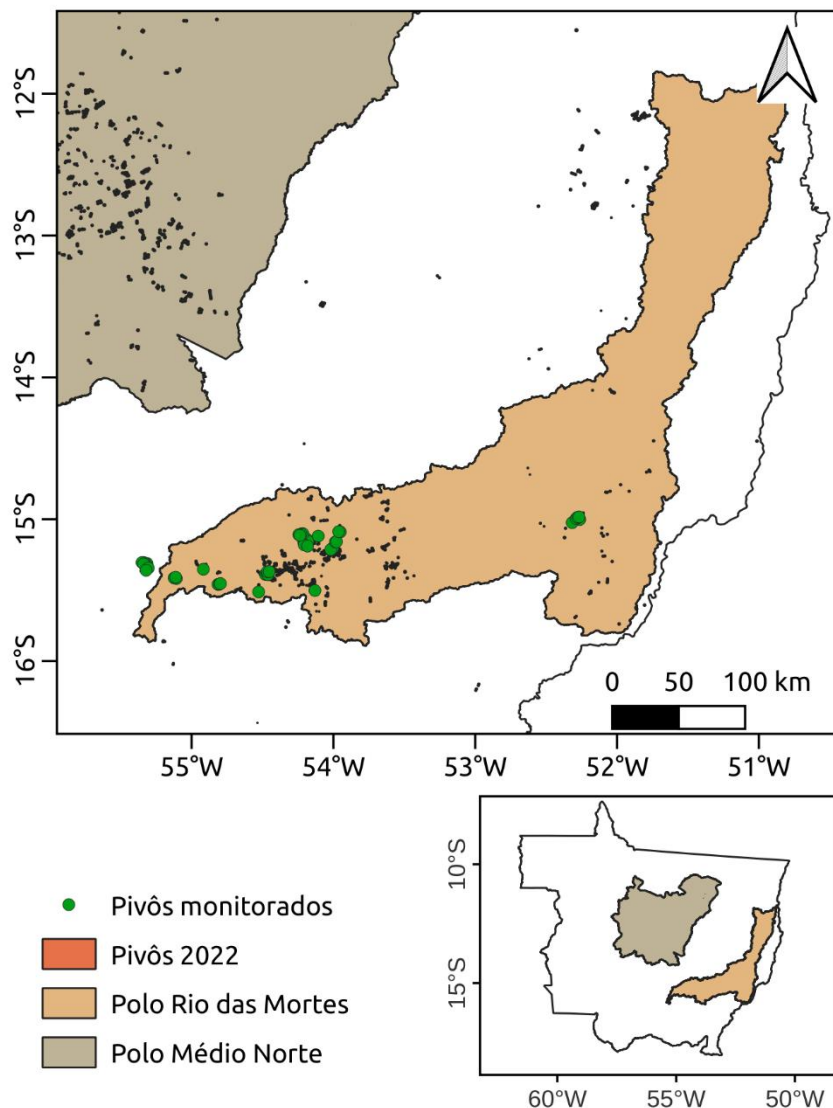


Figura 3.7 - Localização dos pivôs monitorados (em verde) no polo Rio das Mortes. O polo do Médio Norte e o estado do Mato Grosso também estão representados na figura.

Após a coleta das informações, os dados de evapotranspiração de cada pivô foram extraídos para posterior análise com os dados de sensoriamento remoto. Um exemplo de cada cultura pode ser visto nas figuras 3.8, 3.9 e 3.10 abaixo, que representam as culturas de soja, milho e algodão respectivamente. Para a soja foram observados valores de evapotranspiração diária variando de 1 até 6 mm/dia, sendo o pico atingindo no meio do ciclo da cultura. Para o milho, a evapotranspiração apresentou uma variação de 1 até 5 mm/dia, com pico atingido na metade do ciclo. O algodão possui uma variação de valores indo de 0,5 a 4 mm/dia, com proeminente decréscimo no estágio final da cultura.

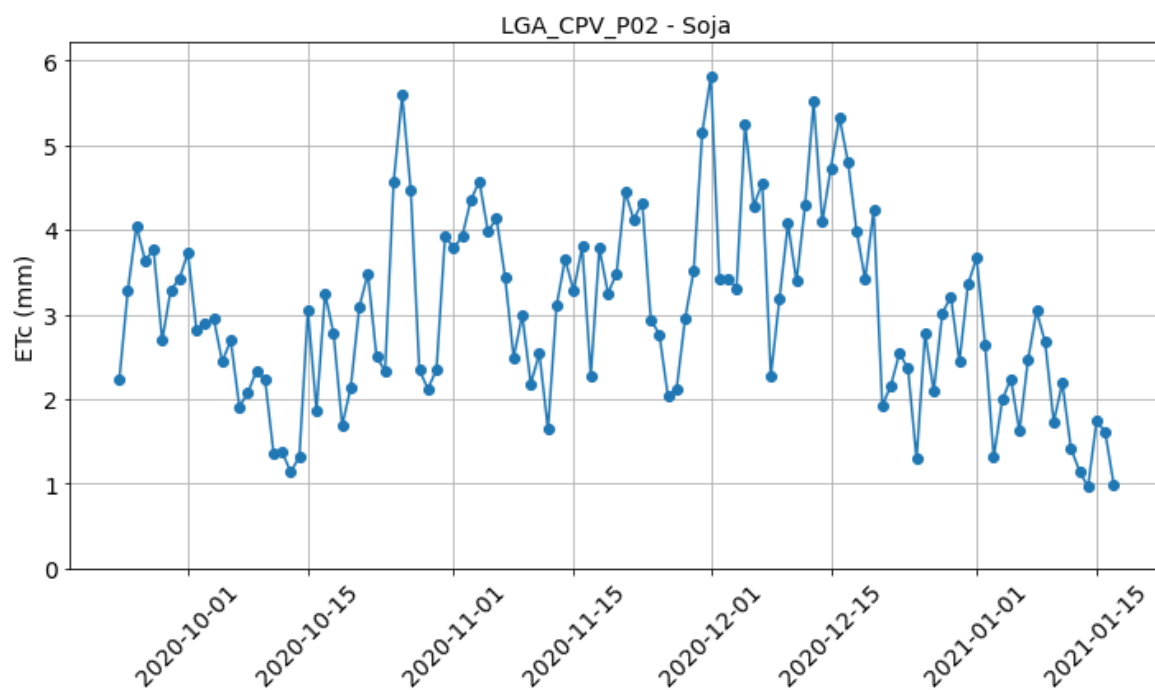


Figura 3.8 - Comportamento da evapotranspiração para um ciclo de soja

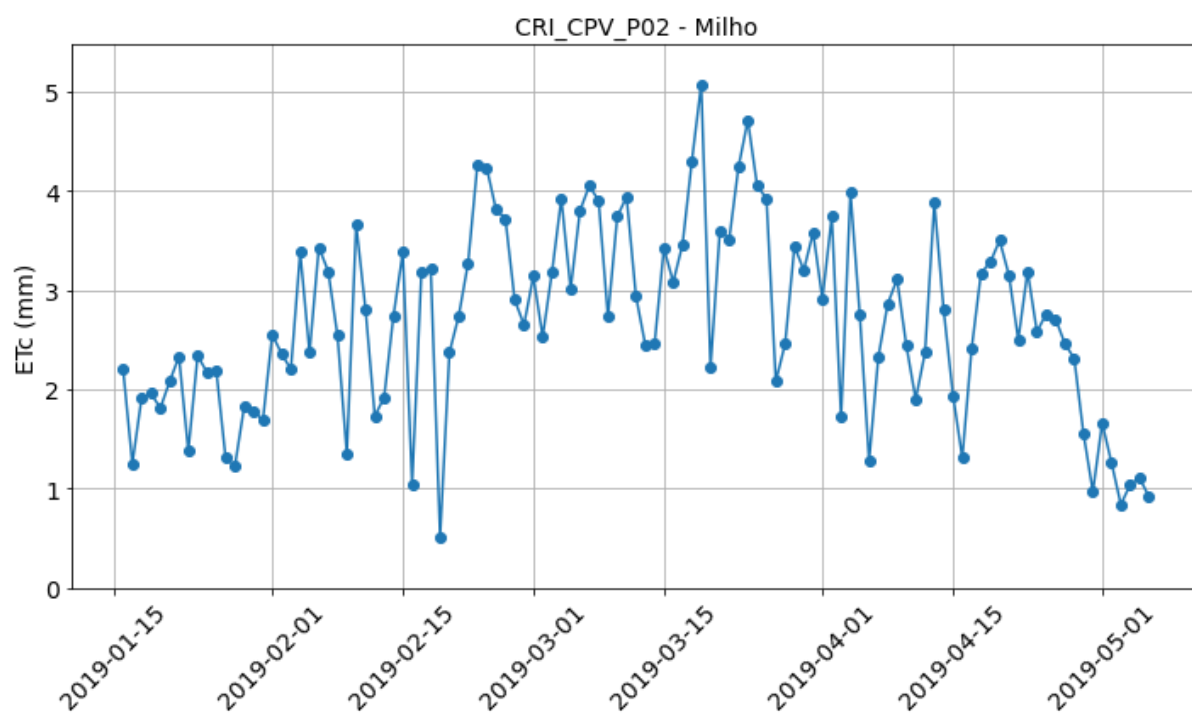


Figura 3.9 - Comportamento da evapotranspiração para um ciclo de milho.

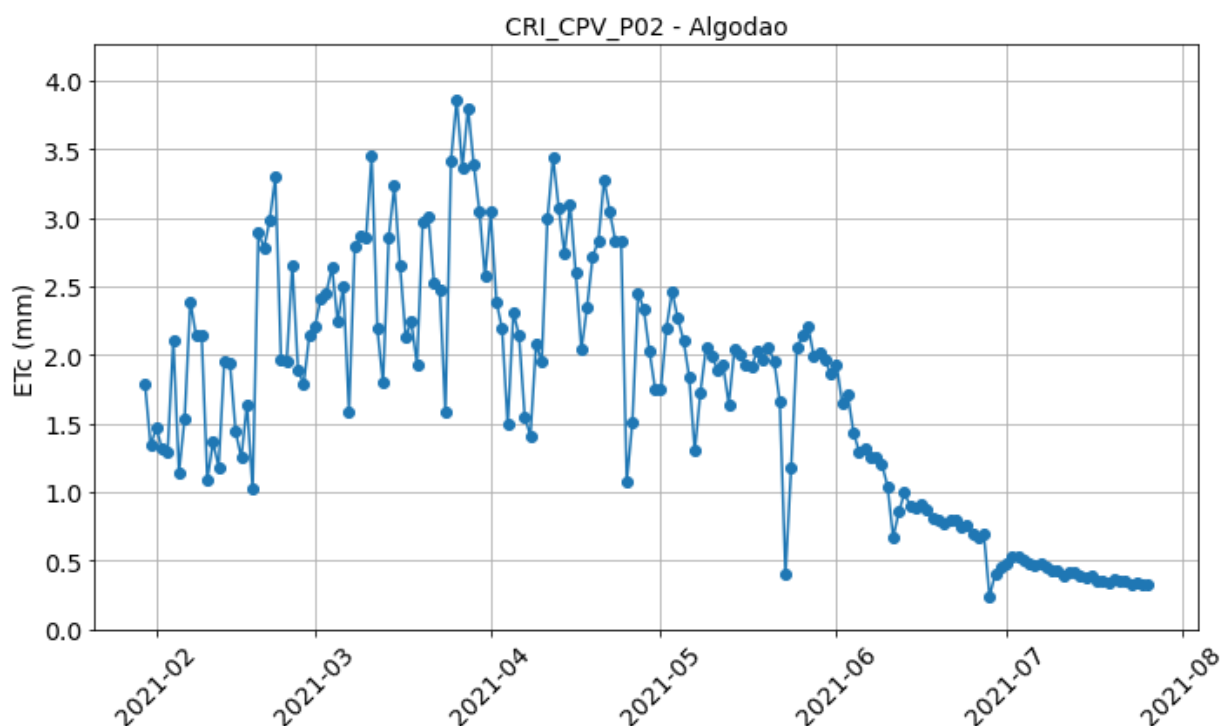


Figura 3.10 - Comportamento da evapotranspiração de um ciclo de algodão.

3.3 ESTIMATIVA DA DEMANDA HÍDRICA

3.3.1 Introdução

Considerando o contexto de expansão da irrigação no estado do Mato Grosso e a variabilidade climática, é importante formular um diagnóstico da situação hídrica nessas regiões. Devido à ausência de medições em campo, neste estudo foi proposto o desenvolvimento de uma metodologia de medição indireta da demanda de recursos hídricos para irrigação. O emprego do sensoriamento remoto na estimativa da demanda hídrica acaba sendo uma solução promissora para este problema.

Atualmente, satélites de alta e média resolução espacial possuem capacidade de monitorar regiões grandes e altamente irrigadas como o estado do Mato Grosso. Neste estudo são empregados dois produtos de sensoriamento remoto baseados em algoritmos diferentes de estimativa da evapotranspiração no cálculo da demanda hídrica de pivôs.

3.3.2 Atividades realizadas e resultados parciais

Nesta atividade, foram utilizados produtos de dois sensores: MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, a bordo dos satélites Terra e Aqua) e VIIRS (Visible

Infrared Imaging Radiometer Suite, a bordo do satélite Suomi-NPP). Do sensor MODIS, foi utilizado o conjunto de dados MODIS ET produto MOD16A2GF Versão 6.1 (Evapotranspiração / Fluxo de Calor Latente). O algoritmo usado na confecção desse produto é baseado na lógica da equação de Penman-Monteith, que considera o processo de particionamento de energia de superfície e as restrições ambientais sobre evapotranspiração (ET). O conjunto de dados MOD16A2 GF é um produto composto de oito dias com pixels corrigidos para ausência de nuvens. O produto está disponível com resolução de pixel de 500 m para toda a superfície da terra com vegetação, englobando os anos de 2001 até 2022.

O VIIRS é um dos principais instrumentos a bordo da espaçonave Suomi National Polar-Orbiting Partnership (Suomi NPP), lançada com sucesso em 28 de outubro de 2011. O VIIRS representa a nova geração de sistemas operacionais sucedendo o legado do MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua. Com o objetivo de gerar estimativas de evapotranspiração para o Brasil, o projeto GLODET (“Global Daily Evapo-Transpiration”, GLODET, 2024) utiliza as imagens VIIRS como entrada para o modelo ALEXI (Atmosphere-Land Exchange Inverse). O ALEXI é um modelo baseado no balanço de energia para a estimativa da evapotranspiração. Desenvolvido pela USDA-ARS (U.S. Department of Agriculture – Agricultural Research Service), o ALEXI foi aplicado em diversos estudos e programas coordenados pelo DWFII (Daugherty Water for Food Global Institute) da Universidade de Nebraska-Lincoln, nos Estados Unidos. O conjunto de dados ALEXI possui resolução espacial de 375 m e estão disponíveis a partir de 2013 até 2022.

Até o presente momento foi realizado o tratamento das imagens e recorte para as regiões de interesse. As figuras 3.11 e 3.12 mostram as médias mensais dos valores de evapotranspiração dos pivôs extraídos para as regiões dos polos do Médio Norte e Rio das Mortes.

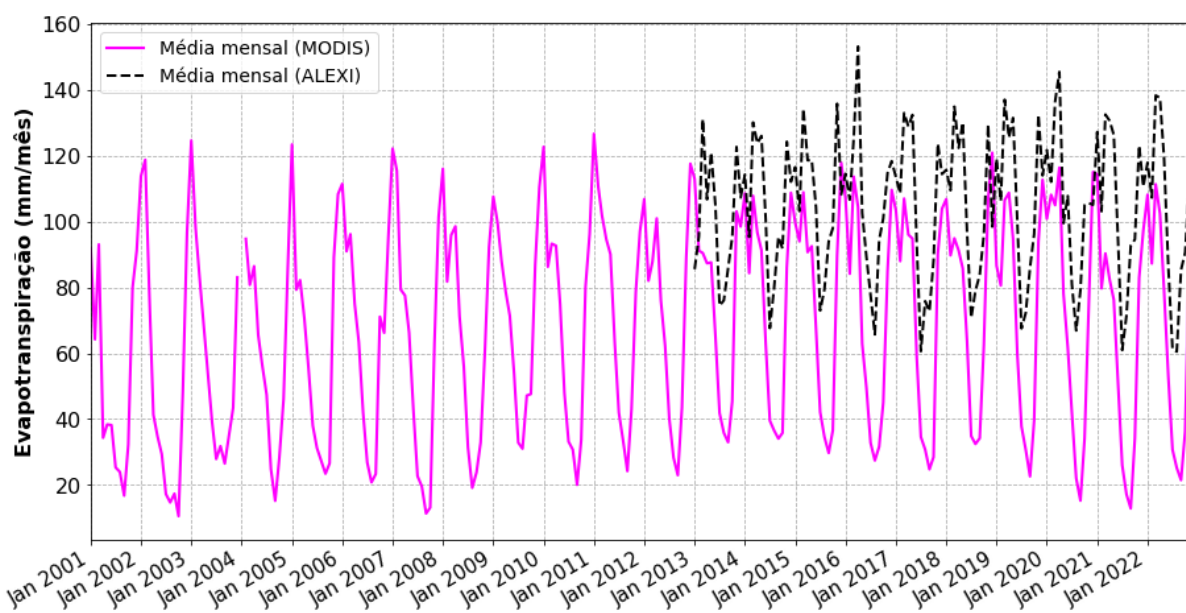


Figura 3.11 - Evapotranspiração média dos pivôs centrais no polo do Rio das Mortes.

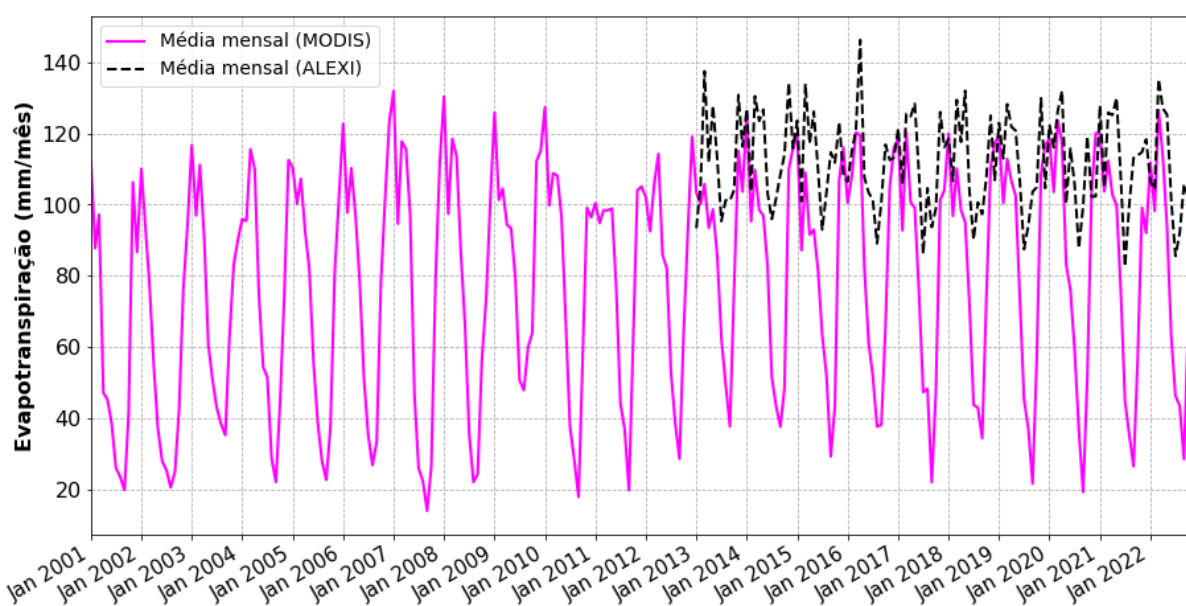


Figura 3.12 - Evapotranspiração média dos pivôs centrais no polo do Médio Norte.

3.4 DEFINIÇÃO DOS PERÍODOS DE FUNCIONAMENTO DOS PIVÔS

3.4.1 Introdução

O uso de sensoriamento remoto tem se destacado como uma solução inovadora na agricultura, especialmente diante da falta de dados de campo em grandes áreas de cultivo. O sensoriamento remoto, por meio de imagens de satélite, drones e sensores aéreos, oferece uma alternativa eficiente para monitorar diversas variáveis, como a saúde das plantas, a umidade do solo e o funcionamento e desempenho de sistemas de irrigação, como os pivôs centrais.

Dessa forma, este relatório tem como objetivo estimar o período de funcionamento dos pivôs centrais dos polos irrigados do Rio das Mortes e Médio Norte por meio de sensoriamento remoto.

3.4.2 Atividades desenvolvidas

A identificação do funcionamento de cada pivô central foi feita por meio da metodologia de lâmina irrigada proposta por Santos et al. (2020). A lâmina de irrigação foi calculada a partir da diferença da evapotranspiração e da precipitação, no pivô i , dividido pelo fator de eficiência do sistema de pivô central, para uma janela de tempo de quatro dias (Equação 1). Neste trabalho, o período de tempo de cálculo em cada pivô foi de 4 em 4 dias ao invés de 8 em 8 dias.

$$D_i = \max\left[\frac{ET_i - P_i}{\xi}, 0\right]$$

(1)

onde $P(i)$ é a precipitação de quatro dias no pivô i , $ET(i)$ é a ET de quatro dias estimada, e ξ é a eficiência média do pivô de 0,85.

Para os dados de evapotranspiração real foi utilizado o produto MOD16A2GF Versão 6.1 (Running et al. 2019) do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, a bordo dos satélites Terra e Aqua). O algoritmo é baseado na lógica da equação de Penman-Monteith que considera o processo de particionamento de energia de superfície e as restrições ambientais sobre ET. Este produto está disponível na resolução espacial de 500 metros e resolução temporal de 8 dias, para o período de 2001 a 2022.

O dado de precipitação utilizado foi o do banco de dados diários do CHIRPS (Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations) (Funk et al. 2015) que leva em consideração dados de sensoriamento remoto e de estações meteorológicas para estimar os

padrões globais de chuva. Este banco de dados está disponível para quase todo o globo (50°N-50°S) em uma resolução espacial de 0,05° (~5,5 km × 5,5 km) de 1981 até os dias atuais.

A partir da equação 1 foi possível obter o valor de lâmina de irrigação para cada pivô. Em períodos em que $P_i > ET_i$, a demanda de água da cultura é atendida pela precipitação e não há necessidade de irrigar, então $D(i) = 0$ e o pivô se encontra inativo. Já quando $ET_i > P_i$, há a necessidade de irrigação sendo $D(i) > 0$, então o pivô se encontra ativo nesse período. A partir dessa lógica, foi possível construir uma série de funcionamento de cada pivô central, a cada 4 dias, de 2001 a 2022.

3.4.3 Resultado

As figuras 1 e 2 ilustram pivôs ativos e inativos nos polos do Rio das Mortes e Médio Norte para duas datas 01/05/2021 e 14/09/2021. Nessas datas é possível notar pivôs ativos e inativos em ambas as regiões, pois corresponde a um período de plantio (14/09/2021) da primeira safra e fim da segunda safra e início da terceira safra (01/05/2021).

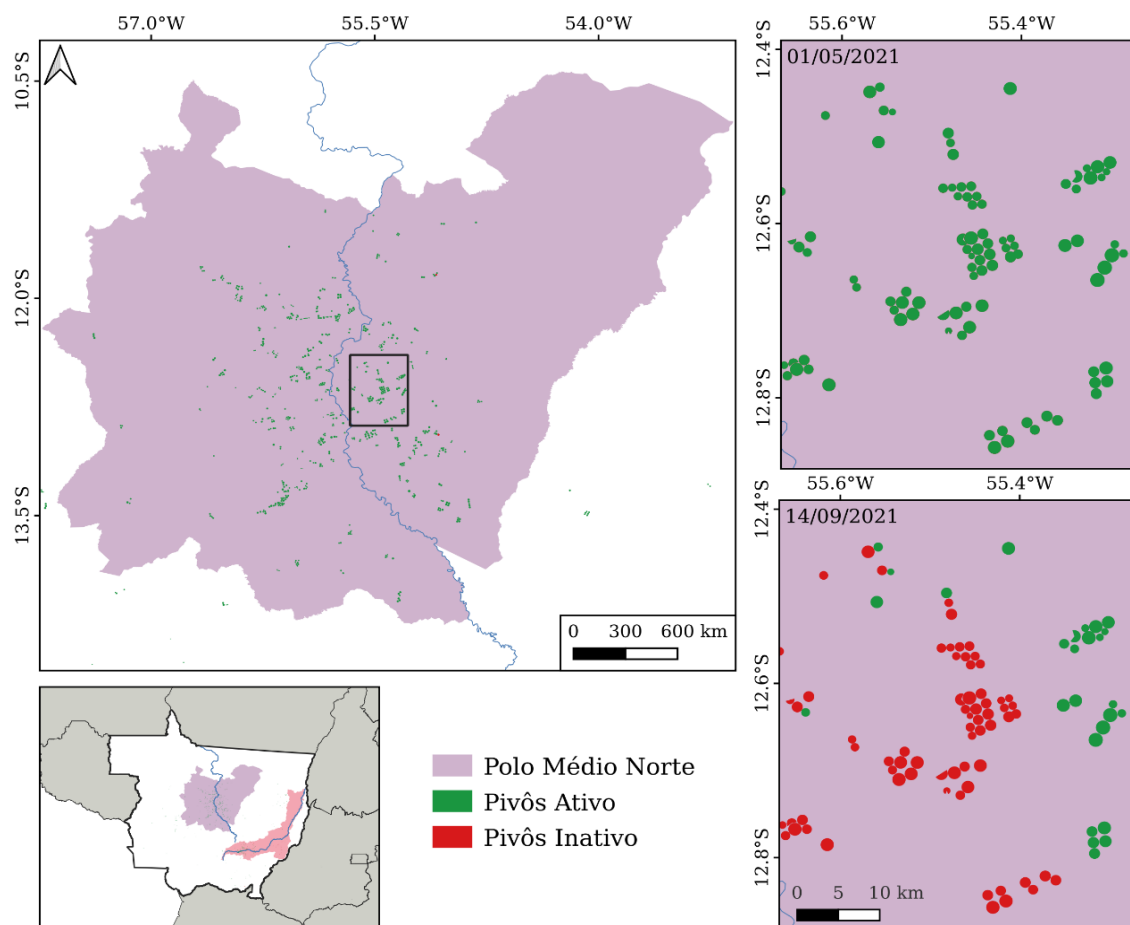


Figura 1 – Pivôs ativos e inativos no polo de irrigação do Médio Norte para as datas de 01/05/2021 e 14/09/2021.

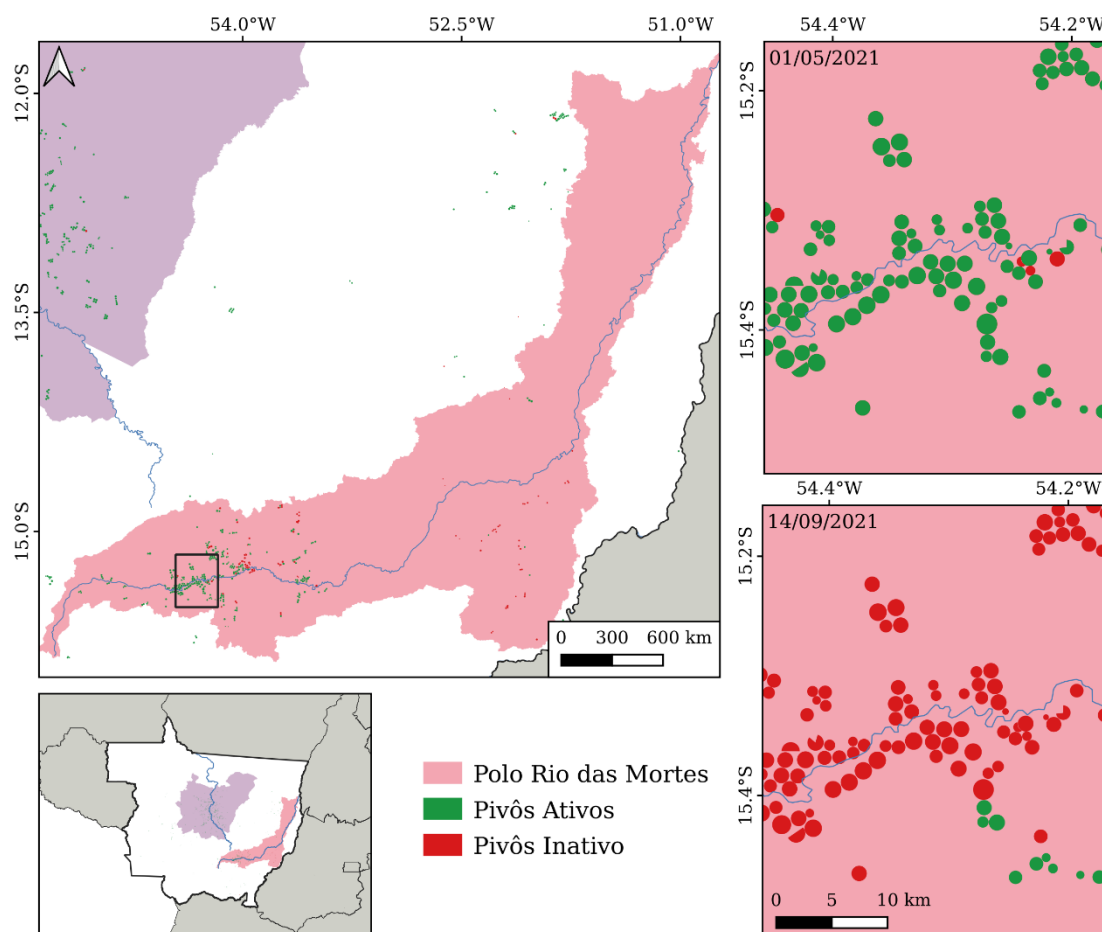


Figura 2 – Pivôs ativos e inativos no polo de irrigação do Rio das Mortes para as datas de 01/05/2021 e 14/09/2021.

3.4.4 Conclusão

A partir da metodologia descrita foi possível estimar o funcionamento dos pivôs nos polos de irrigação do Rio das Mortes e Médio Norte. Com isso, foi construída uma série de funcionamento de pivôs centrais de 2001 a 2022, com dados de quatro em quatro dias.

3.5 MAPEAMENTO DE ÁREAS APTAS PARA EXPANSÃO DA AGRICULTURA IRRIGADA

A etapa 3.5 – Mapeamento de Áreas Aptas para Expansão da Agricultura Irrigada está contemplada na descrição da etapa 3.1 – Levantamento da Área Disponível para Irrigação, uma vez que ambas tratam do mesmo tema. O objetivo é identificar, caracterizar e delimitar espacialmente as áreas com potencial para a expansão da agricultura irrigada.

4 META 4 - ESTUDO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL

4.1 COLETA DE DADOS HIDROLÓGICOS

4.1.1 Introdução

O conhecimento da disponibilidade hídrica superficial de uma região requer o levantamento de dados hidrológicos que permitam representar, de forma espacial e temporal, a oferta hídrica dos cursos d'água.

Sendo assim, a primeira etapa do presente estudo consistiu no levantamento e seleção de dados hidrológicos disponíveis, na qual foram desenvolvidas as seguintes atividades: delimitação da área de estudo para regionalização das vazões; levantamento da disponibilidade dos dados de vazão e de precipitação; obtenção do modelo digital de elevação hidrograficamente condicionado; e levantamento da rede hidrográfica.

4.1.2 Atividades desenvolvidas

4.1.2.1 Delimitação da área de estudo para regionalização das vazões

O conhecimento Nesta Fase 1 do projeto “Estudo de inteligência Territorial e Hídrica para o Desenvolvimento Sustentável da Agricultura Irrigada do Mato Grosso”, o estudo da disponibilidade hídrica superficial contemplará as áreas de drenagem das bacias hidrográficas do Rio das Mortes (BHRM) e do Rio Teles Pires (BHTP), abrangendo, desta forma, alguns municípios que integram os Polos de Agricultura Irrigada do Centro Sul (PAICS) e do Alto Teles Pires (PAIATP).

Os Polos de Agricultura Irrigada PAICS e PAIATP possuem, respectivamente, 14 e 19 municípios mato-grossenses (Tabela 4.1). Na Figura 4.1 tem-se a distribuição espacial dos referidos polos e os respectivos municípios. Nota-se que, dos 33 municípios que compõem os dois polos de irrigação, 19 municípios (7 – PAICS e 12 – PAIATP) estão total ou parcialmente inseridos nos limites das referidas bacias hidrográficas (Figura 4.1 e Tabela 4.1), enquanto os 14 restantes estão fora dos limites das bacias BHRM e BHTP.

É importante ressaltar que os municípios situados nos dois polos de irrigação (PAICS e PAIATP) que não possuem interseção com as BHRM e BHTP, bem como aqueles municípios que têm interseção parcial serão integralmente contemplados com o estudo da disponibilidade hídrica superficial nas etapas subsequentes do presente projeto, uma vez que integram outras bacias hidrográficas de Mato Grosso, motivo pelo qual o levantamento dos dados hidrológicos foi realizado considerando todo o território mato-grossense.

Tabela 4.1 - Municípios que compõem os Polos de Agricultura Irrigada do Centro Sul (PAICS) e do Alto Teles Pires (PAIATP) e os percentuais da área dos municípios que estão dentro dos limites das bacias hidrográficas do Rio das Mortes (BHRM), Rio Teles Pires (BHTP), Rio Aripuanã (BHA), Rio Juruena (BHJ), Rio Xingu (BHX), Rio Araguaia (BHA), Rio Platina (BHP) e Rio Guaporé (BHG).

Polo de Irrigação	Município	Área (km²)	% da Área							
			BHRM	BHTP	BHA	BHJ	BHX	BHA	BHP	BHG
PAICS	Alto Garças	3.858,15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,3	0,0	0,0
	Campo Verde	4.770,63	74,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,8	0,0
	Chapada dos Guimarães	6.603,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0
	Dom Aquino	2.183,60	23,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	76,5	0,0
	General Carneiro	4.514,92	63,9	0,0	0,0	0,0	0,0	36,1	0,0	0,0
	Guiratinga	5.043,90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	76,8	23,2	0,0
	Itiquira	8.698,81	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0
	Novo São Joaquim	5.225,60	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Pedra Preta	3.841,67	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0
	Poxoréu	6.915,30	27,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	72,5	0,0
	Primavera do Leste	5.470,38	80,2	0,1	0,0	0,0	18,4	0,0	1,3	0,0
	Rondonópolis	4.824,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100	0,0
	Santo Antônio do Leste	3.403,59	55,4	0,0	0,0	0,0	44,6	0,0	0,0	0,0
	Torixoréu	2.398,38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
PAIATP	Cláudia	3.843,56	0,0	67,8	0,0	0,0	32,2	0,0	0,0	0,0
	Feliz Natal	11.661,51	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
	Ipiranga do Norte	3.422,02	0,0	99,1	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
	Itanhangá	2.909,75	0,0	0,1	0,0	99,9	0,0	0,0	0,0	0,0
	Lucas do Rio Verde	3.674,60	0,0	67,3	0,0	32,7	0,0	0,0	0,0	0,0
	Marcelândia	12.285,49	0,0	18,3	0,0	0,0	81,7	0,0	0,0	0,0
	Nova Maringá	11.553,48	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	0,0
	Nova Mutum	9.536,81	0,0	29,9	0,0	70,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	Nova Ubiratã	12.460,74	0,0	4,9	0,0	0,0	95,1	0,0	0,0	0,0
	Porto dos Gaúchos	6.846,67	0,0	0,2	0,0	99,8	0,0	0,0	0,0	0,0
	Santa Carmem	3.812,09	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
	Santa Rita do Trivelato	4.747,04	0,0	99,94	0,0	0,02	0,0	0,0	0,04	0,0
	São José do Rio Claro	4.525,30	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Sinop	3.990,87	0,0	81,3	0,0	0,1	18,6	0,0	0,0	0,0
	Sorriso	9.293,63	0,0	98,4	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0
	Tabaporã	8.439,05	0,0	17,4	0,0	82,6	0,0	0,0	0,0	0,0
	Tapurah	4.492,54	0,0	17,7	0,0	82,3	0,0	0,0	0,0	0,0
	União do Sul	4.590,63	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
	Vera	3.058,36	0,0	55,7	0,0	0,0	44,3	0,0	0,0	0,0

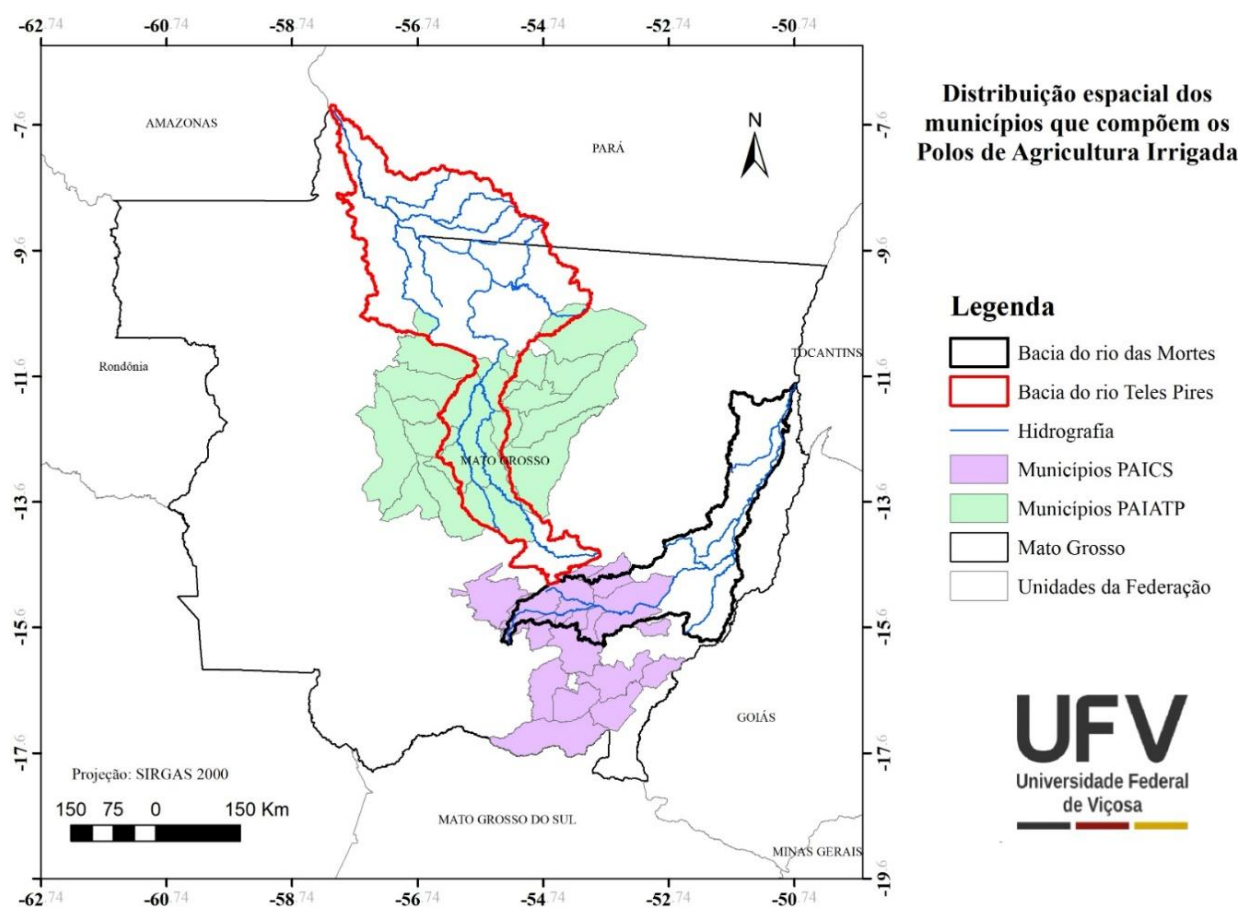


Figura 4.1 - Distribuição espacial dos municípios que compõem os Polos de Agricultura Irrigada do Centro Sul (PAICS) e do Alto Teles Pires (PAIATP) e suas sobreposições com os limites das bacias hidrográficas do Rio das Mortes (BHRM) e do Rio Teles Pires (BHTP).

4.1.2.2 Levantamento da disponibilidade dos dados de precipitação e vazão

4.1.2.2.1 Dados pluviométricos

Com relação aos dados de chuva, optou por trabalhar com os dados obtidos do produto de sensoriamento remoto CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) com resolução de 5.000 m. Segundo Aksu e Akgül (2020), o CHIRPS é um produto de precipitação desenvolvido pelo Climate Hazards Groups da Universidade da Califórnia e pelo US Geological Survey, desenvolvido a partir do produto de reanalise que abrange o período de 1981 até os dias presentes, combinando dados de sensores infravermelhos de satélites, medições indiretas de chuvas baseadas em satélites das missões Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) e Global Precipitation Measurement (GPM), e dados de estações de superfície para fazer a estimativa da precipitação.

A decisão pelo uso da base de dados do CHIRPS foi baseada nos resultados obtidos no desenvolvimento da Meta 2 do presente projeto, os quais evidenciaram que o banco de dados de precipitação do produto CHIRPS, recortado para o estado de Mato Grosso, apresenta boa concordância e elevada correlação ($r > 0,99$) com os dados observados, indicando que essa fonte de dados é de excelente qualidade.

4.1.2.2.2 Dados fluviométricos

Tendo em vista a limitação do quantitativo de estações fluviométricas com dados históricos na rede hidrometeorológica brasileira, a fim de realizar o presente estudo de disponibilidade hídrica superficial, foi necessário considerar as áreas de drenagem das seis sub-bacias nível 1 presentes no Plano Nacional de Recursos Hídricos, sendo essas Araguaia, Madeira, Paraguai (02 e 03), Tapajós e Xingu (Figura 4.2).

Desta forma, a área selecionada para o levantamento dos dados de vazão foi maior do que as áreas das bacias hidrográficas do Rio das Mortes e do Rio Teles Pires, visando avaliar a possibilidade de utilizar estações fluviométricas externas às áreas de interesse e, com isso, aumentar a base de dados.

As séries históricas de vazão para as áreas do presente estudo foram obtidas a partir dos dados brutos e consistidos das estações fluviométricas pertencentes à rede de monitoramento da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), acessíveis por meio da plataforma Hidroweb (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>).

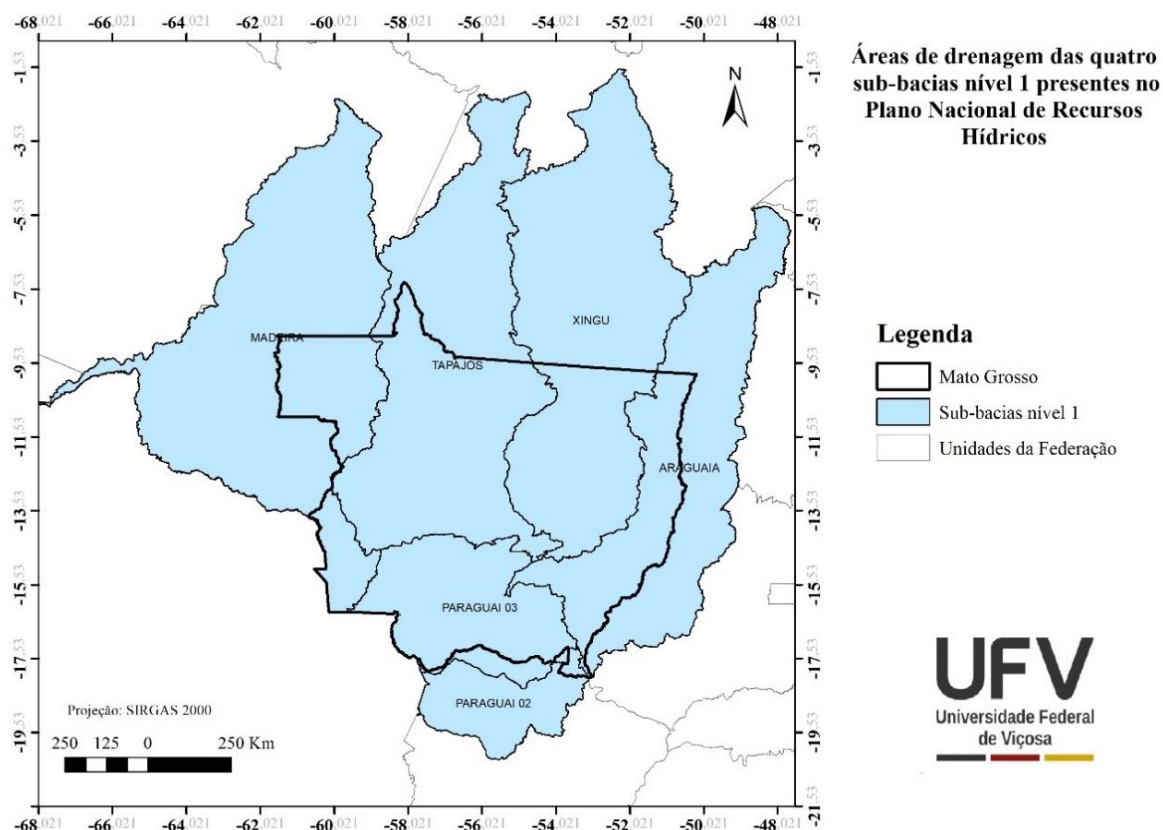


Figura 4.2 - Áreas de drenagem das sub-bacias nível 1 do Estado de Mato Grosso presentes no Plano Nacional de Recursos Hídricos.

Para o levantamento e seleção das estações fluviométricas a serem utilizadas no presente estudo foram consideradas todas as estações localizadas dentro dos limites das seis sub-bacias nível 1 que abrangem as BHRM e BHTP, bem com o Estado de Mato Grosso, tendo sido inventariadas 1.237 estações fluviométricas (Figura 4.3).

De posse do levantamento das estações fluviométricas existentes, procedeu-se a análise da existência de série histórica de dados nas referidas estações, a qual foi realizada utilizando o pacote hydrobr do software R (Calegario e Althoff, 2023).

Identificadas as estações que possuíam dados, construiu-se o diagrama de barras para obtenção do período base, no qual foi possível identificar o período base de 1990 a 2022 (33 anos) para o presente trabalho.

Definido o período base, fez-se a seleção daquelas estações que atendiam aos seguintes critérios: pelo menos 15 anos dos anos do período-base adotado (1990 a 2022) com percentagem de falhas inferior a 5%.

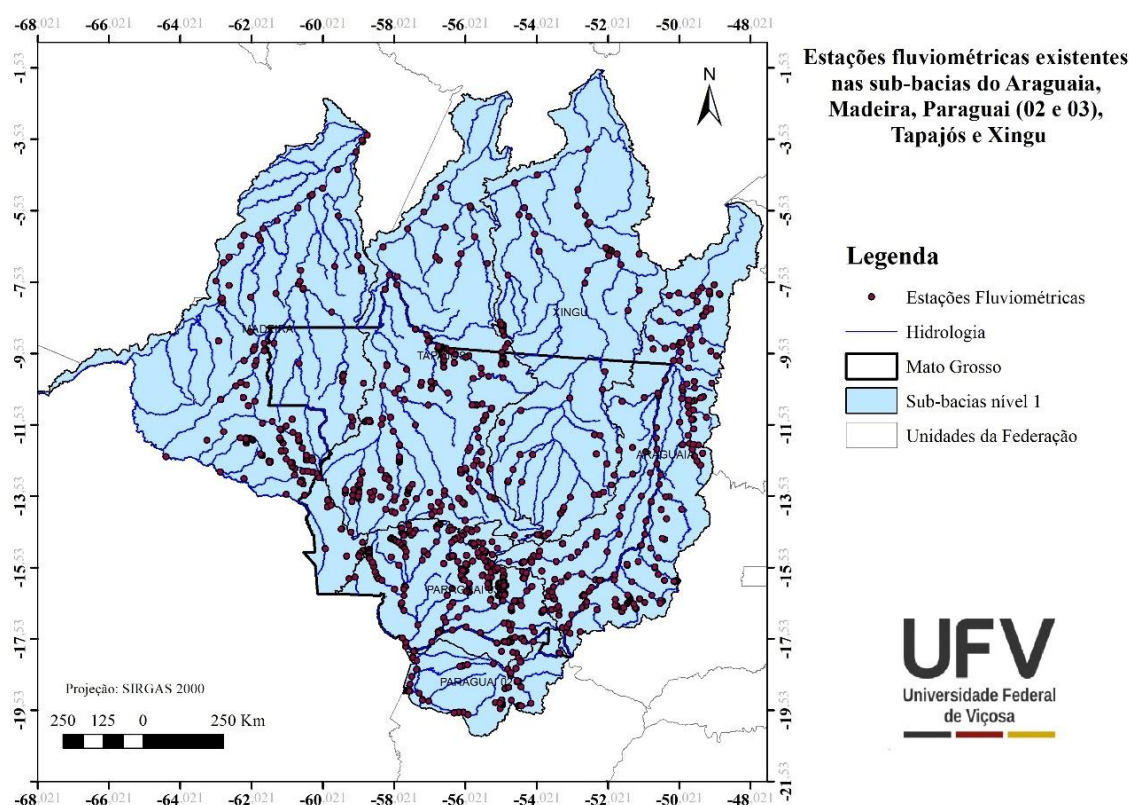


Figura 4.3 - Distribuição espacial das estações fluviométricas existentes nas sub-bacias do Araguaia, Madeira, Paraguai (02 e 03), Tapajós e Xingu.

Além disso, para aquelas estações que atendiam aos critérios supracitados, foi realizada a verificação da estacionariedade das séries de dados de vazão, através dos testes de Mann-Kendall (KENDALL, 1975) e Pettitt (PETTITT, 1979). Ambas as análises foram realizadas usando as bibliotecas Trend e Kendal do software R. A presença de tendência foi admitida quando os dois testes sugeriram não-estacionariedade da série a um nível de significância estatística de 5%.

Após a seleção das estações fluviométricas foi realizada a estimativa, em base anual, da vazão mínima com permanência de 95% no tempo (Q_{95}) e da vazão média de longa duração (Q_{mld}) para cada estação fluviométrica. A estimativa das vazões foi utilizada o pacote hydrobr do software R (Calegario e Althoff, 2023).

4.1.2.2.3 Obtenção do Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC)

O Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC) foi gerado a partir dos dados de elevação do NASADEM (NASA Digital Elevation Model) com resolução

espacial de 30 metros, disponibilizado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) (NASA JPL, 2020).

A cópia dos dados altimétricos do NASADEN foi realizada utilizando-se a plataforma Google Earth Engine, considerando um *buffer* de 15 km em relação aos limites das seis sub-bacias selecionadas do PNRH, a fim de garantir que toda a área de drenagem das estações circunscritas à BHRM, BHTP e aos municípios que integram os Polos de Irrigação Centro Sul e Alto Teles Pires fosse delimitada.

4.1.2.2.4 Levantamento da rede hidrográfica

A fim de representar a hidrografia do Estado de Mato Grosso, foram levantadas duas bases de dados, a Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (BHANA; ANA, 2017) e a Base Hidrográfica, disponibilizada pelo Instituto de Terras de Mato Grosso (INTERMAT, 2010).

Considerando que a hidrografia do INTERMAT contempla apenas o Estado de Mato Grosso e tendo-se a necessidade de utilizar os dados das estações fluviométricas fora dos limites do Estado, optou-se por adotar no estudo a base Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas da ANA (Figura 4.4).

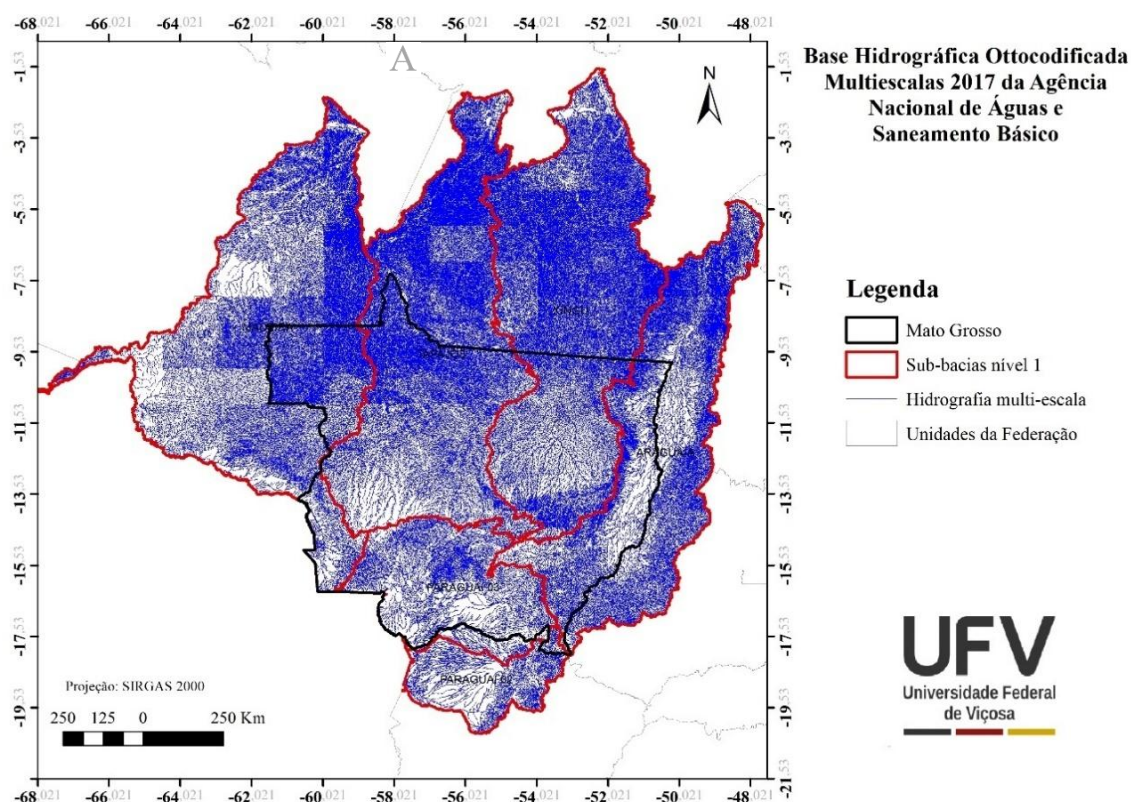


Figura 4.4 - Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

4.1.3 Resultados

Na Figura 4.5 é apresentada a variação da precipitação média anual para as sub-bacias nível 1 do PNRH que integram o território matogrossense. A precipitação média anual no estado de Mato Grosso, no período entre 1990 e 2022, variou de 860,51 a 2.801 mm. A região amazônica, localizada no norte do estado, apresenta as áreas com maior precipitação total média anual, enquanto na região sul são observadas as áreas com menor precipitação total média anual.

Esses resultados corroboram com os valores de precipitação obtidos em outros estudos (Guarino *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2014; Souza *et al.*, 2013) evidenciando, novamente, a possibilidade de utilizar no presente estudo o produto de sensoriamento remoto CHIRPS para prever a variável precipitação média anual.

No levantamento das estações, foram inventariadas 1.237 estações fluviométricas presentes nas sub-bacias nível 1 (Figura 4.3). No entanto, desse total de estações existentes que foram inventariadas, apenas 299 continham série histórica de dados (Figura 4.6).

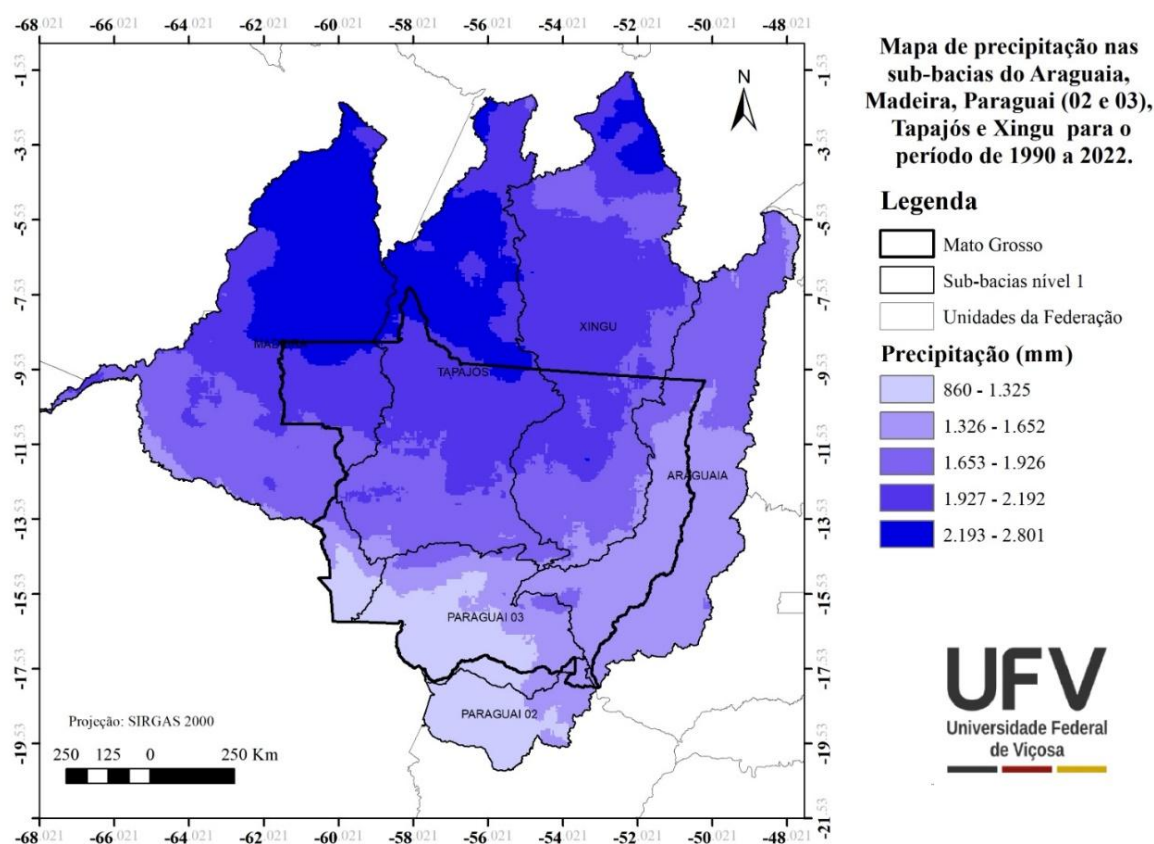


Figura 4.5 - Mapa de precipitação do Estado de Mato Grosso obtido para o período de 1990 a 2022 a partir do produto de sensoriamento remoto CHIRPS com resolução de 5.000 m.

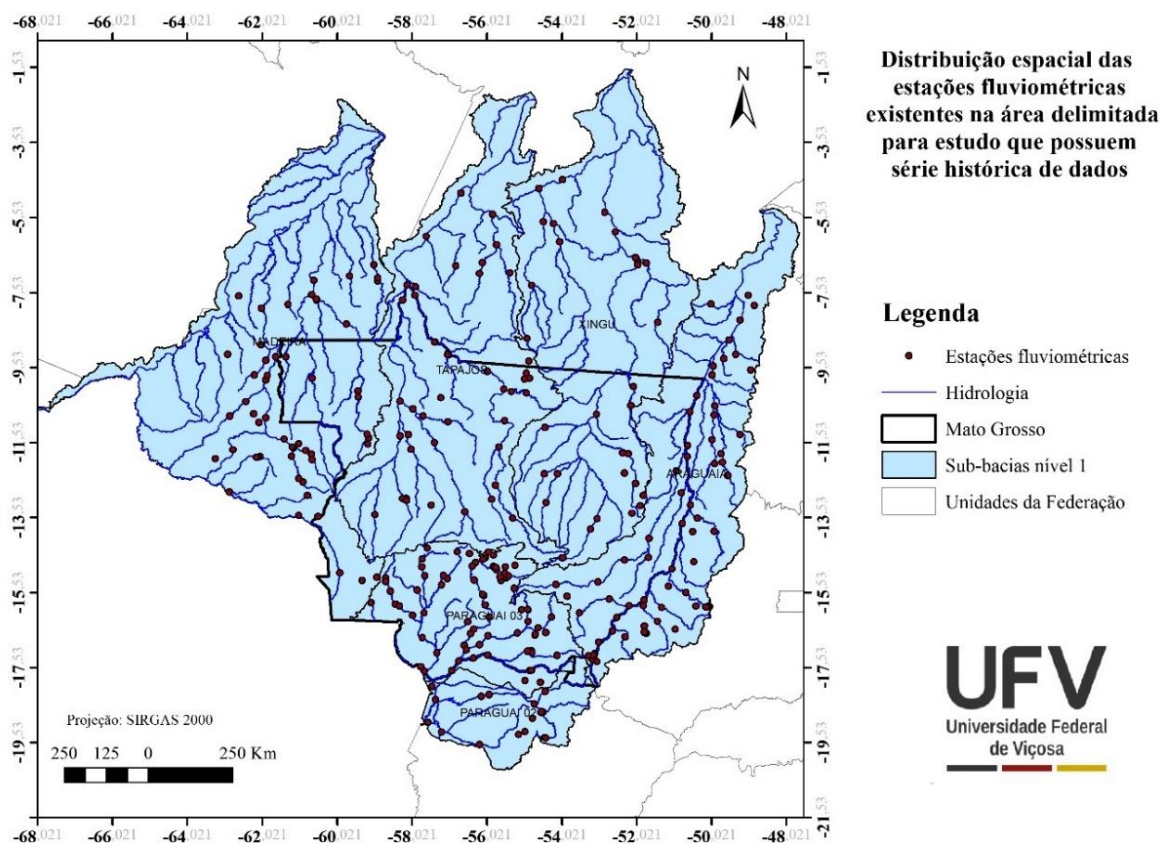


Figura 4.6 - Distribuição espacial das estações fluviométricas existentes na área delimitada para estudo que possuem série histórica de dados.

Aplicando o critério de seleção adotado, conforme descrito no item 4.1.2.2.2, constatou-se que 117 estações fluviométricas satisfaziam aos critérios adotados (Figura 4.7), ou seja, para realização do presente estudo será possível utilizar apenas 9,5% das estações existentes no Estado de Mato Grosso (Figura 4.6), evidenciando um expressivo número de estações fluviométricas na rede de monitoramento disponibilizada pela ANA sem dados disponíveis ou com série histórica de dados com muitas falhas e/ou curtas que impossibilita a sua utilização para os estudos de avaliação da disponibilidade hídrica no Estado.

Na Tabela 4.2 são apresentadas as estações selecionadas para realização do presente estudo com suas respectivas informações referentes à localização, vazões (Q_{mld} - média de longa duração e Q_{95} - mínima de referência com 95% de permanência) e a área de drenagem.

Na Figura 4.8 tem-se o mapa hipsométrico, considerando um *buffer* de 15 km, das sub-bacias selecionadas para realização do presente trabalho.

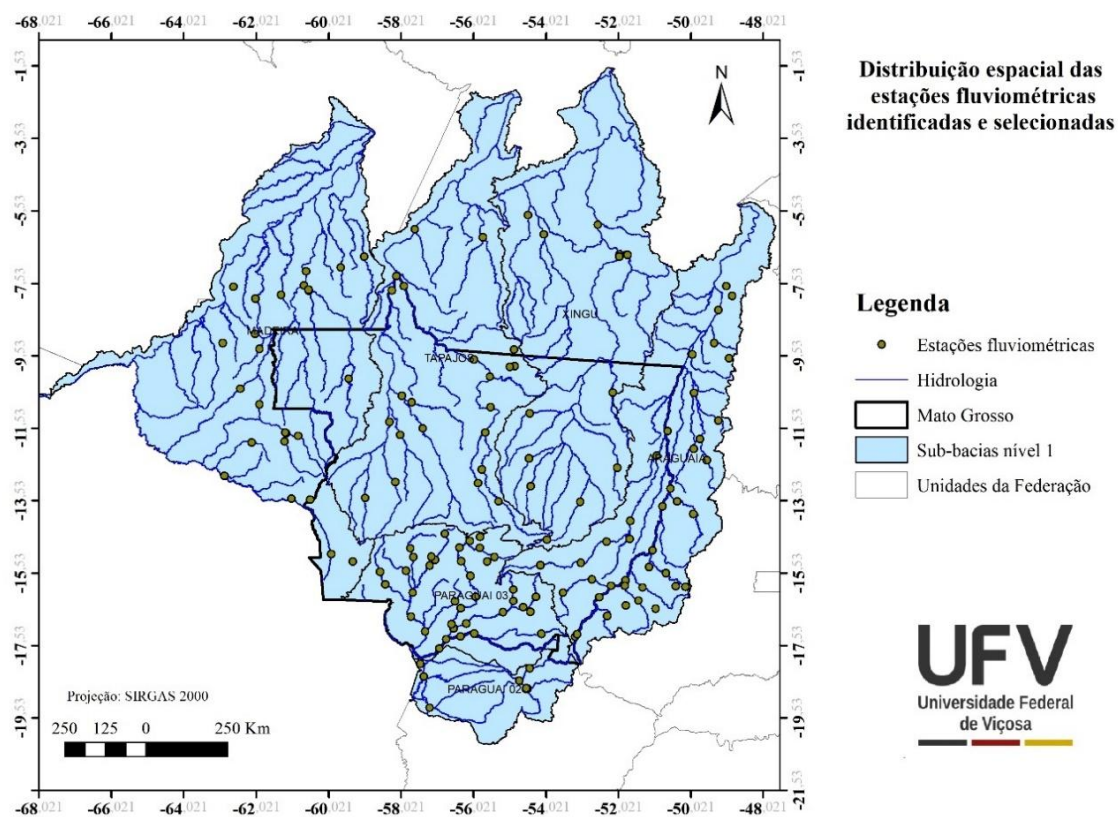


Figura 4.7 - Distribuição espacial das estações fluviométricas identificadas e selecionadas para realização do presente estudo.

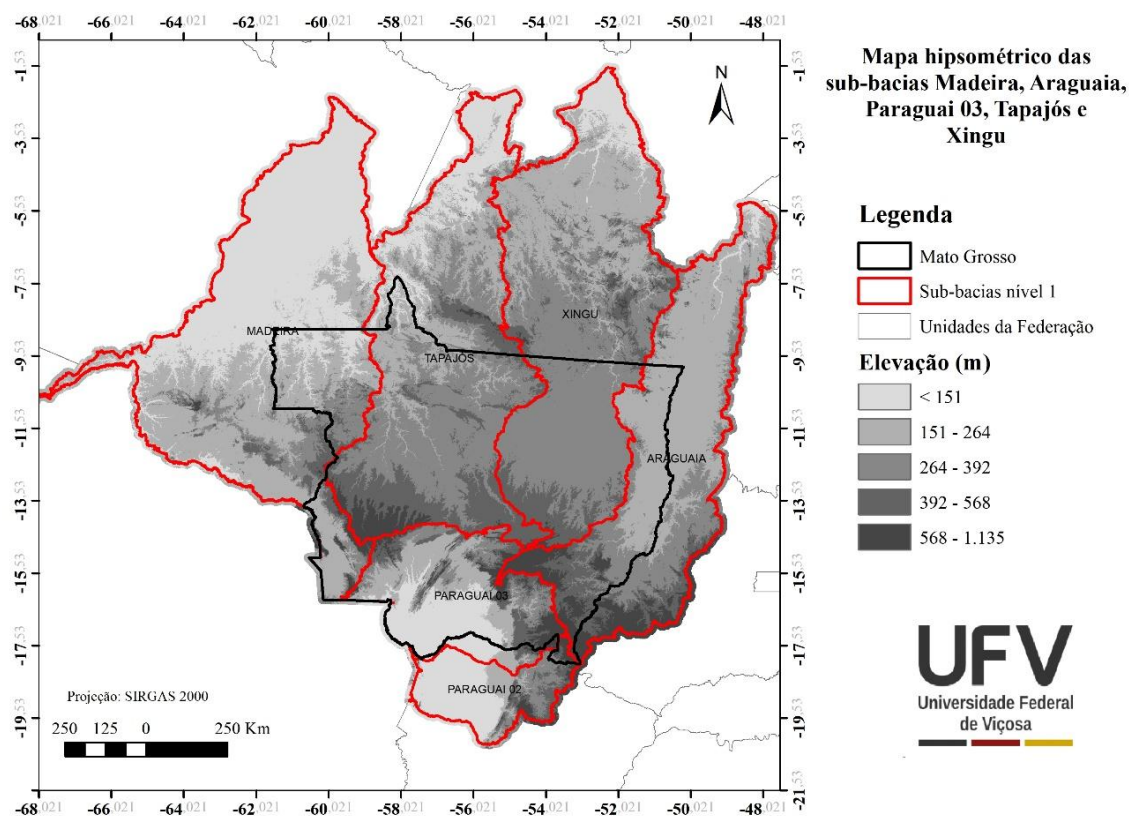


Figura 4.8 - Mapa hipsométrico com um *buffer* de 15 km das sub-bacias Araguaia, Paraguai 03, Tapajós e Xingu do Plano Nacional de Recursos Hídricos

Tabela 4.2 - Valores de vazões (Q₉₅ - mínima de referência com 95% de permanência e Q_{mld} – média de longa duração) e área de drenagem (AD) das estações fluviométricas selecionadas no presente estudo

IDENTIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES					Q _{mld}	Q ₉₅	AD
CÓDIGO	LATITUDE	LONGITUDE	NOME	SUB-BACIA	(m ³ /s)		km ²
15050000	-15,2153	-59,3539	PONTES E LACERDA	Madeira	56,26	34,70	2.992
15120001	-15,0092	-59,9581	MATO GROSSO	Madeira	118,99	29,95	22.491
15124009	-13,5125	-60,53	CABIXI	Madeira	80,43	30,96	3.598
15130000	-13,4858	-61,05	PIMENTEIRAS	Madeira	492,22	157,22	52.145
15150000	-12,8514	-62,8992	PEDRAS NEGRAS	Madeira	895,61	184,49	109.966
15170000	-11,9306	-62,1528	CACHOEIRA DO CACHIMBO	Madeira	33,61	4,04	1.409
15556010	-11,9011	-61,2394	PCH PRIMAVERA JUSANTE	Madeira	212,74	73,43	9.615
15565000	-10,4458	-62,4656	JARU	Madeira	92,07	5,11	3.958
15575000	-9,3472	-61,9347	PIRATININGA	Madeira	125,85	24,31	4.646
15580000	-8,9322	-62,0556	TABAJARA	Madeira	1.513,69	264,19	60.210
15590000	-9,1789	-62,9522	MINERAÇÃO JACUNDÁ	Madeira	27,93	1,30	1.127
15650000	-7,9578	-62,0425	MALOCA TENHARIM	Madeira	145,25	6,71	3.557
15660000	-7,6303	-62,6553	MAICI-MIRIM	Madeira	34,84	3,09	631
15680000	-7,8533	-61,3339	FAZENDA BELA VISTA	Madeira	45,25	3,15	1.529
15750000	-10,1694	-59,4661	HUMBOLDT	Madeira	302,45	32,87	15.275
15795000	-7,7394	-60,5761	LEONTINO	Madeira	418,49	44,16	16.213
15828000	-7,5928	-60,7094	FAZENDA BOA LEMBRANÇA	Madeira	1.413,81	184,16	59.328
15830000	-7,2078	-60,65	PRAINHA VELHA	Madeira	3.277,72	328,72	130.826
15910000	-6,7956	-59,0422	SANTARÉM SUCUNDURI	Madeira	432,01	28,10	12.686
15930000	-7,1014	-59,6833	ACARI BR-230	Madeira	182,93	6,82	4.983
17091000	-13,4608	-59,0078	FAZENDA TUCUNARÉ	Tapajós	140,30	119,93	4.360
17092800	-13,0264	-58,1853	ALDEIA SACRE II	Tapajós	179,80	135,16	6.773
17093000	-11,3583	-58,3428	FONTANILHAS	Tapajós	1.395,33	1.081,59	55.936
17095000	-11,7181	-58,0481	FAZENDA TOMBADOR	Tapajós	516,78	332,05	24.803

CONTINUA...

Tabela 4.2 - CONTINUAÇÃO

IDENTIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES					Q _{mld}	Q ₉₅	AD
CÓDIGO	LATITUDE	LONGITUDE	NOME	SUB-BACIA	(m³/s)		km²
17120000	-11,5367	-57,4236	PORTO DOS GAÚCHOS	Tapajós	727,53	371,54	37.153
17122000	-10,8231	-57,7272	RIO DOS PEIXES	Tapajós	380,23	82,65	14.413
17123000	-10,6392	-58,0042	RIO ARINOS	Tapajós	1.289,87	514,34	57.153
17130000	-7,7311	-58,2808	FOZ DO JURUENA	Tapajós	4.317,23	1.918,31	182.599
17200000	-13,5575	-55,3347	PORTO RONCADOR	Tapajós	249,92	46,50	10.759
17210000	-12,6742	-55,7928	TELES PIRES	Tapajós	327,41	89,94	13.917
17230000	-13,0519	-55,905	PCH CANOA QUEBRADA LUCAS DO RIO VERDE	Tapajós	115,59	65,37	5.493
17280000	-11,6517	-55,7025	CACHOEIRÃO	Tapajós	816,28	332,04	34.598
17300000	-10,9558	-55,5508	FAZENDA TRATEX	Tapajós	950,34	395,56	40.727
17340000	-10,1133	-55,5706	INDECO	Tapajós	1.210,52	431,63	52.209
17345000	-9,3589	-54,9039	BASE DO CACHIMBO	Tapajós	25,15	10,49	489
17350000	-9,8172	-54,8858	CACHIMBO	Tapajós	30,32	2,40	1.015
17355000	-9,8386	-55,0192	PCH BRAÇO NORTE JUSANTE	Tapajós	116,91	29,93	3.032
17380000	-9,6406	-56,0194	JUSANTE FOZ PEIXOTO DE AZEVEDO	Tapajós	2.064,66	559,59	81.642
17420000	-7,6147	-57,9503	TRÊS MARIAS	Tapajós	3.738,72	1.035,92	138.636
17430000	-7,3397	-58,1553	BARRA DO SÃO MANUEL	Tapajós	8.338,77	2.927,53	333.045
17500000	-6,0453	-57,6428	FORTALEZA	Tapajós	9.868,51	3.140,05	363.465
18409000	-14,6111	-53,9986	PASSAGEM DA BR-309	Xingu	13,93	6,98	706
18415000	-13,5692	-53,0761	POUSADA MATRINXA	Xingu	194,86	52,60	11.434
18420000	-13,1408	-54,4453	FAZENDA ITAGUAÇU	Xingu	76,79	40,51	3.840
18423000	-12,3658	-54,4892	CONSUL	Xingu	122,19	63,65	8.946
18435000	-10,5547	-52,1833	RIO COMANDANTE FONTOURA	Xingu	97,83	26,64	5.472
18460000	-6,7358	-51,9953	BOA SORTE	Xingu	3.457,23	672,27	210.399
18470000	-6,7978	-52,0006	UHE SÃO FÉLIX	Xingu	3.394,29	895,00	210.166

CONTINUA...

Tabela 4.2 - CONTINUAÇÃO

IDENTIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES					Q _{mld}	Q ₉₅	AD
CÓDIGO	LATITUDE	LONGITUDE	NOME	SUB-BACIA	(m ³ /s)		km ²
18500000	-6,7453	-51,7736	BOA ESPERANÇA	Xingu	947,80	26,40	42.430
18514000	-5,9178	-52,5908	UHE POMBAL	Xingu	4.534,16	956,00	265.580
18590000	-6,1872	-54,0836	MANOEL JORGE (TERRA PRETA)	Xingu	1.037,65	35,28	56.884
18650000	-5,65	-54,5208	CAJUEIRO	Xingu	746,50	50,11	35.596
24050000	-17,3011	-53,2172	ALTO ARAGUAIA	Araguaia	53,77	38,17	2.076
24070000	-17,2208	-53,1631	MONTANTE DO RIBEIRÃO BABILÔNIA	Araguaia	34,54	13,33	1.737
24196000	-16,7186	-52,3322	RIO DO PEIXE	Araguaia	25,94	2,62	1.770
24650000	-15,7111	-52,7544	GENERAL CARNEIRO	Araguaia	28,66	5,10	1.950
25090000	-15,9147	-50,1278	FAZENDA PACIÊNCIA	Araguaia	1,44	0,12	108
25120000	-15,8969	-50,4386	COLÔNIA DOS ALEMÃES	Araguaia	3,24	0,18	218
25140000	-15,3625	-51,1756	FAZENDA ÁGUA LIMPA	Araguaia	38,25	7,52	3.261
25750000	-13,8986	-49,9514	RIO CRIXAS-AÇU	Araguaia	92,71	0,44	8.671
25800000	-13,5614	-50,4011	JUSANTE DO RIO PINTADO	Araguaia	171,23	0,96	18.355
25950000	-13,2097	-50,585	LUIZ ALVES	Araguaia	1.570,32	318,29	116.716
26040000	-15,3147	-54,1758	RIO DAS MORTES	Araguaia	117,39	71,16	5.268
26150000	-14,5997	-51,7197	RIO PINDAÍBA	Araguaia	112,20	27,23	9.287
26350000	-11,6181	-50,6625	SÃO FÉLIX DO ARAGUAIA	Araguaia	2.544,10	665,14	193.527
26710000	-12,0986	-49,9481	BARREIRA DO PEQUI	Araguaia	169,08	1,14	8.016
26720000	-12,4178	-49,5892	PRAIA ALTA	Araguaia	65,25	0,61	6.598
26730000	-11,8392	-49,7711	PROJETO RIO FORMOSO	Araguaia	83,83	1,21	8.652
26790000	-11,3231	-49,2592	PONTE RIO DUERÉ	Araguaia	17,35	0,00	1.431
26800000	-10,5647	-49,9342	BARREIRA DA CRUZ	Araguaia	441,94	9,20	35.713
27110000	-9,5003	-49,9831	RIO DO COCO	Araguaia	100,53	1,83	6.135
27370000	-9,6036	-48,9708	FAZENDA CRAVEIRO	Araguaia	3,52	0,15	185
27380000	-9,1839	-49,3775	PONTE RIO PIRANHAS	Araguaia	23,89	0,81	1.655
27530000	-7,8758	-48,8775	BERNARDO SAYÃO	Araguaia	36,23	2,55	1.790

CONTINUA...

Tabela 4.2 - CONTINUAÇÃO

IDENTIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES					Q _{mld}	Q ₉₅	AD
CÓDIGO	LATITUDE	LONGITUDE	NOME	SUB-BACIA	(m ³ /s)		km ²
66006000	-14,4517	-56,8142	NORTELÂNDIA	Paraguai 03	35,92	9,30	1.609
66008000	-15,1669	-57,0839	JAUQUARA	Paraguai 03	22,24	1,97	1.309
66010000	-15,0761	-57,1819	BARRA DO BUGRES	Paraguai 03	163,60	37,16	9.257
66015000	-15,325	-57,2292	PORTO ESTRELA	Paraguai 03	189,59	48,47	12.158
66050000	-14,8508	-57,7689	TAPIRAPUÃ	Paraguai 03	155,42	85,20	5.281
66055000	-15,0922	-57,6803	SÃO JOSÉ DO SEPOTUBA	Paraguai 03	223,79	124,48	8.073
66065000	-15,4686	-57,8936	ESTRADA MT-125	Paraguai 03	79,95	27,33	3.603
66071400	-15,4997	-58,5997	ÁGUA SUJA	Paraguai 03	89,68	66,39	2.860
66072000	-15,8517	-58,4628	PORTO ESPERIDIÃO	Paraguai 03	117,12	71,32	5.660
66090000	-16,7328	-57,7489	DESCALVADOS	Paraguai 03	666,31	317,26	47.970
66110000	-16,315	-56,5422	PERTO DE POCONÉ	Paraguai 03	19,40	0,05	2.948
66120000	-17,1433	-57,3594	PORTO CONCEIÇÃO	Paraguai 03	411,42	221,96	65.728
66140000	-14,5417	-55,8489	MARZAGÃO	Paraguai 03	62,31	4,66	2.304
66160000	-14,6536	-56,1322	QUEBÓ	Paraguai 03	100,37	15,05	4.255
66171500	-15,0919	-55,4417	UHE MANSO RIO RONCADOR	Paraguai 03	40,79	29,12	1.360
66174000	-15,2136	-55,6411	UHE MANSO RIO QUILOMBO	Paraguai 03	14,58	7,87	693
66231000	-14,845	-55,8556	FAZENDA RAIZAMA (COIMBRA) - F6	Paraguai 03	172,68	62,10	9.574
66250001	-14,8342	-56,4139	ROSÁRIO OESTE	Paraguai 03	303,79	94,73	16.026
66255000	-15,2039	-56,3669	ACORIZAL	Paraguai 03	329,81	99,29	19.736
66260001	-15,6156	-56,1086	CUIABÁ	Paraguai 03	391,55	107,37	23.541
66280000	-16,1928	-55,9669	BARÃO DE MELGAÇO	Paraguai 03	395,88	117,43	28.942
66340000	-16,5119	-56,3756	PORTO CERCADO (Ex-Retiro Biguaçal)	Paraguai 03	361,74	137,15	36.900
66360000	-16,9444	-56,6328	SÃO JOÃO	Paraguai 03	305,41	135,72	38.606
66370000	-17,0564	-56,5806	ILHA CAMARGO	Paraguai 03	370,16	145,58	38.914
66380000	-15,9981	-54,9217	SÃO PEDRO DA CIPA	Paraguai 03	60,31	25,69	3.261
66400000	-16,3108	-54,9228	SÃO LOURENÇO DE FÁTIMA	Paraguai 03	136,03	54,12	7.018

CONTINUA...

Tabela 4.2 - CONTINUAÇÃO

IDENTIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES					Q _{mld}	Q ₉₅	AD
CÓDIGO	LATITUDE	LONGITUDE	NOME	SUB-BACIA	(m ³ /s)		km ²
66430000	-16,1969	-54,3003	JARUDORE	Paraguai 03	68,75	21,54	3.780
66440000	-16,6067	-54,4586	PEDRA PRETA	Paraguai 03	24,22	5,80	2.180
66450001	-16,4789	-54,6506	RONDONÓPOLIS	Paraguai 03	163,92	49,12	12.356
66460000	-16,6081	-55,2064	ACIMA DO CÓRREGO GRANDE	Paraguai 03	349,35	137,72	23.149
66470000	-16,9253	-56,2236	SÃO JOSÉ DO BORIRÉU	Paraguai 03	269,81	139,48	24.190
66520000	-17,2078	-54,1511	ITIQUEIRA	Paraguai 03	64,41	29,73	2.911
66600000	-17,2017	-56,0086	SÃO JERÔNIMO	Paraguai 03	263,74	147,68	23.284
66710000	-17,3656	-56,7747	POUSADA TAIAMÃ (Ex-Porto Jofre)	Paraguai 03	773,87	422,69	98.808
66750000	-17,6233	-56,965	PORTO DO ALEGRE	Paraguai 03	725,74	425,69	102.653
66800000	-18,0386	-57,4886	AMOLAR	Paraguai 02	1.269,70	823,71	234.412
66810000	-18,3939	-57,3911	SÃO FRANCISCO	Paraguai 02	1.671,23	925,67	242.960
66845000	-18,1672	-54,4708	PEDRO GOMES	Paraguai 02	170,29	106,62	9.703
66849000	-18,7303	-54,5786	CONFLUÊNCIA RIO JAURU	Paraguai 02	74,11	38,30	7.380
66850000	-18,7244	-54,5297	CONTRAVERTENTE	Paraguai 02	73,58	45,86	6.315
66855000	-18,7136	-54,5672	GARIMPAGEM	Paraguai 02	78,33	45,79	6.331
66870000	-18,5078	-54,7619	COXIM	Paraguai 02	349,03	202,51	27.595
66895000	-19,2583	-57,2353	PORTO DA MANGA	Paraguai 02	1.827,87	1.073,59	327.478

4.2 ANÁLISE DA SAZONALIDADE NA OFERTA HÍDRICA

4.1.1 Introdução

Nas últimas décadas, a demanda por água para diferentes finalidades tem aumentado consideravelmente. Esse crescimento elevou a competição entre os usuários, impulsionado por fatores como o aumento populacional, alterações na disponibilidade hídrica ao longo do tempo e das regiões, mudanças nas condições naturais e a deterioração da qualidade dos recursos hídricos (Ramos *et al.*, 2017). Dos setores usuários, a agricultura é responsável pela maior parte do consumo dos recursos hídricos (Xu *et al.*, 2023).

O gerenciamento dos recursos hídricos é de suma importância para promover o uso adequado desses recursos, com o objetivo de promover o bem-estar econômico e social de maneira justa, garantindo a preservação e a sustentabilidade dos ecossistemas. Assim, um dos principais instrumentos de gestão dos recursos hídricos no Brasil é a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos. Esse instrumento permite ao possuidor o direito de utilizar uma quantidade específica de água, de acordo com a disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica. Essa concessão permite ao órgão responsável monitorar e controlar tanto a quantidade quanto a qualidade da água utilizada, assegurando ao usuário o direito de uso de maneira exclusiva e intransferível (Silva *et al.*, 2015a).

Assim, os órgãos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos adotam a vazão mínima de referência como critério para avaliar os pedidos de outorga. Essa vazão tem influência direta sobre a quantidade de água passível de concessão para uso, representando um instrumento eficaz na proteção dos corpos hídricos. Isso ocorre porque as alocações para captação geralmente são baseadas em vazões de referência associadas a baixos riscos, assegurando a manutenção de condições mínimas nos cursos d'água (Silva *et al.*, 2006). No Brasil, cada estado e o governo federal adotam critérios próprios para definir as vazões mínimas de referência para outorga, porém, não apresentam explicações sobre a escolha desses valores (Cruz, 2001).

A vazão mínima de referência, a exemplo da vazão de permanência com 95% no tempo (Q_{95}), quando calculada considerando como base o período anual, desconsidera as especificidades de maior disponibilidade hídrica no período chuvoso, bem como de menor disponibilidade no período seco. Valores menores da vazão mínima de referência reduzem o risco ambiental, entretanto, nos meses em que os corpos hídricos possuem maior disponibilidade hídrica impede o uso mais adequado da água (Pruski *et al.*, 2014), impactando diretamente nos diferentes tipos de usuários e nas atividades econômicas por eles desenvolvidos (Silva *et al.*, 2015a).

Nesse sentido, a avaliação quantitativa sazonal da disponibilidade de água permite ampliar as oportunidades de sua utilização, uma vez que as vazões mínimas de referência poderiam ser calculadas, por exemplo, considerando o período mensal. Considerando a necessidade e uma melhor gestão dos recursos hídricos, esta etapa do projeto foi desenvolvida com o objetivo de analisar a sazonalidade das vazões de referência como fator de flexibilização das vazões outorgáveis no Estado de Mato Grosso.

4.1.2 Metodologia

4.2.2.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde ao Estado de Mato Grosso (Figura 4.9), localizado na região Centro-Oeste do Brasil. Com uma extensão territorial de 903.208,36 km², é o terceiro maior estado do país em termos de área, possuindo 142 municípios (CNM, 2023; IBGE, 2022). Geograficamente, Mato Grosso faz fronteira com os estados do Amazonas, Pará, Tocantins, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rondônia, além de fazer divisa internacional com a Bolívia.

O estado de Mato Grosso está inserido em três importantes regiões hidrográficas brasileiras, segundo a classificação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA): Amazônica, Paraguai e Tocantins-Araguaia.

Na região Centro-Oeste, onde está localizado o estado de Mato Grosso, predomina um clima caracterizado por duas estações bem definidas: uma estação chuvosa nos períodos mais quentes do ano e uma estação seca nos meses mais frios, com redução significativa da pluviosidade. A temperatura média na região varia de 21,1 °C, no extremo sul do Mato Grosso do Sul, até 26 °C, no estado de Mato Grosso e no extremo norte de Goiás. O regime de precipitações é tipicamente tropical, com maior concentração de chuvas no verão e uma marcada redução no inverno. Em quase toda a região Centro-Oeste, mais de 70% do total anual de chuvas ocorre entre os meses de novembro e março (Barros; Balero, 2012).

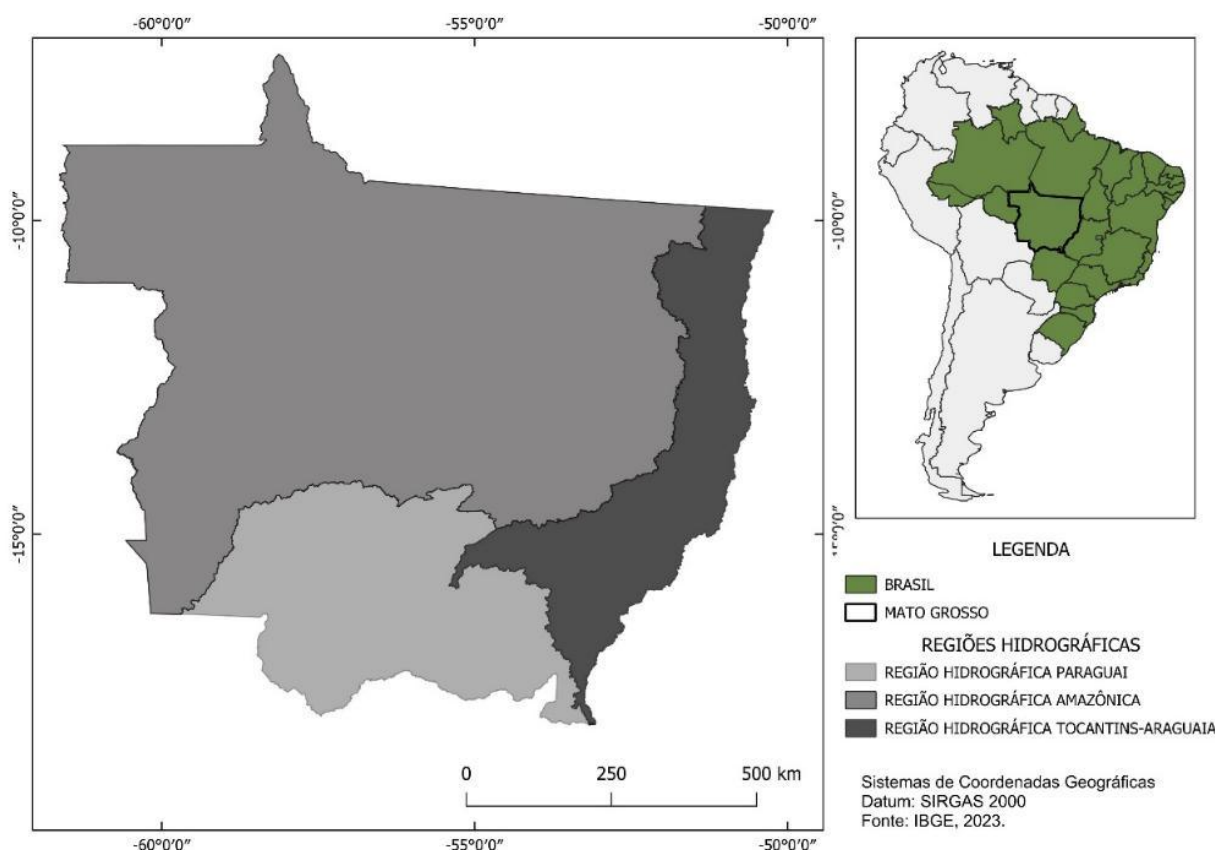


Figura 4.9 – Estado de Mato Grosso.

4.2.2.2 Base de dados

Para a escolha dos postos fluviométricos utilizados no cálculo das vazões de referência no estado de Mato Grosso, foram analisados todos os postos da Rede Hidrometeorológica Nacional, mantida pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Foram consideradas apenas as estações que apresentavam, no mínimo, 50% de disponibilidade de dados fluviométricos durante o período-base do estudo, estabelecido entre 1990 e 2019. Ao final, foram selecionadas 73 estações fluviométricas (Figura 4.10).

Para o cálculo da vazão mínima de referência (Q_{95} - vazão de permanência em 95% do tempo) em cada estação fluviométrica foi considerado o ano hidrológico com sendo o ano civil (janeiro a dezembro), e foi feito o descarte dos anos que apresentaram mais de 5% de falhas. As Q_{95} mensal e anual foram calculadas utilizando o software Hydrology Plus (Sistema Computacional para Estudos Meteorológicos e Hidrológicos).

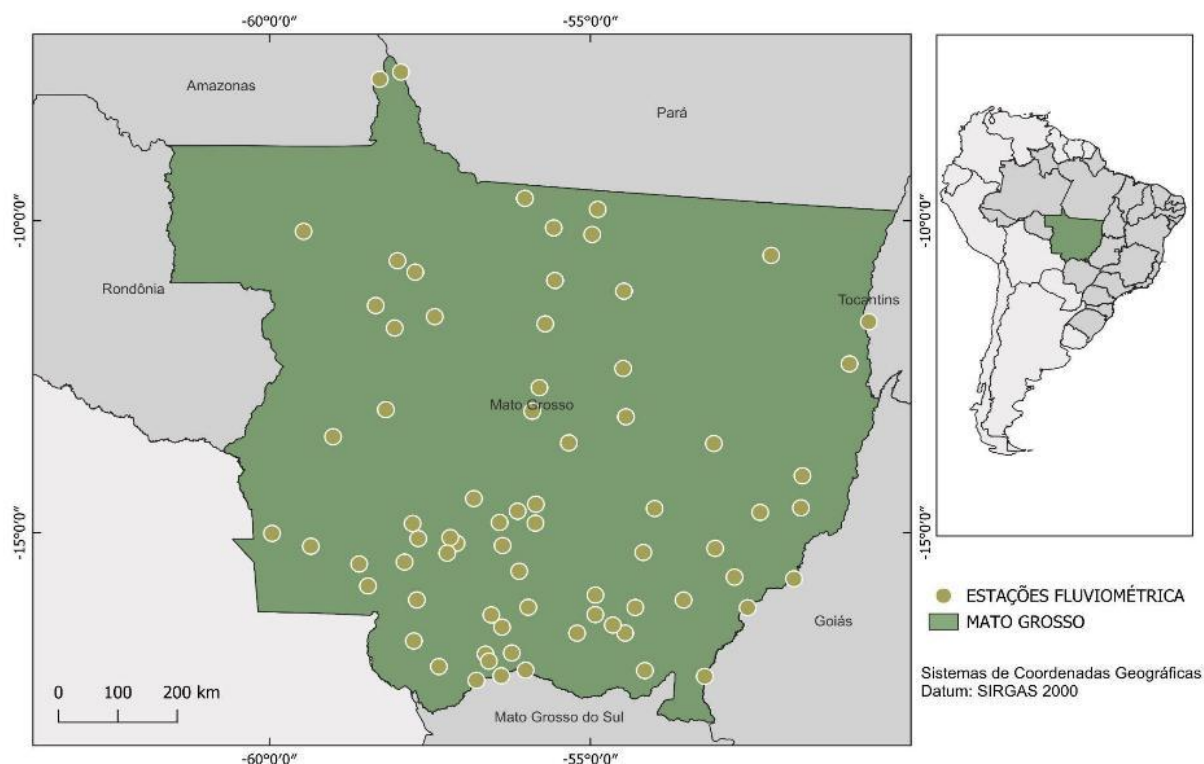


Figura 4.10 – Estações fluviométricas do Estado de Mato Grosso utilizadas no estudo.

4.2.2.3 Critério de outorga para o Estado de Mato Grosso

A análise da disponibilidade hídrica para captações superficiais de uso consuntivo em rios de domínio do Estado utiliza como referência a vazão Q_{95} , que corresponde à vazão de permanência em 95% do tempo, determinada pelo Estudo de Regionalização Hidrológica de Mato Grosso (SEMA, 2007). A vazão máxima outorgável para esses usos é de até 70% da Q_{95} , para uma seção do corpo hídrico, conforme a Resolução CEHIDRO nº 119, de 07 de novembro de 2019.

4.2.2.4 Comparação entre os critérios de retirada máxima mensal e anual

A avaliação do impacto da substituição de vazões anuais por mensais ao longo da hidrografia, ou seja, a influência da sazonalidade na disponibilidade de água, foi analisada através do cálculo da diferença relativa (DH), comparando as estimativas mensais com as anuais a partir da equação:

$$DH_i(\%) = \frac{Q_{95i} - Q_{95anual}}{Q_{95anual}} * 100 \quad (1)$$

em que:

DH_i = diferença relativa percentual para o mês i , porcentagem;

i = índice que indica o mês do ano, variando de 1 (janeiro) a 12 (dezembro), adimensional;

$Q_{95anual}$ = vazão que ocorre em 95% do tempo anual, em $m^3 s^{-1}$; e

Q_{95i} = vazão que ocorre em 95% do tempo do mês i , em $m^3 s^{-1}$.

O DH foi calculado para todas as estações presentes na área durante os meses de janeiro a dezembro.

4.2.2.5 Balanço hídrico quantitativo

O balanço hídrico quantitativo (BHQ) é uma medida que indica o grau de uso e pressão sobre os recursos hídricos disponíveis em uma determinada região hidrográfica (ANA, 2016). Assim, foi analisada a disponibilidade hídrica para algumas sub-bacias do estado de Mato Grosso com o objetivo de identificar quanto da oferta hídrica está sendo utilizada para atendimento dos usos consuntivos, considerando o critério de outorga adotado no estado ($Q_{95\text{anual}}$) e o uso das vazões sazonais ($Q_{95\text{mensais}}$) e vazões anuais ($Q_{95\text{mensais}}$), sendo realizados dois cálculos para fins de comparação. O BHQ foi calculado pela equação:

$$BHQ(\%) = \frac{Q_{\text{demanda}}}{Q_{\text{oferta}}} * 100 \quad (2)$$

em que:

BHQ = balanço hídrico quantitativo, porcentagem;

Q_{demanda} = vazões outorgadas para uso consultivo para determinada bacia, em $m^3 s^{-1}$;
e

Q_{oferta} = vazão de referência para o Estado de Mato Grosso (70% da Q_{95}) em base mensal e anual.

4.1.3 Resultados parciais

Considerando que o presente documento se trata de um relatório parcial e tendo em vista o quantitativo de estações analisadas (73 estações fluviométricas – Figura 4.10), a fim de ilustrar as diferenças na disponibilidade hídrica para fins de outorga considerando a disponibilidade hídrica sazonal, optou-se em apresentar, considerando sua importância socioeconômica e produtiva no Estado, os resultados para as regiões dos municípios de Sorriso, Sapezal e Campo Novo do Parecis. As Figuras 4.11, 4.12 e 4.13 apresentam os valores obtidos para cada uma das estações localizadas nos municípios mencionados.

Para analisar a disponibilidade hídrica, a vazão de referência adotada, segundo a SEMA (Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Mato Grosso), para captações superficiais de uso consuntivo em rios sob domínio do Estado de Mato Grosso é a Q_{95} , que corresponde à vazão de

permanência em 95% do tempo. Já a vazão máxima passível de outorga para usos consuntivos no estado equivale a até 70% da Q_{95} .

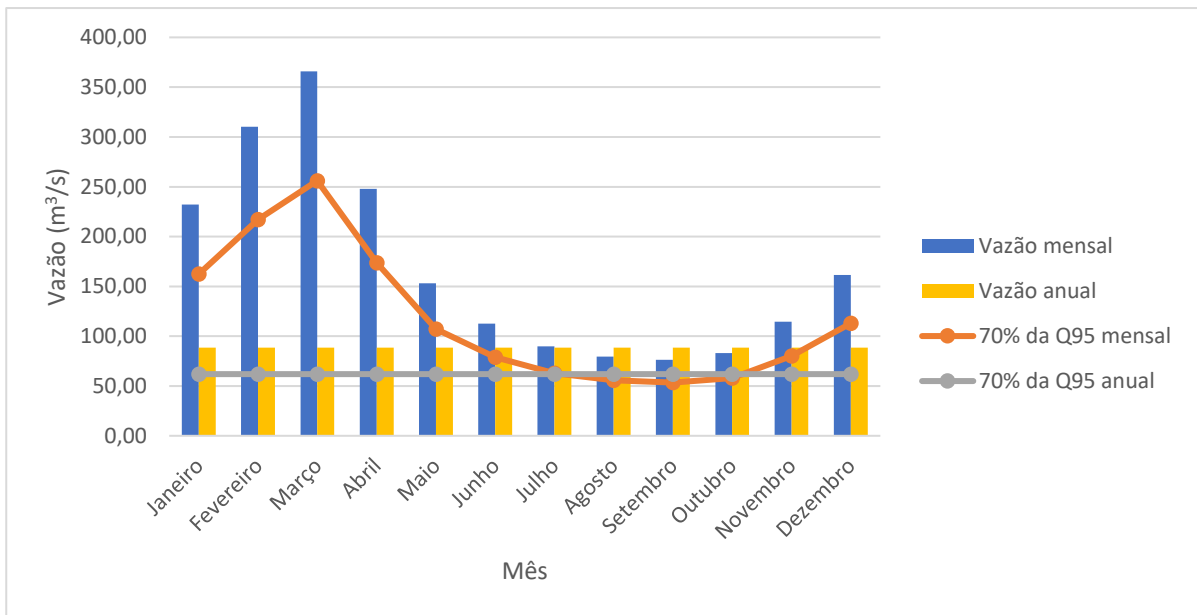


Figura 4.11 – Vazões mensais e anual da vazão mínima de referência Q_{95} da estação fluviométrica 17210000, localizada no município de Sorriso - MT.

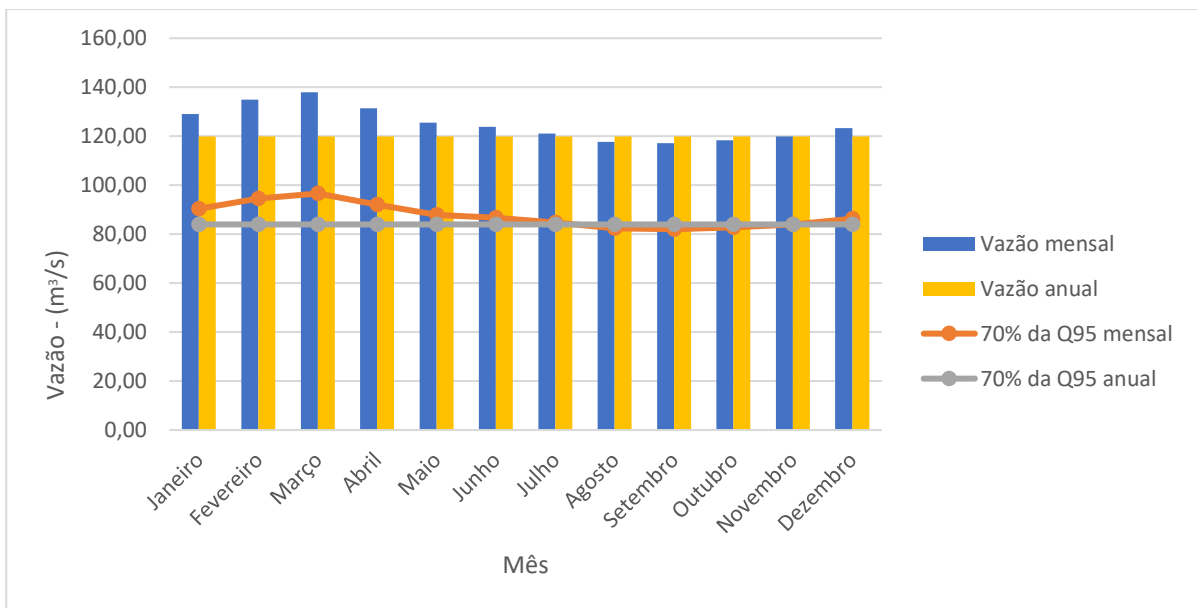


Figura 4.12 – Vazões mensais e anual da vazão mínima de referência Q_{95} da estação fluviométrica 17091000, localizada no município de Sapezal - MT.

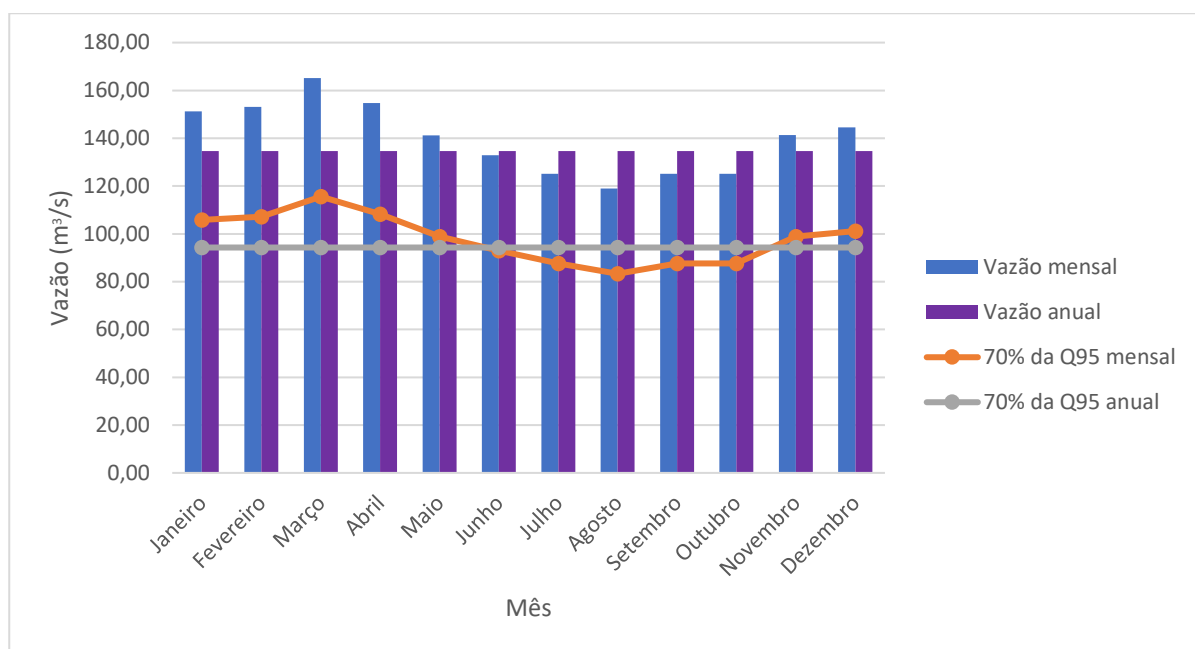


Figura 4.13 – Vazões mensais e anual da vazão mínima de referência Q_{95} da estação fluviométrica 17092800, localizada no município de Campo Novo do Parecis - MT.

As três estações apresentaram um aumento significativo nos meses de maior disponibilidade hídrica, principalmente nos meses de janeiro a abril, atingindo o ápice no mês de março nas estações. Porém, nos meses de junho a novembro, ocorreu, em geral, uma maior limitação de retirada de água dos rios quando comparado com a vazão anual. Dessa forma, o critério de outorga mensal reflete a variação da disponibilidade hídrica, permitindo um maior uso da água nos períodos de maior disponibilidade e impondo restrições mais adequadas durante os períodos críticos de seca, conforme ilustrado nos gráficos. Portanto, a redução da vazão de outorga nos meses de menor disponibilidade de água é essencial para reduzir a escassez ou impactos ambientais indesejados.

No município de Sorriso, no mês de março, a vazão outorgável mensal apresentou um aumento de 314% em relação à anual, evidenciando um grande potencial para otimizar a produção do agronegócio e aumentar os retornos financeiros. Em Campo Novo do Parecis, no mês de maior disponibilidade hídrica, houve um acréscimo de 23% em comparação à vazão anual. No entanto, em agosto, há uma limitação de 12% em relação à vazão outorgável anual, o que significa que a captação de água dos cursos hídricos nesse período deve ser 12% menor do que o volume permitido considerando a média anual. Para Sapezal, há aumento de 15% e restrição de 2,3% no mês de setembro, mostrando que há variações quanto a restrição e ampliação de vazão a depender da localidade.

Ademais, é necessário ressaltar que se a vazão anual é superior à média mensal em alguns meses, significa que existem meses com vazões abaixo da média anual, caracterizando uma forte variação sazonal. É o que ocorre nas regiões estudadas nos meses de junho a outubro para Campo

Novo do Parecis e de agosto a outubro para Sapezal e Sorriso. Além disso, é possível concluir que no mês de outubro é o início da estação chuvosa da região. Porém, somente nos meses seguintes há um aumento significativo da vazão. Esse fato ocorre em razão do solo estar bastante seco devido ao longo período de seca. As chuvas que começam em outubro aumentam inicialmente a umidade nas camadas superficiais do solo, mas não afetam diretamente o nível do lençol freático, o que não resulta em um aumento imediato nas vazões (Pruski *et al.*, 2014).

Assim, para uma gestão eficiente dos recursos hídricos, é essencial considerar a sazonalidade na definição das vazões outorgáveis, evitando a superexploração nos períodos de menor disponibilidade hídrica. A adoção da Q₉₅ como referência para a outorga contribui para a proteção dos rios durante os períodos de estiagem, garantindo um uso mais sustentável da água. Portanto, é possível perceber que a vazão outorgável em base anual e em base mensal para essas regiões é sempre menor que a vazão média mensal garantindo que nos meses de menor vazão haja água escoando nos rios.

Conforme apresenta-se na Figura 4.14, foi analisada o Balanço Hídrico Quantitativo (BHQ) para algumas sub-bacias do estado de Mato Grosso com o objetivo de identificar quanto da oferta hídrica está sendo utilizada para atendimento dos usos consuntivos, em base anual e mensal.

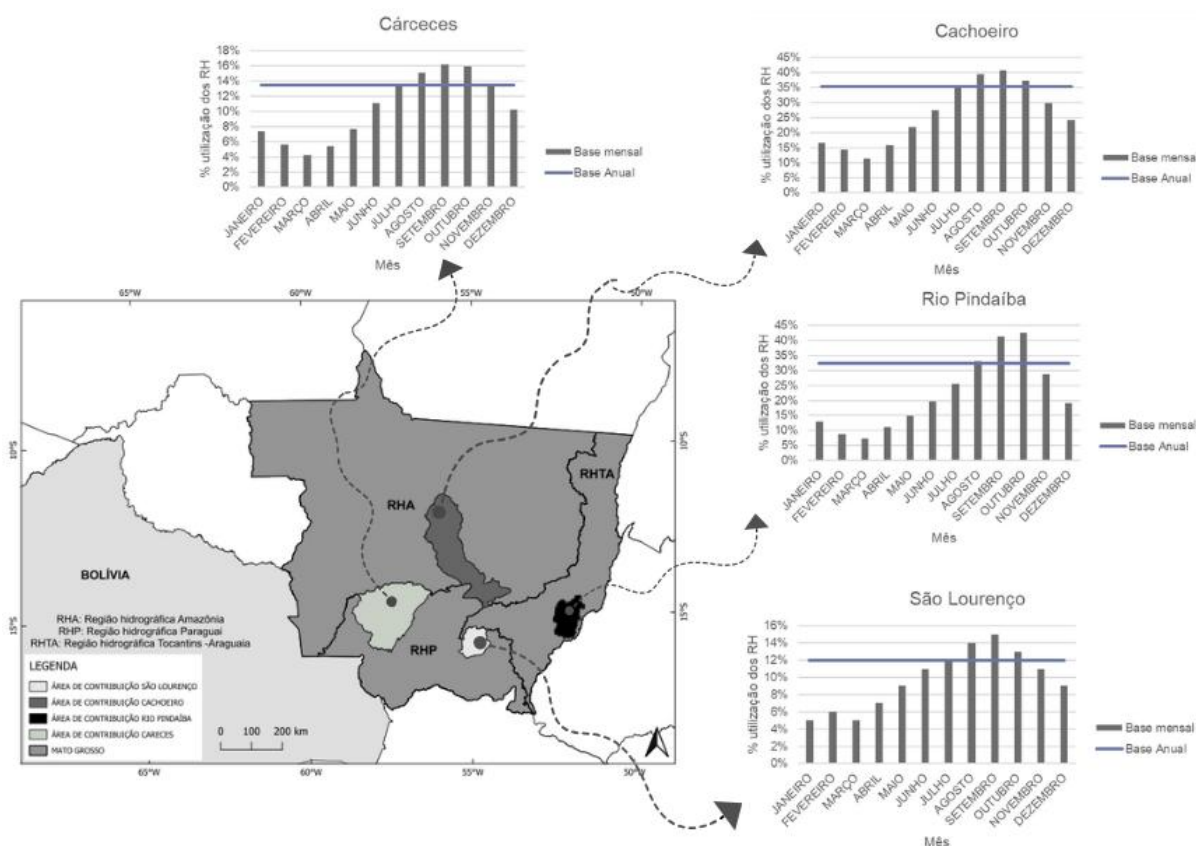


Figura 4.14 – Disponibilidade hídrica em algumas sub-bacias para o estado de Mato Grosso.

A análise do gráfico evidencia que a disponibilidade hídrica varia significativamente entre as sub-bacias, com destaque para o Rio Pindaíba e o Cachoeiro, que apresentam os maiores percentuais mensais de comprometimento da disponibilidade hídrica, superiores a 40% na estação seca, representando que essa fração do recurso está destinada ao atendimento de demandas outorgadas, enquanto Cárceres e São Lourenço registram valores inferiores a 16%, indicando diferentes pressões de uso da água. Além disso, nota-se que os meses com maior comprometimento coincidem com a estação seca (geralmente de julho a outubro), uma tendência de intensificação do uso em função da redução natural das vazões, ressaltando a necessidade de maior cautela na concessão de outorgas nesse período.

Por outro lado, quando se utiliza a base anual, a disponibilidade hídrica é representada por um valor único e constante ao longo de todo o ano. No Rio Pindaíba, por exemplo, foi verificada uma subestimação de 11% do uso real dos recursos hídricos em outubro, enquanto em março observou-se uma superestimação de 25% do uso nesse período. Dessa forma, a base anual não capta as variações mensais e tende a suavizar o comprometimento dos recursos hídricos em épocas de escassez, podendo gerar uma falsa percepção de segurança hídrica. Portanto, a comparação entre as bases mensal e anual mostra que a base anual pode mascarar as variações sazonais da vazão, subestimando o risco nos períodos de estiagem e superestimando em épocas de maior disponibilidade hídrica.

O Balanço Hídrico Quantitativo (BHQ) representa a proporção da disponibilidade hídrica comprometida pelos usos consuntivos outorgados e, quando calculado com base mensal, proporcionou uma leitura mais precisa dos momentos críticos de maior pressão, permitindo ajustar as concessões de forma mais adequada à real disponibilidade hídrica ao longo do ano.

4.1.4 Considerações parciais

O uso de critérios de outorga baseados nas vazões mensais pode ampliar a disponibilidade de recursos hídricos ao considerar variações sazonais mais realistas;

Nos meses de menor disponibilidade hídrica, especialmente de agosto a outubro, a vazão mensal é inferior à anual, indicando que nesses meses não há aumento da disponibilidade hídrica quando se utiliza a vazão mensal; e

A utilização da vazão mensal permite ajustar a quantidade outorgada conforme as oscilações naturais do regime hidrológico, sendo fundamental para mitigar a escassez de água e minimizar impactos ambientais negativos favorecendo uma gestão mais eficiente e segura.

4.3 MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL

4.3.1 Regionalização de vazões

4.3.1.1 Definição das regiões homogêneas

Foram avaliadas diferentes possibilidades de divisão da área de estudo em regiões hidrologicamente homogêneas, sendo a adoção de dez regiões a que se mostrou mais adequada (Figura 4.15).

As bacias hidrográficas do Rio Teles Peres e do Rio da Morte estão totalmente inseridas nas regiões hidrologicamente homogêneas 4 e 6, respectivamente, sendo RHH 4 pertencente à região hidrográfica Tapajós e a RHH 6 à região hidrográfica Araguaia (Figura 4.16).

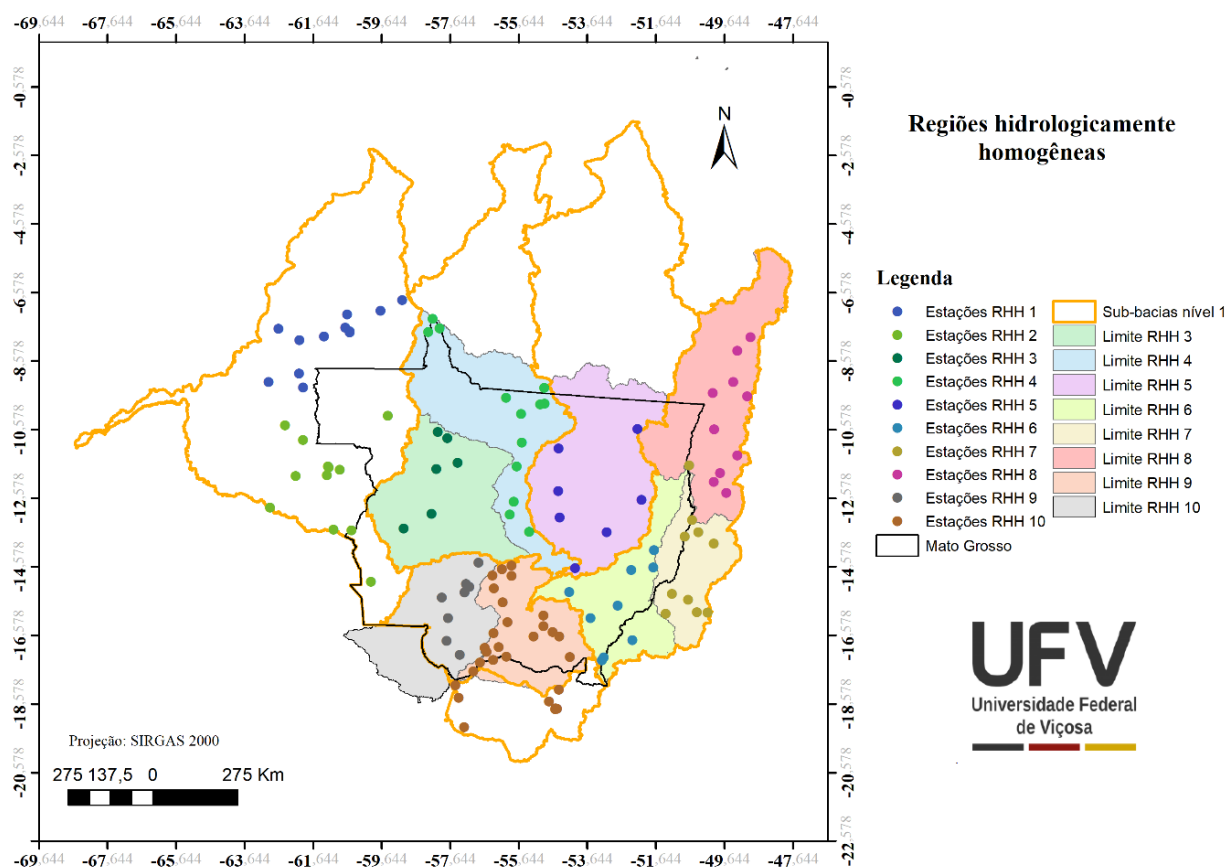


Figura 4.15 – Regiões Hidrologicamente Homogêneas adotadas no presente estudo.

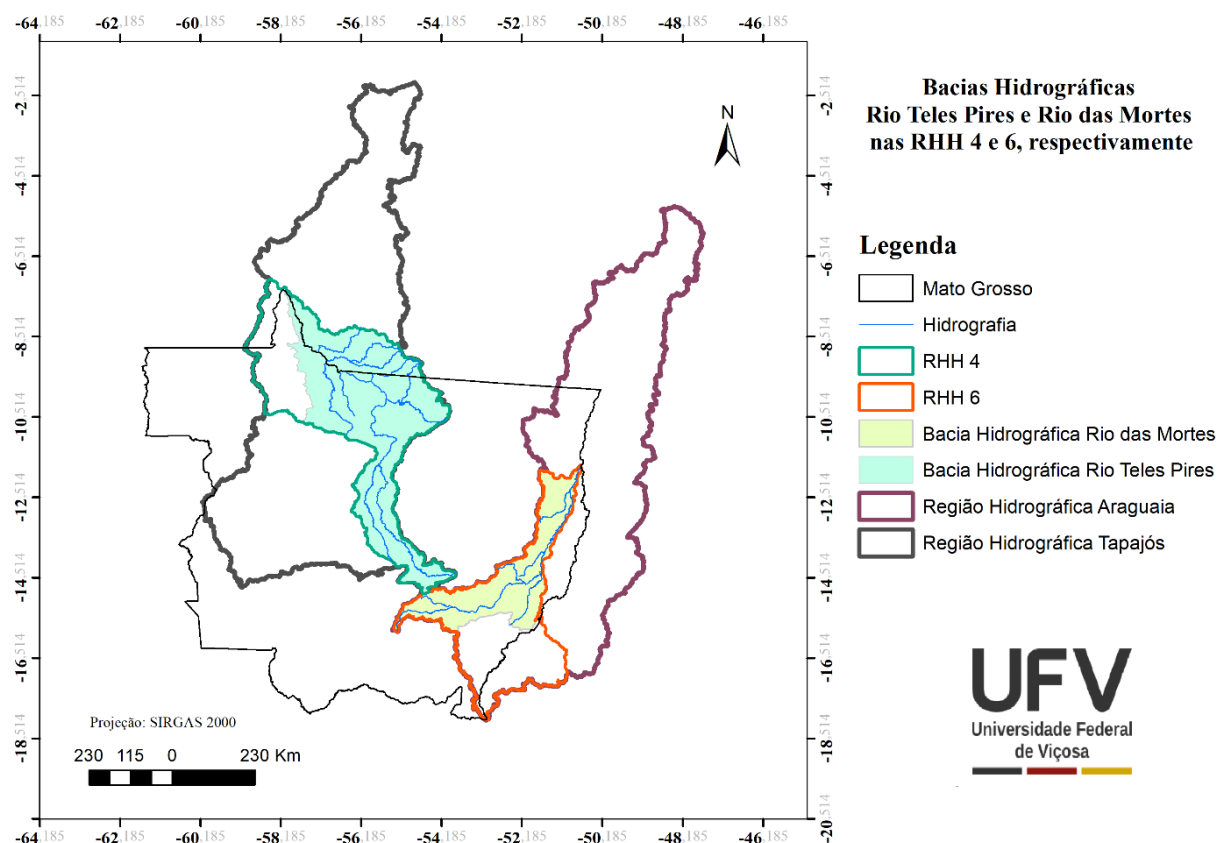


Figura 4.16 – Localização das bacias hidrográficas do Rio Teles Pires e do Rio das Mortes nas RHH 4 e 6, respectivamente.

4.3.1.2 Obtenção das equações de regionalização de vazão

Nas Tabelas 4.3 e 4.4 estão apresentadas informações relativas aos dados observados (Q_{95} , Q_{mld} , A , P , Peq , q_{95} e CE) nas estações fluviométricas localizadas nas regiões RHH 4 e RHH 6, respectivamente, utilizados para a regionalização das vazões.

As equações de regionalização obtidas pelo método das regressões regionais para Q_{95} e Q_{mld} , considerando as variáveis independentes isoladas (A e A e P) e combinadas (Peq), nas regiões homogêneas RHH 4 e RHH 6 estão apresentadas nas Tabelas 4.5 e 4.6, respectivamente.

Tabela 4.3 - Código, Q₉₅, Q_{mld}, A, P, q₉₅ e CE para as estações fluviométricas localizadas na RHH 4

Código	Q ₉₅	Q _{mld}	A	P	Peq	q ₉₅	CE
	m ³ /s	m ³ /s	km ²	mm	m ³ /s	L/s km ²	adm
17130000	1863.79	4229.42	182599	2133	12347.73	10.21	0.34
17200000	45.67	235.59	10759	1782	608.12	4.24	0.39
17210000	88.46	322.77	13917	1842	813.08	6.36	0.40
17230000	65.37	115.59	5493	1775	309.12	11.90	0.37
17280000	332.04	816.28	34598	2002	2196.84	9.60	0.37
17300000	395.56	950.34	40727	2076	2680.76	9.71	0.35
17340000	423.15	1205.40	52209	2138	3539.49	8.10	0.34
17350000	2.40	30.52	1015	2206	70.99	2.36	0.43
17355000	29.93	116.91	3032	2275	218.76	9.87	0.53
17380000	549.94	2057.55	81642	2203	5703.67	6.74	0.36
17420000	1013.18	3684.99	138636	2261	9938.06	7.31	0.37
17430000	2897.76	8259.98	333045	2373	25061.48	8.70	0.33

Tabela 4.4 - Código, Q₉₅, Q_{mld}, A, P, q₉₅ e CE para as estações fluviométricas localizadas na RHH 6

Código	Q ₉₅	Q _{mld}	Área	PPT	Peq	q ₉₅	CE
	m ³ /s	m ³ /s	km ²	mm	m ³ /s	L/s km ²	adm
24070000	12.82	34.10	1737	1549	85.32	7.38	0.40
24196000	2.49	25.11	1770	1455	81.64	1.41	0.31
24500000	24.78	85.48	5212	1525	251.98	4.75	0.34
24650000	5.10	28.66	1950	1542	95.35	2.62	0.30
26150000	26.56	111.19	9287	1505	443.26	2.86	0.25
26200000	253.65	629.94	40373	1589	2034.81	6.28	0.31
26100000	212.31	443.04	25335	1622	1302.86	8.38	0.34
26040000	71.16	117.39	5268	1600	267.34	13.51	0.44

Tabela 4.5 - Equações de regionalização para as variáveis dependentes Q₉₅ e Q_{mld}, considerando os modelos de regressão linear e potencial, com as variáveis independentes A, A e P e P_{eq}, para RHH 4

	Modelo Linear	Modelo Potencial
RHH 4	$Q_{95} = -21,1958 + 0,0089 A$	$Q_{95} = 0,0021 + A^{1,1210}$
	$Q_{95} = 314,9930 + 0,0091 A - 0,1680 P$	$Q_{95} = 1,2089 + A^{1,1379} + P^{-0,8519}$
	$Q_{95} = 13,7280 + 0,1188 Peq$	$Q_{95} = 0,0552 + Peq^{1,0941}$
	$Q_{mld} = -13,5655 + 0,0247 A$	$Q_{mld} = 0,0365 + A^{0,9629}$
	$Q_{mld} = -524,2560 + 0,0244 A + 0,2551 P$	$Q_{mld} = 0,0000 + A^{0,9340} + P^{1,4557}$
	$Q_{mld} = 75,5743 + 0,3326 Peq$	$Q_{mld} = 0,5705 + Peq^{0,9455}$

Tabela 4.6 - Equações de regionalização para as variáveis dependentes Q_{95} e Q_{mld} , considerando os modelos de regressão linear e potencial, com as variáveis independentes A , A e P e P_{eq} , para RHH 6

	Modelo Linear	Modelo Potencial
RHH 6	$Q_{95} = -1,4966 + 0,0068 A$	$Q_{95} = 0,0005 + A^{1,2546}$
	$Q_{95} = -711,8600 + 0,0058 A + 0,4664 P$	$Q_{95} = 0,0000 + A^{0,8907} + P^{20,3960}$
	$Q_{95} = -0,8256 + 0,1349 P_{eq}$	$Q_{95} = 0,0244 + P_{eq}^{1,2428}$
	$Q_{mld} = 3,1674 + 0,0159 A$	$Q_{mld} = 0,0178 + A^{0,9899}$
	$Q_{mld} = -630,1130 + 0,0150 A + 0,4158 P$	$Q_{mld} = 0,0000 + A^{0,8882} + P^{5,7027}$
	$Q_{mld} = 5,2169 + 0,3141 P_{eq}$	$Q_{mld} = 0,3817 + P_{eq}^{0,9751}$

4.3.1.3 Análise do desempenho da regionalização de vazões

Nas Tabelas 4.7 e 4.8 estão apresentados os índices estatísticos dos modelos de regionalização gerados, para Q_{95} e Q_{mld} , com as diferentes combinações de variáveis independentes, para cada região hidrologicamente homogênea.

Os índices estatísticos obtidos mostram que a média dos valores absolutos dos resíduos foi baixa para os dois modelos nas duas regiões analisadas, conduzindo à classificação dos modelos como bons estimadores. Já o coeficiente de determinação foi bom para os dois modelos, para todas as variáveis, sendo maior que 0,95 na RHH 4 e maior que 0,98 na RHH 6, indicando que todas as equações apresentaram ótima qualidade do ajuste.

Entretanto, apesar dos índices mostrarem que as equações apresentaram desempenho estatístico satisfatório, resultados muito próximos entre si, tais como os obtidos, indicam que os modelos são estatisticamente concordantes e não permitem concluir qual deles apresenta melhor desempenho. Assim, visando a maior segurança na estimativa da disponibilidade hídrica, foi realizada a avaliação dos valores de vazão obtidos com a aplicação das equações ao longo de toda hidrografia em relação aos dados observados nas estações fluviométricas (Figuras 4.17 a 4.20). Os valores mínimos e máximos observados nas estações fluviométricas para a q_{95} foram, respectivamente, 0,0024 e 0,0119 $m^3 s^{-1} km^{-2}$ na RHH 4 e 0,0014 e 0,0135 $m^3 s^{-1} km^{-2}$ na RHH 6, enquanto os valores mínimos e máximos observados para o CE foram, respectivamente, 0,3296 e 0,5344 na RHH 4 e 0,2509 e 0,4391 na RHH 6.

A análise da espacialização dos resultados mostra que o modelo linear amplificou a faixa de valores estimados e apresentou valores de q_{95} e CE improváveis e até impossíveis em grande parte dos trechos da hidrografia para todas as variáveis nas duas regiões hidrologicamente homogêneas. Já o modelo potencial apresentou faixa de valores estimados mais próximas entre si, pequena quantidade de trechos com valores sub ou superestimados e apenas alguns trechos com valores impossíveis ou improváveis, segundo a variável independente considerada. Essa primeira análise mostra que o modelo potencial é o mais adequado para a regionalização de vazões nas regiões homogêneas 4 e 6 e

as análises seguintes serão feitas considerando esse modelo.

Tabela 4.7 - Indicadores estatísticos dos modelos de regionalização de vazões da Q_{95} e para Q_{mld} para a RHH 4

Variável		Índice	Linear	Potencial
Q_{95}	A	R^2 ajustado	0,9821	0,9570
		Média dos resíduos	-55	7
	A e P	R^2 ajustado	0,9812	0,9540
		Média dos resíduos	-171	7
	Peq	R^2 ajustado	0,9724	0,9499
		Média dos resíduos	78	9
Q_{mld}	A	R^2 ajustado	0,9973	0,9913
		Média dos resíduos	-7	1
	A e P	R^2 ajustado	0,9974	0,9978
		Média dos resíduos	5	0
	Peq	R^2 ajustado	0,9977	0,9972
		Média dos resíduos	27	0

Tabela 4.8 - Indicadores estatísticos dos modelos de regionalização de vazões da Q_{95} e para Q_{mld} para a RHH 6.

Variável		Índice	Linear	Potencial
Q_{95}	A	R^2 ajustado	0,9182	0,8107
		Média dos resíduos	68	19
	A e P	R^2 ajustado	0,9638	0,9433
		Média dos resíduos	-80	5
	Peq	R^2 ajustado	0,9276	0,8274
		Média dos resíduos	66	17
Q_{mld}	A	R^2 ajustado	0,9864	0,9701
		Média dos resíduos	5	2
	A e P	R^2 ajustado	0,9932	0,9891
		Média dos resíduos	-3	1
	Peq	R^2 ajustado	0,9902	0,9766
		Média dos resíduos	5	1

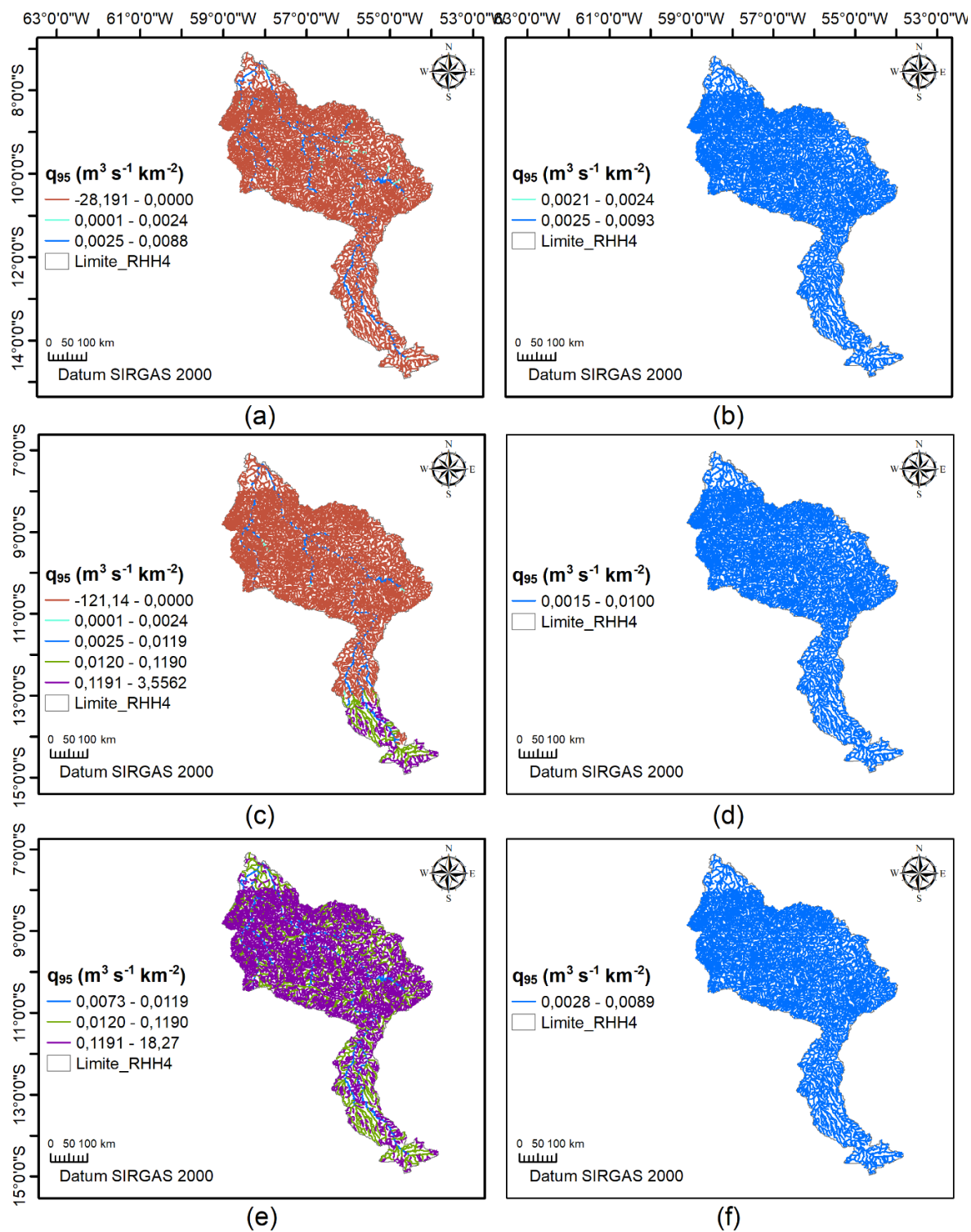


Figura 4.17 – Representação da variação do q_{95} ao longo da hidrografia na RHH 4 utilizando A (a), A e P (c) e P_{eq} (e) no modelo linear e A (a), A e P (c) e P_{eq} (e) no modelo potencial.

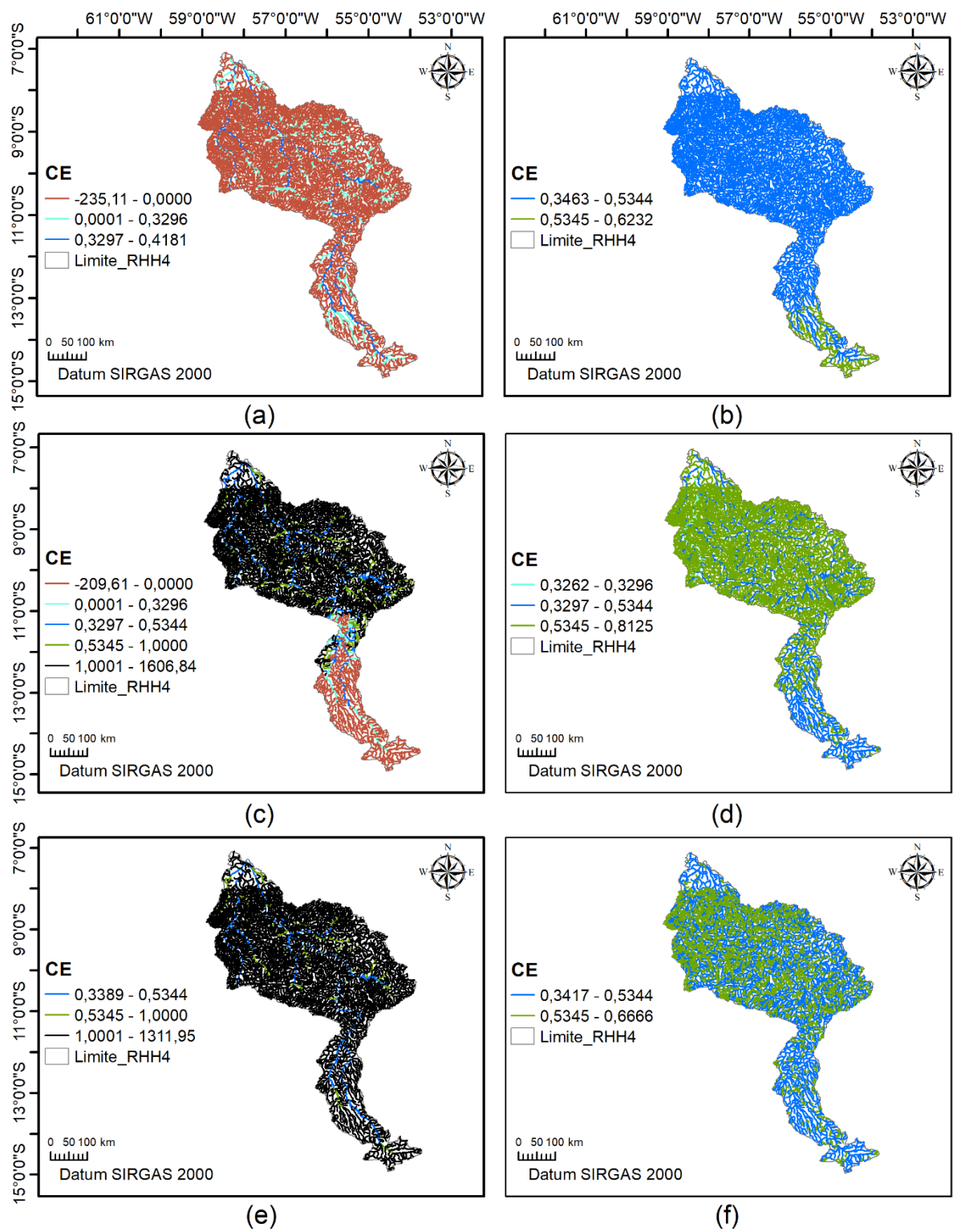


Figura 4.18 – Representação da variação do CE ao longo da hidrografia na RHH 4 utilizando A (a), A e P (c) e P_{eq} (e) no modelo linear e A (a), A e P (c) e P_{eq} (e) no modelo potencial.

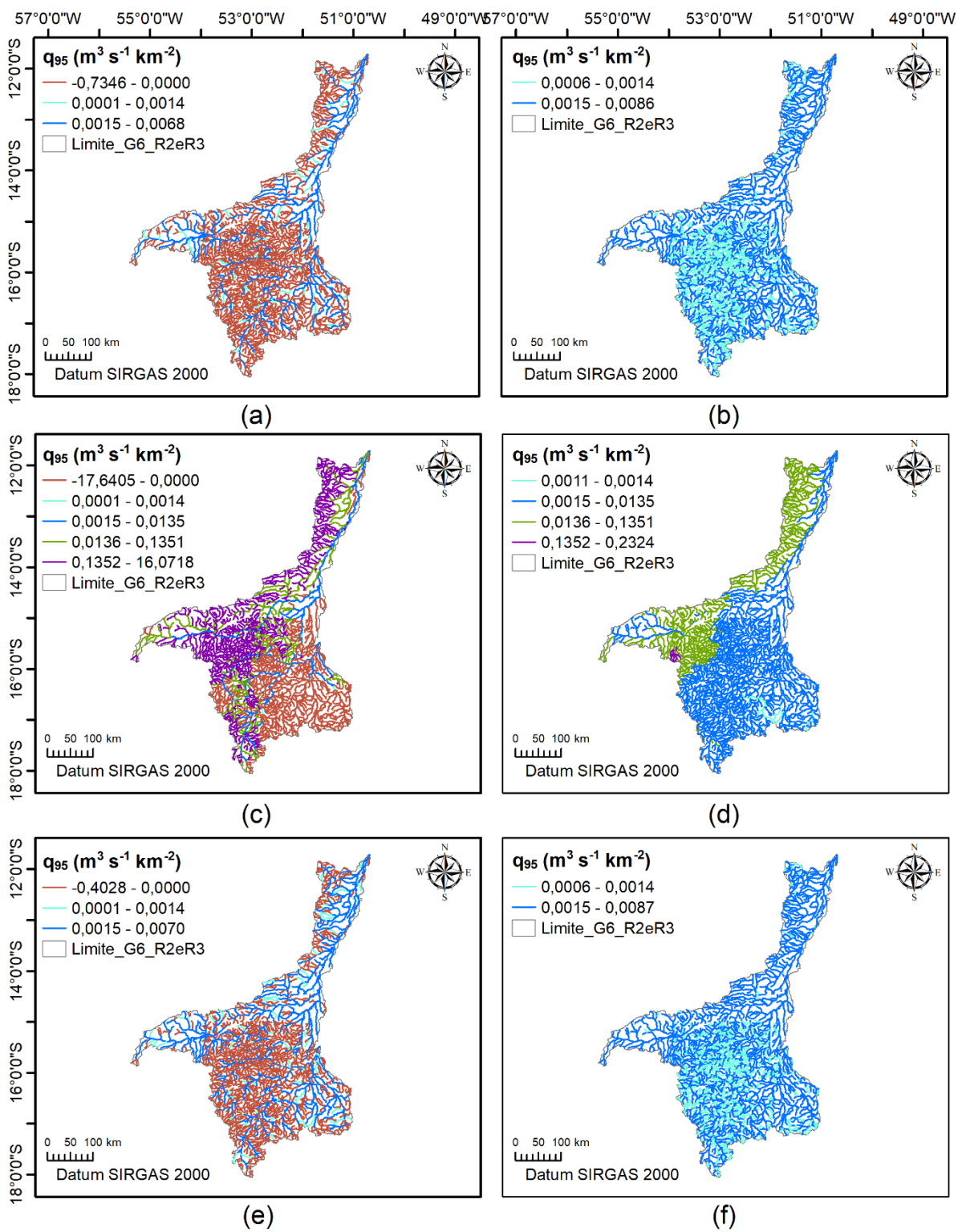


Figura 4.19 – Representação da variação do q_{95} ao longo da hidrografia na RHH 6 utilizando A (a), A e P (c) e P_{eq} (e) no modelo linear e A (a), A e P (c) e P_{eq} (e) no modelo potencial.

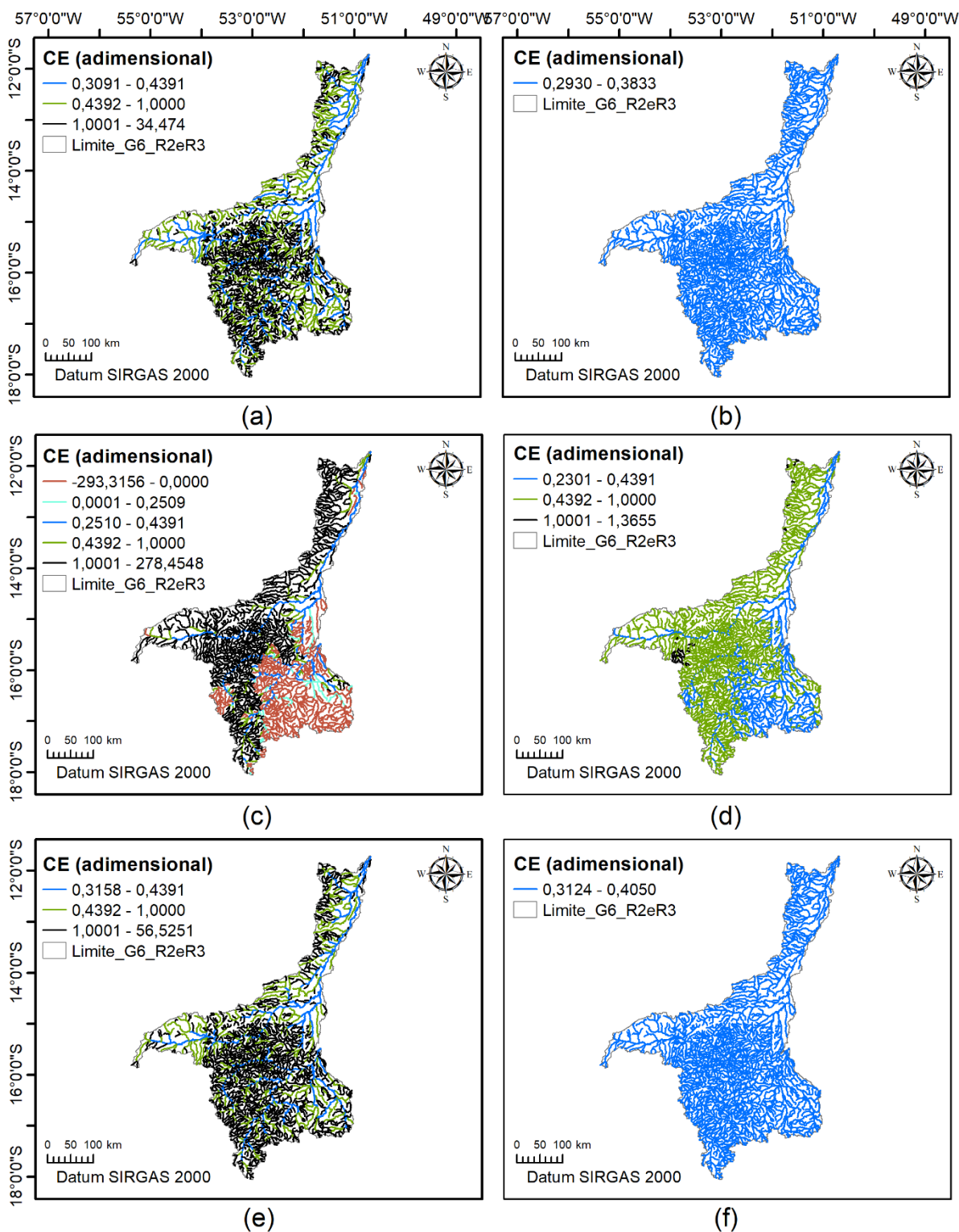


Figura 4.20 – Representação da variação do CE ao longo da hidrografia na RHH 6 utilizando A (a), A e P (c) e P_{eq} (e) no modelo linear e A (a), A e P (c) e P_{eq} (e) no modelo potencial.

Na RHH 4, todas as variáveis analisadas conduziram a estimativas de q_{95} dentro do intervalo de valores observados, exceto para A que apresentou um trecho com valor subestimado, indicando que qualquer uma delas poderia ser usada. Assim, o uso de A e P foi adotado por apresentar intervalo de variação das estimativas de q_{95} mais próximo ao intervalo de valores observados. Para as estimativas do CE, o uso de A e P de forma isolada resultou em trechos com valores abaixo (1,8%

dos trechos) e acima (72% dos trechos) dos valores observados e o uso de A e Peq resultou em valores acima dos observados em 2,5% e 37,6% dos trechos, respectivamente. Esses resultados, associados ao desempenho estatístico dos modelos, indicam que o uso da área de drenagem como variável independente é o mais adequado para regionalização da Q_{mld} na RHH 4. Porém, como essa combinação, gera trechos com valores acima do máximo observado, foi aplicada a imposição de restrição e a correção da vazão estimada nesses trechos, conforme equação 5.

Na RHH 6, para estimativas de q_{95} , o uso de A e P de forma isolada resultou em trechos com valores abaixo (1,6% dos trechos) e acima dos valores observados (26,9% dos trechos, dos quais 2% apresentam valores maiores que dez vezes o máximo observado). Já o uso de A e de Peq gerou valores abaixo dos observados em 31% e 25% dos trechos, respectivamente, e não conduziu a valores acima dos observados, indicando as duas variáveis como boas preditoras do comportamento das vazões, sendo adotada a Peq, por seu desempenho ligeiramente superior. Em relação ao CE, o uso de A e P de forma isolada resultou em trechos com valores acima dos valores observados em 68% dos trechos, dos quais 2,5% apresentam valores maiores que um, o que é impossível entre valores observados. Já o uso de A e de Peq conduziram a valores dentro do intervalo de valores observados, tendo a Peq sido adotada por apresentar intervalo de variação das estimativas de CE mais próximo ao intervalo de valores observados.

A partir da escolha do modelo e da variável mais representativos do comportamento das vazões na bacia foi realizado o ajuste onde a imposição de restrição foi necessária e, em posteriormente, a espacialização das estimativas das vazões estudadas ao longo da hidrografia. Nas Figuras 4.21 a 4.24 estão apresentados os mapas de distribuição da Q_{95} e da Q_{mld} regionalizadas, para as bacias Hidrográficas dos Rios Teles Pires e das Mortes.

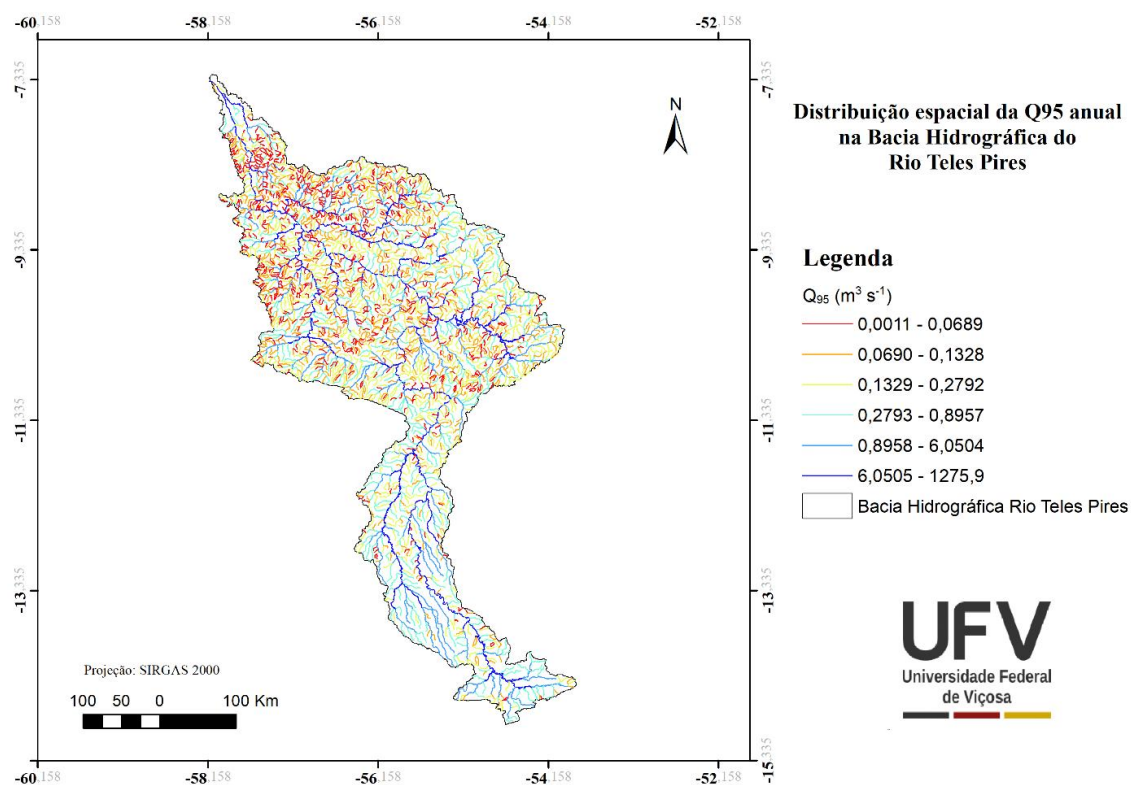


Figura 4.21 – Distribuição espacial da Q₉₅ anual na bacia do Rio Teles Pires.

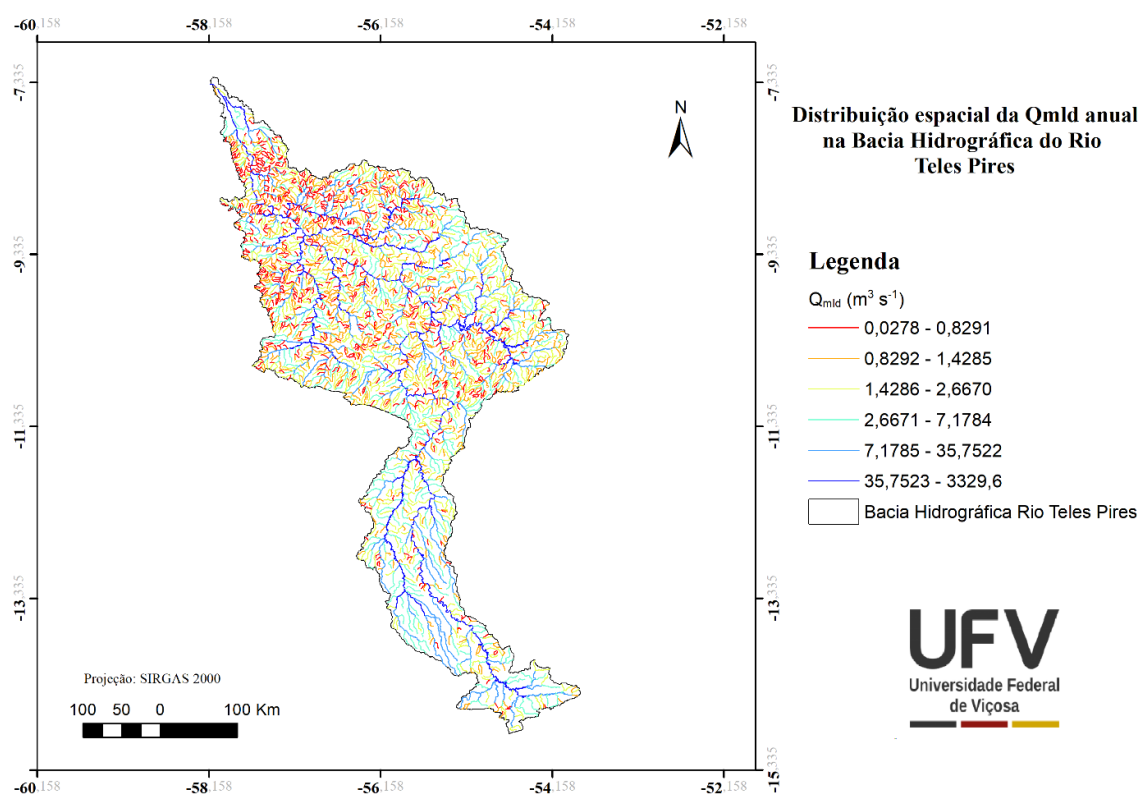


Figura 4.22 – Distribuição espacial da Q_{mld} anual na bacia do Rio Teles Pires.

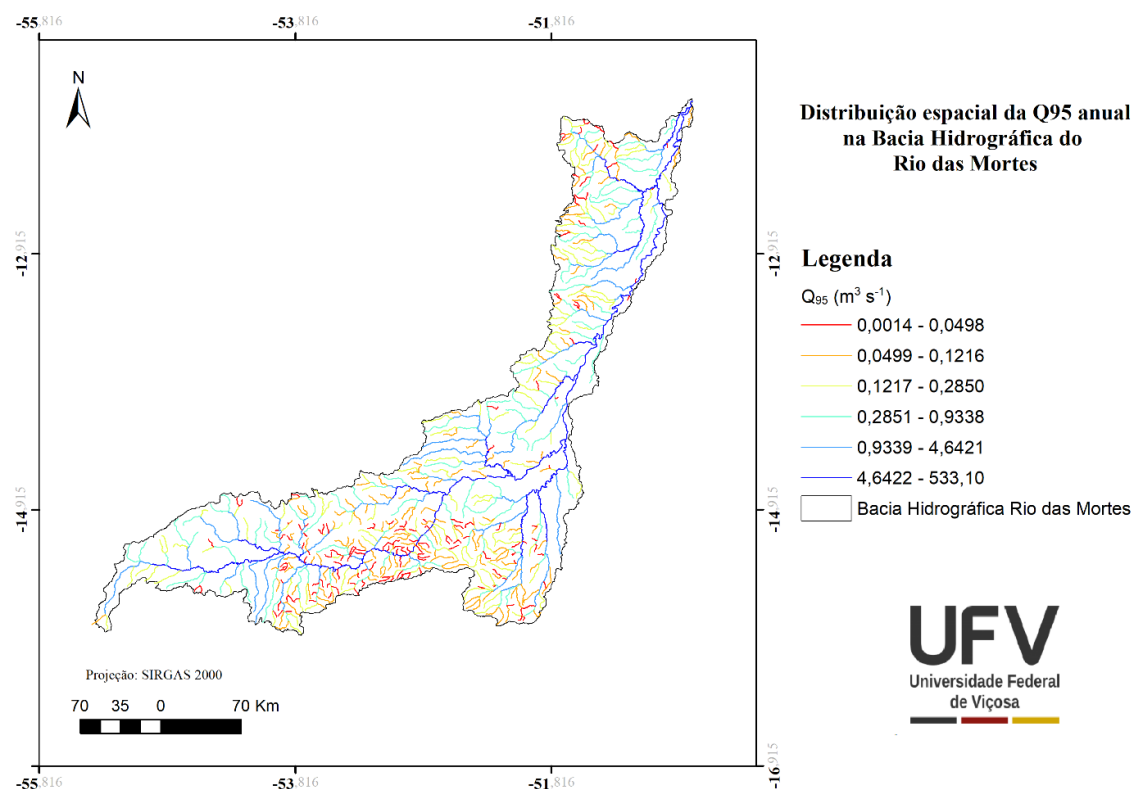


Figura 4.23 – Distribuição espacial da Q₉₅ anual na bacia do Rio das Mortes.

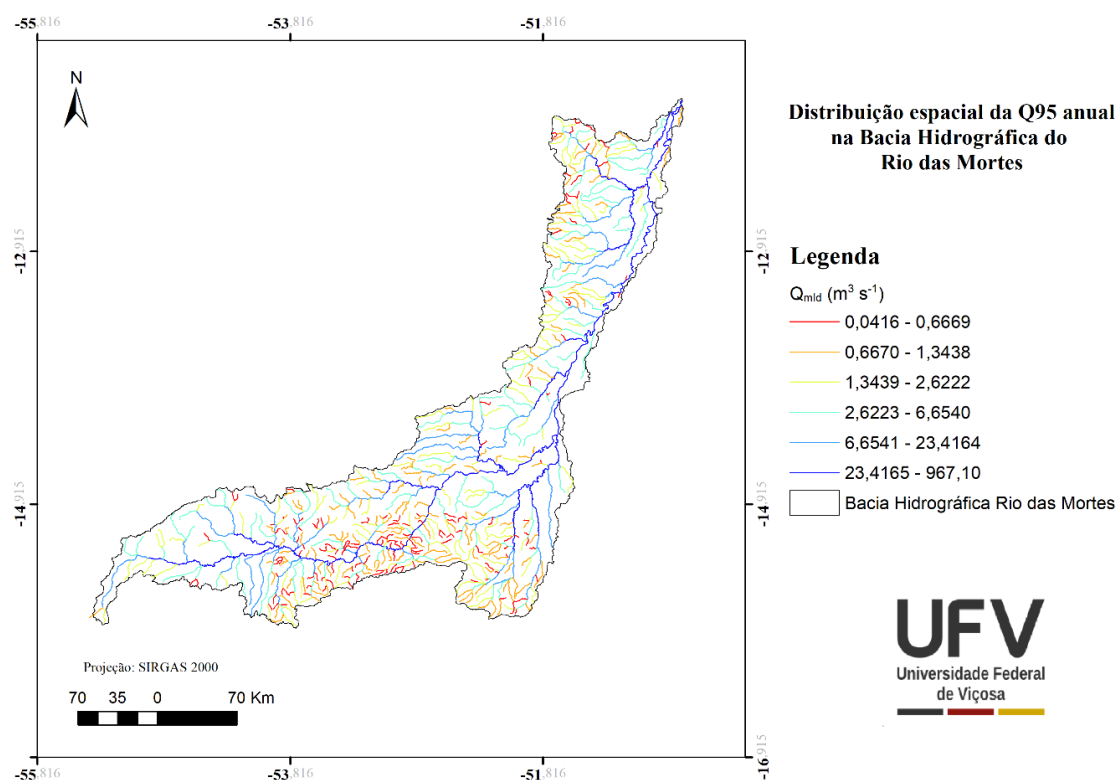


Figura 4.24 – Distribuição espacial da Q_{mld} anual na bacia do Rio das Mortes.

4.3.2 Considerações Parciais

Ressalta-se que devido a paralização das atividades do projeto no início de 2025 por falta de repasse de recurso, a quais somente foram retomadas em maio de 2025, ainda não foi possível discutir os resultados parciais aqui apresentados de forma integrada com o grupo. Portanto, no presente relatório parcial ainda não será possível apresentar as conclusões da Etapa 04.03 da Meta 04 do projeto.

4.4 VIABILIDADE DE INCREMENTO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL

4.4.1 Introdução

A vazão dos rios apresenta variação sazonal ao longo do ano hidrológico, o que frequentemente limita seu uso contínuo para diversos fins. Além dessa variabilidade natural, as captações a fio d'água destinadas a múltiplos usos reduzem ainda mais a disponibilidade hídrica natural, restringindo a implantação de novos empreendimentos de irrigação ou a expansão dos existentes na bacia hidrográfica (Tucci & Clarke, 2016).

Uma estratégia eficaz para mitigar esse problema é a regularização de vazões por meio de reservatórios. Essa técnica visa aumentar a disponibilidade hídrica dos cursos d'água, garantindo o atendimento de demandas como irrigação, geração de energia e outros usos múltiplos no âmbito da bacia (Pruski & Pruski, 2011).

Uma etapa fundamental no projeto de reservatórios consiste na determinação do volume necessário para atender uma determinada vazão de demanda com um risco mínimo de falha. Para isso, são elaboradas curvas de regularização, as quais estabelecem a relação entre a vazão demandada e o volume requerido para sua garantia.

A capacidade de regularização de vazões em rios deve ter como referência a vazão média de longa duração (Q_{mld}), uma vez que a vazão máxima demandada não deve exceder 100% desse valor. Quando essa condição é desrespeitada, mesmo com a construção de reservatórios, não é possível garantir o atendimento contínuo da demanda sem risco de falhas operacionais. Em outras palavras, a possibilidade de o reservatório não conseguir atender à demanda hídrica torna-se elevada (Pruski; Silva, Koetz, 2006).

O limite de 100% da Q_{mld} representa um valor teórico. Na prática, entretanto, hidrólogos e instituições de gestão de recursos hídricos usualmente consideram 70% da Q_{mld} como um valor operacional mais seguro e realista (Genovez, 2016). Este percentual tem sido amplamente adotado por órgãos ambientais como parâmetro de referência nos estudos hidrológicos para a regularização de vazões.

Nesta fase do estudo, foram determinadas as curvas de regularização para as bacias dos rios Teles Pires e das Mortes, onde estão inseridas, respectivamente, partes dos polos de irrigação PIATP-MT e PICS-MT. Após a determinação das curvas, procedeu-se à regionalização com base na vazão média de longa duração (Q_{mld}) e no agrupamento das curvas segundo regiões hidrologicamente homogêneas identificadas nas referidas bacias.

Os dados obtidos neste estudo possuem potencial de aplicação em análises hidrológicas voltadas ao planejamento e dimensionamento de reservatórios nas regiões dos polos de irrigação PIATP-MT e PICS-MT, localizados nas bacias dos rios Teles Pires e das Mortes, respectivamente. As curvas de regularização regionalizadas, associadas à vazão média de longa duração (Q_{mld}), oferecem subsídios técnicos essenciais para avaliar a viabilidade de captação hídrica superficial e a maior segurança do atendimento às demandas ao longo do ano.

4.4.2 Metodologia

As curvas de regularização de vazões foram elaboradas para as mesmas estações fluviométricas inseridas nas regiões hidrologicamente homogêneas previamente definidas para as bacias dos rios Teles Pires e das Mortes, conforme a Etapa 4 de regionalização de vazões. Nesta fase do estudo, adotou-se a equação de regionalização da vazão média de longa duração (Q_{mld}), estabelecida na referida etapa. Essa abordagem garante a consistência metodológica entre as análises de regionalização de vazões e de regularização, permitindo a aplicação dos resultados em escala regional.

As curvas de regularização de cada estação fluviométrica das bacias hidrográficas foram elaboradas com base no método de simulação do volume dos reservatórios para atendimento de diferentes percentuais de demanda em relação à vazão média de longa duração do rio. Maiores detalhes sobre esse método, assim como sobre o processo de regionalização, podem ser consultados em Pruski, Silva e Koetz (2006) e Tucci (2002).

Uma equação de regularização é uma função como apresentada na Equação 1.

$$R_t = \frac{Q_r}{Q_{mld}} \times 100 \quad (1)$$

em que:

R_t = percentual da vazão média de longa duração que será regularizado;

Q_r = vazão regularizada (demandada) em função do tempo t em $m^3 s^{-1}$; e

Q_{mld} = vazão média de longa duração do curso de água em $m^3 s^{-1}$. Destaca-se que a vazão média de longa duração foi regionalizada para as bacias do rio Teles Pires e rio das Mortes na Etapa 4.03 deste estudo.

A capacidade mínima do reservatório (C_r) para atender a Equação 1 (Equação de regularização) foi obtida pela diferença entre o volume que seria necessário para atender a vazão requerida no período mais crítico (V_n) e o volume que aflui (V_a) ao reservatório no mesmo período ($C_r = V_n - V_a$). Esse volume do reservatório foi obtido calculando a diferença das vazões na escala diária para diferentes valores de R_t (Equação 1) que representa a parcela da vazão média de longa duração que será regularizada. O valor de C_r foi calculado para vários períodos de estiagem dos anos hidrológicos da série histórica de vazões e o valor mais crítico foi considerado.

Após a obtenção do volume do reservatório para diferentes R_t plotou-se a curva de regularização adimensional. Nesse gráfico, o eixo das ordenadas representa $\text{Volume}/Q_{\text{mld.1ano}}$ e o eixo das abscissas R_t (Equação 1). A evaporação do lago não foi considerada nesse cálculo.

Para o conjunto de pontos R_t e R_{adim} de cada curva de regularização adimensional ajustou-se o modelo de regressão potencial, conforme Equação 2.

$$R_{\text{adim}} = a(R_t)^b \quad (2)$$

em que:

- R_{adim} = volume adimensional obtido por $\text{Volume}/Q_{\text{mld.1ano}}$;
- R_t = percentual de regularização da vazão média de longa duração, %; e
- a e b = coeficientes de ajuste do modelo de regressão, obtido pelo método dos mínimos quadrados.

A incerteza do modelo de regressão foi determinada com o método de Regressão Bayesiana via Cadeias de Markov Monte Carlo (MCMC), implementada pela função `MCMCregress` do pacote `MCMCpack` (Matin; Quinn; Park, 2011) no software R. A qualidade do ajuste do modelo de regressão foi avaliada com o coeficiente de determinação (R^2).

Por fim, avaliou-se a possibilidade de agrupamento das curvas de regularização com base nas regiões hidrologicamente homogêneas em que se inserem as bacias hidrográficas dos rios Teles Pires e das Mortes. Para isso, foi utilizado o teste de identidade de modelos, com a aplicação do Teste de Chow (Chow, 1960), o qual permite verificar se diferentes conjuntos de dados podem ser descritos por um único modelo estatístico.

O Teste de Chow compara dois modelos de regressão: um ajustado de forma conjunta (modelo médio) e outro ajustado separadamente para cada curva individual. A partir dessa comparação, avalia-se se os coeficientes das regressões diferem significativamente, indicando a presença (ou ausência) de quebras estruturais entre os modelos.

Neste estudo, adotou-se um nível de significância de 5%. As curvas que não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p\text{-valor} > 0,05$) foram consideradas estatisticamente equivalentes, sendo, portanto, representadas por uma única equação potencial.

Como resultado, foram definidas regiões específicas dentro das bacias hidrográficas, agrupando-se as estações fluviométricas que compartilham curvas de regularização (Equação 2) estatisticamente semelhantes.

4.4.3 Resultados parciais

Na Tabela 4.9, apresentam-se as equações de regularização obtidas para as seções transversais das estações fluviométricas situadas nas bacias dos rios Teles Pires e das Mortes, acompanhadas dos respectivos coeficientes de determinação (R^2) das regressões. Também está incluída nesta tabela a “curva média” que representa determinada região de regularização da bacia. No Anexo I são apresentadas as curvas de regularização para cada uma das estações fluviométricas utilizadas nas bacias dos rios Teles Pires e das Mortes.

Na bacia do rio Teles Pires, foi possível agrupar os dados das estações 17280000 e 17300000, localizadas na região do Alto Teles Pires (Região IV – Figura 4.25), bem como das estações 17355000, 17380000 e 17420000, pertencentes ao Baixo Teles Pires (Região VIII – Figura 4.25). Já na bacia do rio das Mortes, considerando a similaridade entre as curvas de regularização, as estações 26100000 e 26200000 puderam ser agrupadas, caracterizando a Região III (Figura 4.26).

Conforme descrito na metodologia, os dados das estações agrupadas foram utilizados para o ajuste de um novo modelo de regressão, que foi então comparado às curvas individuais por meio do teste de Chow, adotando-se um nível de significância de 5%. Os resultados desse teste estão apresentados na Tabela 4.10.

Os valores de p obtidos foram superiores a 0,05 (Tabela 4.10), o que indica que a hipótese nula (H_0) do teste não pode ser rejeitada. Ou seja, não há diferença estatisticamente significativa entre o modelo de regressão ajustado com os dados agrupados (“modelo médio”) e os modelos individuais das estações. Assim, o modelo médio pode ser adotado como representativo da região correspondente.

Para as estações cujas curvas individuais não puderam ser agrupadas com base nos resultados do teste de Chow, as equações de regularização permaneceram como representativas exclusivas de suas respectivas áreas de drenagem.

Na Tabela 4.9 também podem ser consultadas as equações de regularização representativa de cada região de regularização bem como os intervalos de confiança dos coeficientes a e b do modelo potencial obtido pelo método MCMC. Nas Figuras 4.27 e 4.28 podem ser observadas as curvas de

regularização representativas de cada região das bacias do Teles Pires e rio das Mortes e seu intervalo de confiança.

As Figuras 4.25 e 4.26 ilustram a distribuição espacial das regiões das bacias, com a respectiva correspondência a cada equação de regularização de vazões.

A aplicação das equações de regularização requer o conhecimento prévio da vazão média de longa duração (Q_{mld}), que pode ser estimada por meio das Equações de Regionalização (Etapa 4) definidas para as regiões hidrologicamente homogêneas das bacias dos rios Teles Pires e das Mortes.

Tabela 4.9 - Resultado da regionalização da curva de regularização de vazão para as bacias hidrográficas do rio Teles Pires – BHTP/PIATP-MT e do rio das Mortes - BHRM/PICS-MT

Bacia	RHH	RCR	Estação	Equação da Estação	R ²	Equação da Região	R ²	a - IC	a - IC	b - IC	b - IC
								2,5%	97,5%	2,5%	97,5%
Teles Pires	IV	I	17200000	$\text{Radim} = 1,71111550153603.10^{-6}(R_t)^{2,82456337335404}$	0,852	$\text{Radim} = 1,71111550153603.10^{-6}(R_t)^{2,82456337335404}$	0,852	$8,91463650088532.10^{-7}$	$3,2825334944087.10^{-6}$	2,65901438819944	2,98994675148473
		II	17210000	$\text{Radim} = 4,58589730055456.10^{-6}(R_t)^{2,55021819914771}$	0,972	$\text{Radim} = 4,58589730055456.10^{-6}(R_t)^{2,55021819914771}$	0,972	$3,30359094466915.10^{-6}$	$6,36359938952313.10^{-6}$	2,46884347170441	2,63161921155893
		III	17230000	$\text{Radim} = 1,56116620779121.10^{-12}(R_t)^{5,69028205747201}$	0,944	$\text{Radim} = 1,56116620779121.10^{-12}(R_t)^{5,69028205747201}$	0,944	$3,12105727684212.10^{-13}$	$7,79290744559864.10^{-12}$	5,31516004553656	6,06551572671093
		IV	17280000	$\text{Radim} = 3,60338299762604.10^{-8}(R_t)^{3,56611704914638}$	0,960	$\text{Radim} = 5,23960120671488.10^{-9}(R_t)^{4,00865712795016}$	0,914	$2,26656388924406.10^{-9}$	$1,21134322171882.10^{-8}$	3,80734650499631	4,20984293420736
			17300000	$\text{Radim} = 1,39622573393673.10^{-9}(R_t)^{4,30945665591411}$	0,884						
		V	17340000	$\text{Radim} = 2,59861767268292.10^{-7}(R_t)^{3,15620156124811}$	0,972	$\text{Radim} = 2,59861767268292.10^{-7}(R_t)^{3,15620156124811}$	0,972	$1,8798440952657.10^{-7}$	$3,59078096949628.10^{-7}$	3,07748429341242	3,23497110865949
		VI	17350000	$\text{Radim} = 2,29046256796361.10^{-4}(R_t)^{1,73352720727488}$	0,986	$\text{Radim} = 2,29046256796361.10^{-4}(R_t)^{1,73352720727488}$	0,986	$1,98573627671932.10^{-4}$	$2,64189943009796.10^{-4}$	1,69577744995735	1,77121311836746
		VII	17355000	$\text{Radim} = 5,03090286851718.10^{-7}(R_t)^{3,08844888470699}$	0,977	$\text{Radim} = 1,30205403379019.10^{-6}(R_t)^{2,85306650988026}$	0,936	$9,89829112611609.10^{-7}$	$1,71299244210011.10^{-6}$	2,78491158496513	2,92110542134807
			17380000	$\text{Radim} = 4,10524673381444.10^{-6}(R_t)^{2,59102460872696}$	0,954						
			17420000	$\text{Radim} = 1,15518465272647.10^{-6}(R_t)^{2,86106184214823}$	0,934						
Rio das Mortes	VI	I	26040000	$\text{Radim} = 7,09521201048005.10^{-13}(R_t)^{5,83497476294647}$	0,972	$\text{Radim} = 7,09521201048005.10^{-13}(R_t)^{5,83497476294647}$	0,972	$1,59217480244766.10^{-13}$	$3,15557626166975.10^{-12}$	5,48927908126363	6,18092683191924
		II	26150000	$\text{Radim} = 4,12568820036229.10^{-6}(R_t)^{2,62036641292169}$	0,939	$\text{Radim} = 4,12568820036229.10^{-6}(R_t)^{2,62036641292169}$	0,939	$2,86646169320431.10^{-6}$	$5,93614249987216.10^{-6}$	2,52928211031006	2,71146203191151
		III	26100000	$\text{Radim} = 2,65550558623139.10^{-10}(R_t)^{4,65064356294678}$	0,928	$\text{Radim} = 5,75645256197128.10^{-10}(R_t)^{4,48908715809864}$	0,914	$1,98534007285353.10^{-10}$	$1,6685885026065.10^{-9}$	4,23539429027526	4,74254509507933
			26200000	$\text{Radim} = 2,0661631878019310^{-9}(R_t)^{4,21199571614646}$	0,939						

RHH: região hidrologicamente homogênea; RCR: Região da Curva de Regularização na bacia (mapa); Estação: Estação fluviométrica utilizada para gerar a curva de regularização; Radim é o volume adimensional do reservatório; R_t é o percentual da vazão média de longa duração regularizada (Equação 1); R²: coeficiente de determinação; a - IC - 2,5 e 97,5%: intervalo de confiança inferior e superior do coeficiente de ajuste "a" para a RCR; b - IC - 2,5 e 97,5%: intervalo de confiança inferior e superior do coeficiente de ajuste "b" para a RCR.

Equação regionalização da Q_{mld} (Teles Pires): $Q_{mld} = 0,570537.(Peq)^{0,945462}$

Equação regionalização da Q_{mld} (Rio das Mortes): $Q_{mld} = 0,040068.(A)^{0,909446} (P1-R3); Q_{mld} = 0,381725.(Peq)^{0,975071} (P2-R2/R3)$

Volume (hm³) = (R_{adim}). (Q_{mld}). (31,536)

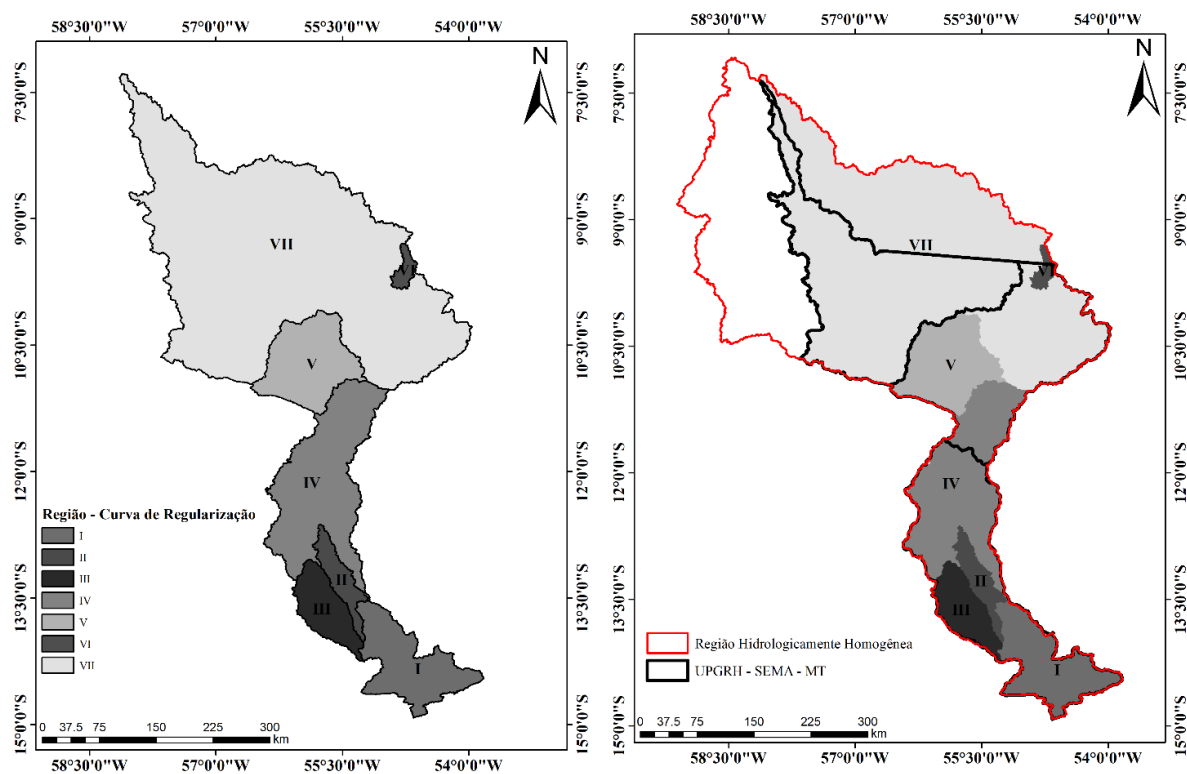


Figura 4.25 – Mapa de regiões da curva de regularização de vazões da bacia hidrográfica do rio Teles Pires - BHTP/PIATP-MT

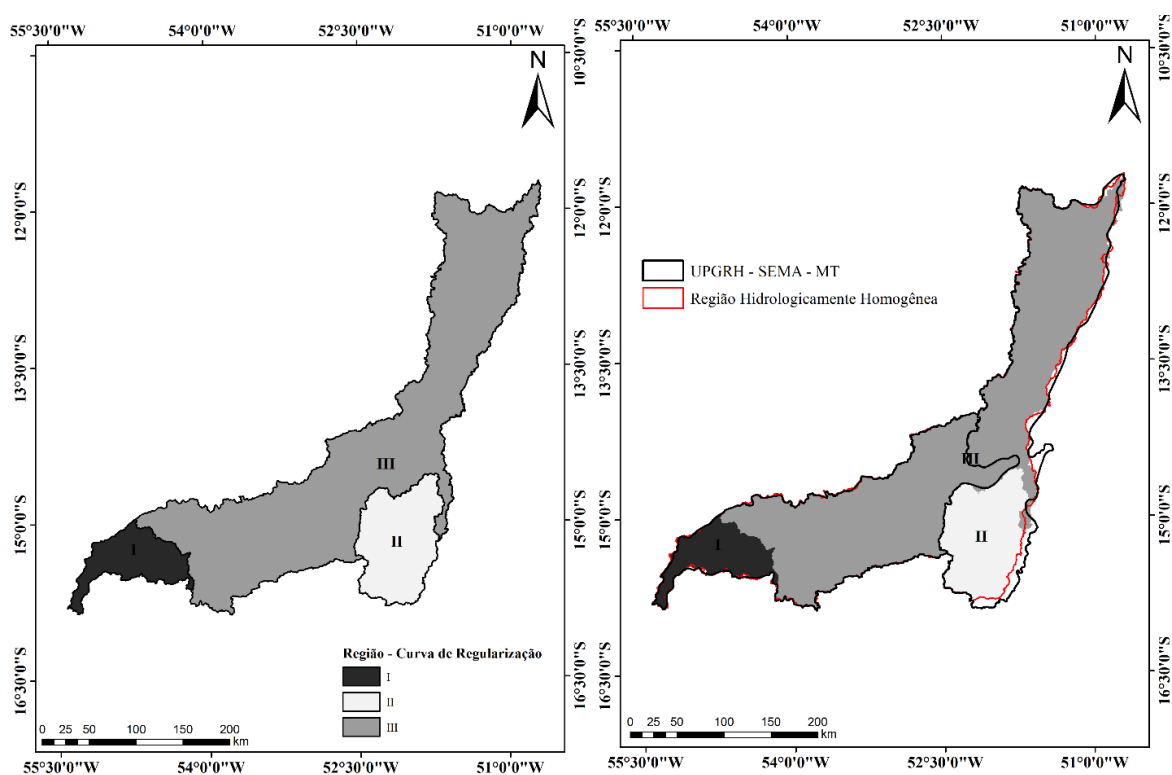


Figura 4.26 – Mapa de regiões da curva de regularização de vazões da bacia hidrográfica do rio das Mortes - BHRM/PICS-MT

Tabela 4.10 - Valor-p do teste de Chow entre a curva de regularização agrupadas (média) da região e as curvas individuais das estações fluviométricas da área

Bacia	RCR	Estação	Valor – p (Teste de Chow)
Teles Pires	IV	17280000	0,88354
		17300000	0,89296
	VII	17355000	0,40118
		17380000	0,53769
		17420000	0,05495
Rio das Mortes	III	26100000	0,42554
		26200000	0,31055

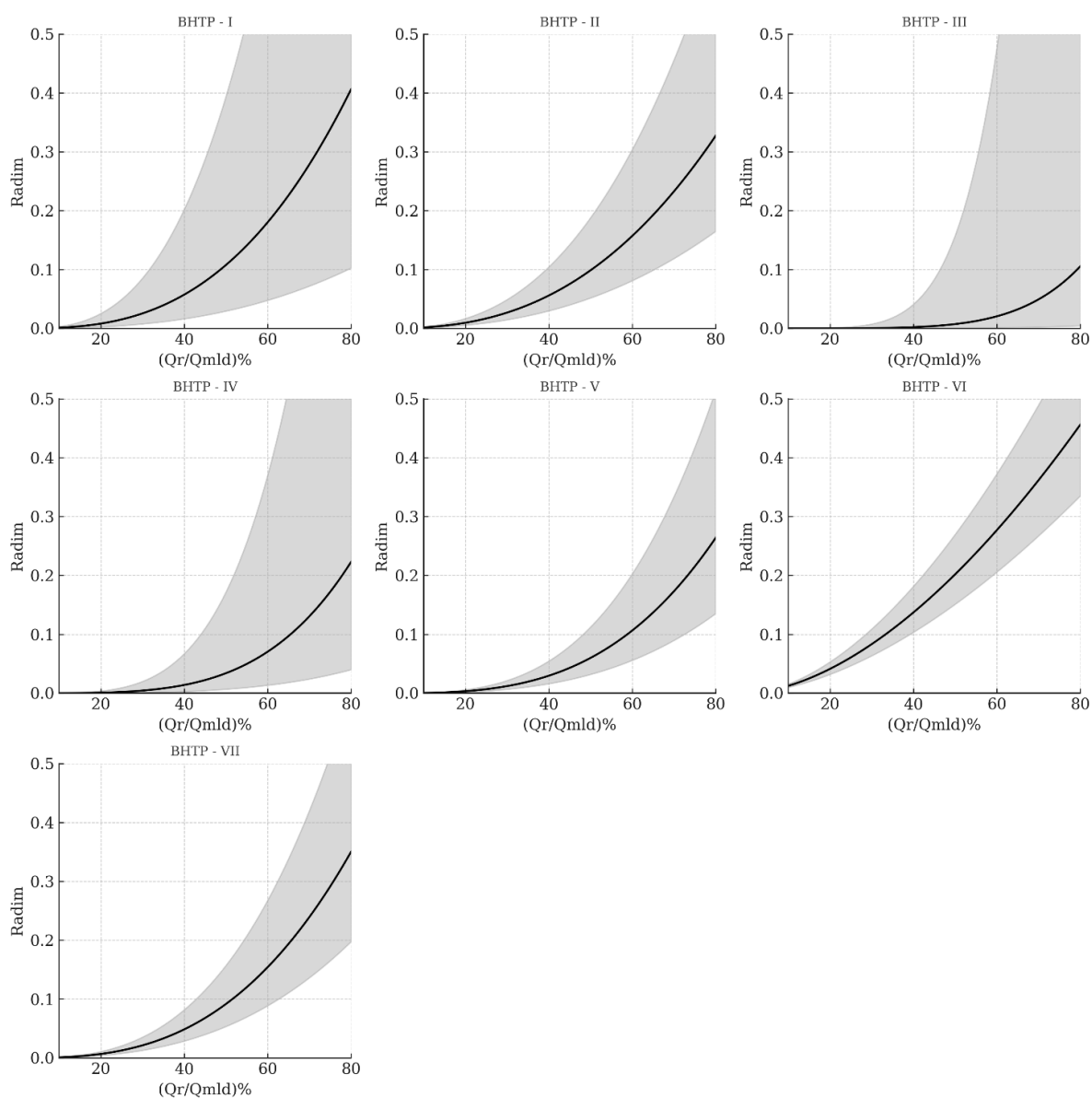


Figura 4.27 – Gráficos das curvas de regularização de vazões da bacia hidrográfica do rio Teles Pires.

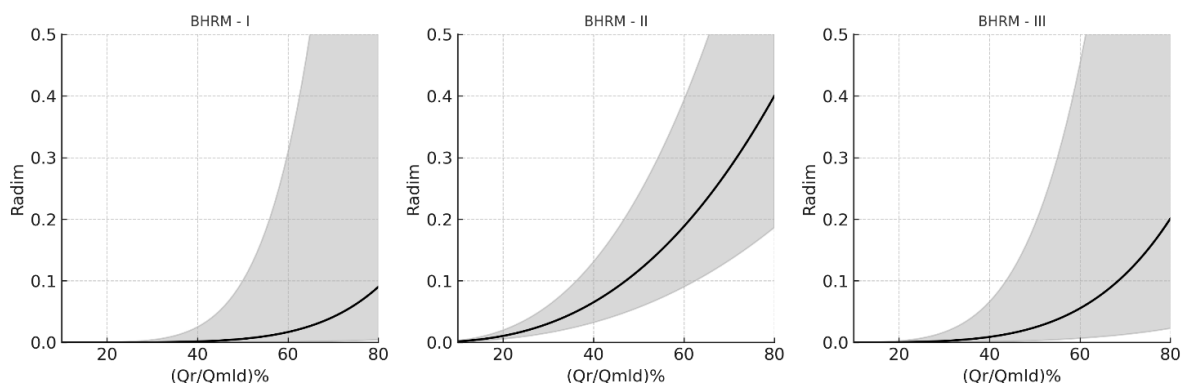


Figura 4.28 – Gráficos das curvas de regularização de vazões da bacia hidrográfica do rio das Mortes.

Na sequência é apresentado um exemplo de aplicação das equações de regularização descritas na Tabela 4.9, considerando uma determinada vazão de captação.

Exemplo de Aplicação: Estimativa do volume de um reservatório para garantir uma vazão a ser regularizada de 400 L s^{-1} . Segue dados do ponto do rio em que será construído o reservatório:

- Área da Bacia: 500 km^2
- Bacia localizada na região IV – Teles Pires (Mapa Figura 4.25)
- Vazão de demanda: $Q_d = 0,40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
- Vazão mínima Q_{95} : $2,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (obtida com a equação de regionalização)
- Vazão média de longa duração (Q_{mld}): $13,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (obtida com a equação de regionalização)
- Vazão residual: $70\%Q_{95} = 1,61 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
- Vazão a ser regularizada: $Q_r = Q_d + 70\%Q_{95} = 2,01 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (sem considerar perdas por evaporação)
- Modelo da curva regional adimensional da região IV – Teles Pires (Tabela 4.9):

$$Radim = 5,23960120671488 \cdot 10^{-9} (R_t)^{4,00865712795016}$$

1 – Cálculo do Percentual a ser regularizado (R_t):

$$R_t = \frac{Q_r}{Q_{mld}} \times 100 = \frac{2,01}{13,5} \times 100 = 14,9\%$$

2 – Cálculo do volume adimensional:

$$Radim = 5,23960120671488 \cdot 10^{-9} (R_t)^{4,00865712795016} = 5,23960120671488 \cdot 10^{-9} (14,9)^{4,00865712795016} = 2,64362427293126 \cdot 10^{-4}$$

3 – Cálculo do Volume em hm^3 :

$$\text{Volume (hm}^3\text{)} = (R_{\text{adim}}).(Q_{\text{mld}}).(31,536)$$

$$\text{Volume (hm}^3\text{)} = (2,64362427293126.10^{-4}).(13,5).(31,536) = 0,112549 \text{ hm}^3 = \mathbf{112.542,6 \text{ m}^3}$$

Desta forma o volume mínimo do reservatório para atender a demanda de 400 L s^{-1} é de $\mathbf{112.542,6 \text{ m}^3}$

4.4.4 Considerações Parciais

As equações apresentadas na Tabela 4.9 estão associadas às incertezas provenientes dos dados de vazões das estações fluviométricas, da extensão das séries históricas disponíveis, da variabilidade dos dados e do ajuste do modelo de regressão potencial. Dessa forma, recomenda-se que o hidrólogo considere tais incertezas no dimensionamento do volume dos reservatórios.

Ressalta-se que a regionalização das curvas de regularização (Tabela 4.9) possibilita uma primeira estimativa do potencial de regularização em locais sem dados fluviométricos, sendo uma informação essencial para estudos de planejamento hídrico e para a quantificação de projetos de pequena escala, como barramentos destinados ao atendimento de demandas de irrigação.

É importante destacar também as limitações das equações ajustadas neste estudo (Tabela 4.9), conforme apontado por Tucci (2002), a saber:

- i. A regionalização da curva de regularização considera a demanda constante ao longo do tempo.
- ii. As perdas por evaporação não foram incorporadas nos cálculos, devendo ser estimadas e incluídas pelo hidrólogo no momento do dimensionamento do reservatório.
- iii. As equações apresentadas devem ser aplicadas exclusivamente a bacias sem reservatórios com função de regularização a montante, para garantir a representatividade hidrológica das curvas.

Ressalta-se que devido a paralização das atividades do projeto no início de 2025 por falta de repasse de recurso, a quais somente foram retomadas em maio de 2025, as atividades listadas abaixo, referentes à Etapa 04.04 da Meta 04 do projeto, ainda estão em desenvolvimento.

- a) Obtenção das vazões outorgadas para os trechos de rios em sub-bacias da BHRM e da BHTP que integram os Pólos de Irrigação PICS e PIATP.

b) Identificação das regiões com potenciais conflitos pelo uso da água, a partir do balanço hídrico quantitativo para os trechos de rios em sub-bacias da BHRM e da BHTP que integram os Pólos de Irrigação PICS-MT e PIATP-MT.

c) Obtenção do coeficiente de regularização de vazão de rios em sub-bacias da BHRM e da BHTP que integram os Pólos de Irrigação PICS e PIATP.

ANEXO I

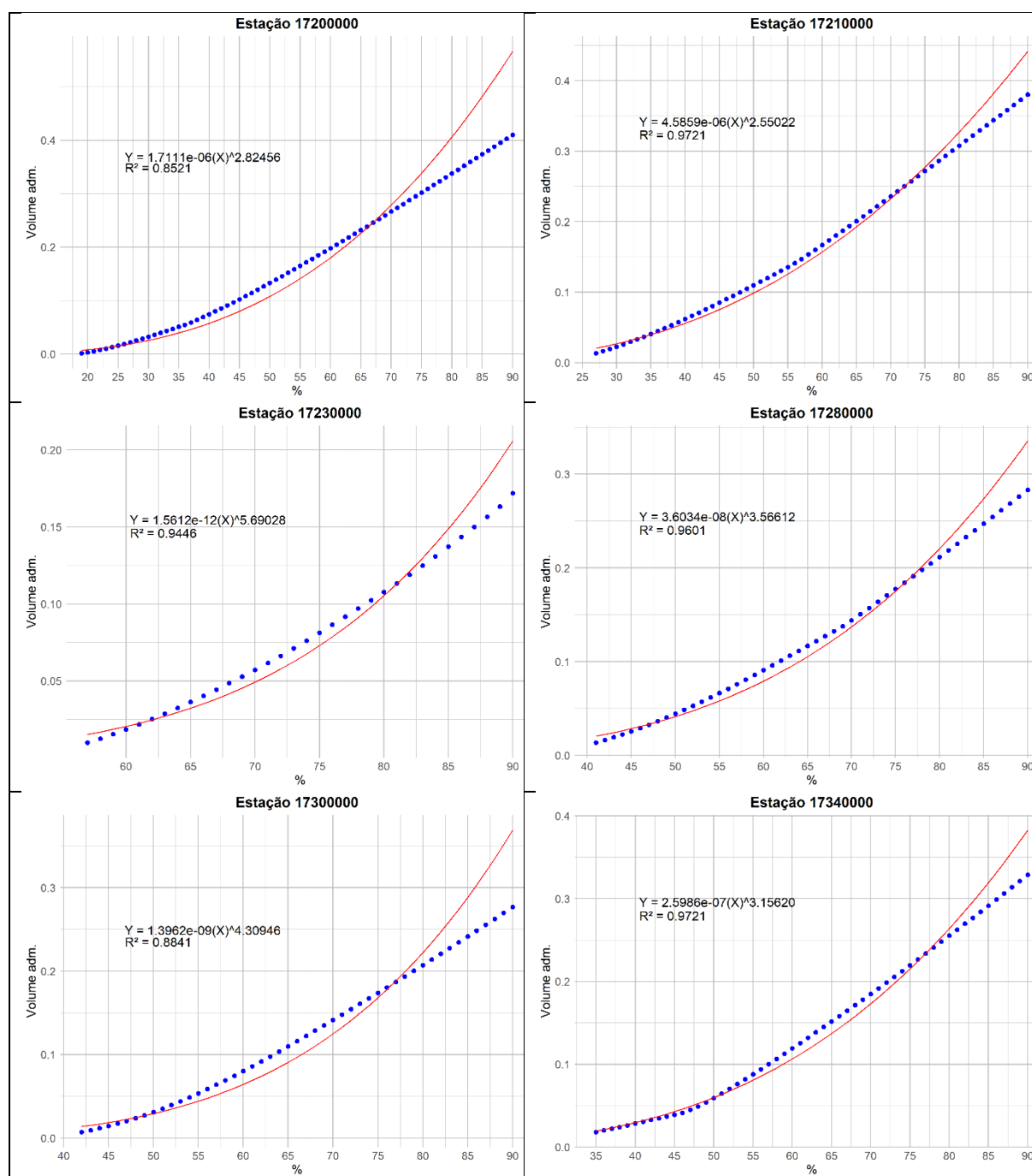


Figura A1 - Curvas de regularização das estações fluviométricas das regiões I, II, III, IV e V da bacia do Rio Teles Pires, em que x é $(Q_r/Q_{mld})\%$ e y é o volume adimensional.

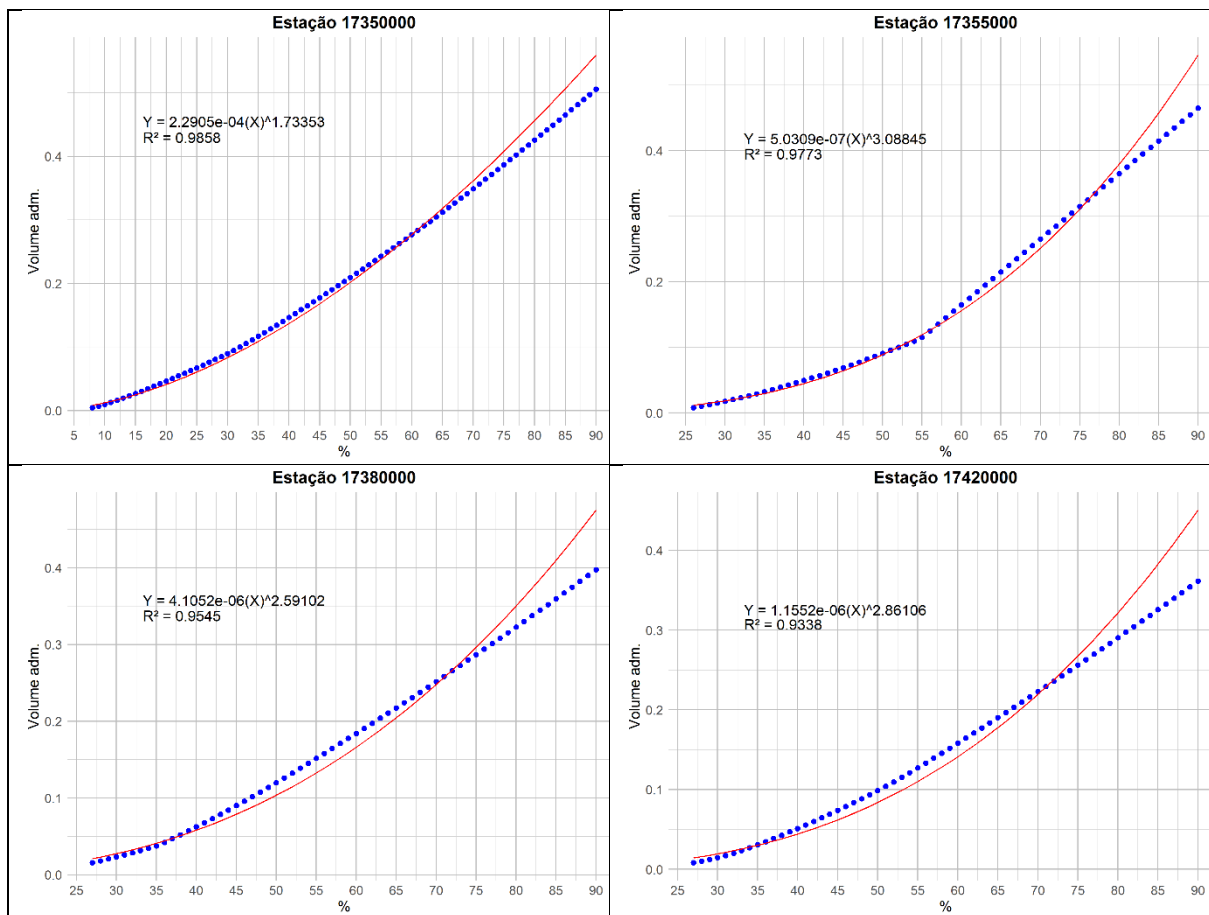


Figura A2 - Curvas de regularização das estações fluviométricas das regiões VI e VII da bacia do Rio Teles Pires, em que x é $(Q_r/Q_{mld})\%$ e y é o volume adimensional.

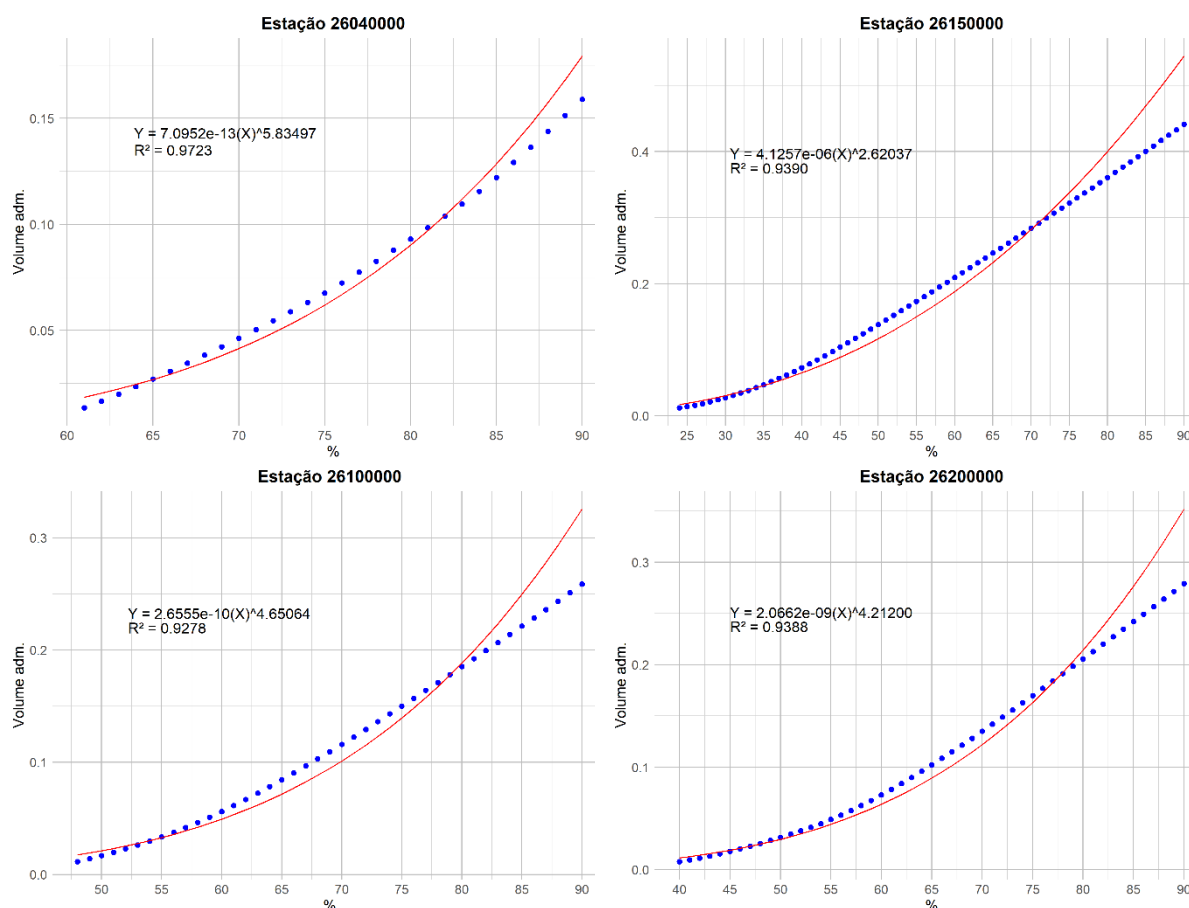


Figura A3 - Curvas de regularização das estações fluviométricas das regiões I, II e III da bacia do Rio da Mortes, em que x é $(Q_r/Q_{mld})\%$ e y é o volume adimensional.

4.5 DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RECARGA DE ÁGUA E PRÁTICAS DE MANEJO CONSERVACIONISTAS DO SOLO

4.5.1 Introdução

Esta etapa de definição das áreas prioritárias para recarga hídrica e adoção de práticas de manejo conservacionista do solo encontra-se atrasada no seu cronograma em função da paralização das atividades do projeto no início de 2025 devido o atraso no repasse de recurso. Sendo que as atividades somente foram retomadas em maio de 2025. Em função disso, no presente relatório parcial apresentaremos o procedimento metodológico que está sendo adotado para obtenção dos produtos previsto para a etapa 05 da Meta 04, que se refere a definição de áreas prioritárias a recarga em sub-bacias do Rio das Mortes (BHRM) e do Rio Teles Pires (BHTP) que integram os Polos de Irrigação PICS e PIATP do Mato Grosso.

4.5.2 Metodologia

4.5.2.1 Aquisição e pré-processamento de base de dados para obtenção das características edáficas, climáticas e topográficas das sub-bacias da BHRM e da BHTP que integram os Polos de Irrigação PICS-MT e PIATP-MT.

Para desenvolvimento desta etapa foram levantados todos os dados necessários para mapear a variabilidade espacial de recarga hídrica, bem como mapear as áreas prioritárias para adoção de práticas de manejo do solo conservacionista nas bacias dos Rio das Mortes (BHRM) e Teles Pires (BHTP). Foram utilizados dados geoespaciais provenientes de fontes secundárias oficiais com resolução compatível com análise em escala de sub-bacia. As variáveis/critérios consideradas foram divididas em hidroclimáticos, topográficos, edáficos e hidrogeológicos. O Quadro 1 exibe um resumo dos dados adquiridos nessa etapa, fonte, formato, resolução espacial nativa, período de análise, e observações relevantes.

4.5.2.2 Elaboração do mapa de declividade e de distância à hidrografia para as sub-bacias da BHRM e da BHTP que integram os Polos de Irrigação PICS-MT e PIATP-MT.

A obtenção do mapa de declividade foi realizada a partir do Modelo Digital de Elevação NASADEM, cuja resolução espacial nativa é de 1 arc second (~30 metros). Para fins de compatibilidade com a escala das sub-bacias e os demais produtos utilizados na análise multicritério, foi aplicada uma degradação da resolução espacial para 2 arc seconds (~60 metros). Essa reamostragem foi conduzida com a ferramenta GDAL, utilizando o método de interpolação cúbica (*resampleAlg = 'cubic'*), que suaviza os valores do relevo com base em um polinômio de terceiro grau, minimizando ruídos.

Quadro 1. Resumo dos dados geoespaciais adquiridos para a definição de áreas prioritárias para recarga.

Dado usado	Fonte/Origem	Resolução espacial nativa / Escala compatível	Período de análise dos dados	Formato	Observações
Modelo Digital de Elevação	NASADEM (NASA JPL, 2020)	1 arc sec (aproximadamente 30 m na linha do Equador)	-	GeoTIFF	Produto global de reproprocessamento de dados do SRTM
Classes de solo do Brasil (até 4º nível categórico do SiBCS)	Tema Pedologia do MRN do IBGE (IBGE, 2018)	1:250.000	-	Vetorial: polígonos	Mapeamento ao milionésimo reclassificado com dados recentes para escala compatível 1:250.000
Hidrografia	Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas (ANA, 2015)	Multiescalas, predominante na área de estudo: 1:1.000.000	2017	Vetorial: base hidrográfica unifilar, conectada e orientada	Abrangência do produto: América do Sul
Hidrogeologia	Cartografia Hidrogeológica do Serviço Geológico do Brasil (Diniz et al., 2014)	1:2.500.000	-	Vetorial: polígonos	Domínios e subdomínios hidrogeológicos do Brasil

[Continua]

[Quadro 1 - continuação]

Evapotranspiração total	Produto: MODIS/Terra Net Evapotranspiration Gap-Filled 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V06 (Running et al., 2021)	500 m	2000 a 2023	Raster contínuo	Dados agregados anualmente
Precipitação	Produto de precipitação diária do CHIRPS	5566 m	1990 a 2023	Raster contínuo	Dados agregados anualmente

SRTM: *Shuttle Radar Topography Mission*; SiBCS: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos; MNR: Mapeamento de Recursos Naturais do IBGE;

Com o modelo reamostrado, aplicaram-se algoritmos de derivação de declividade. As operações necessárias foram executadas por meio do pacote WhiteboxTools. O produto final em formato raster gerado na extensão dos *tiles* do mosaico do NASADEM, expressando a inclinação em porcentagem, foi recortado para os limites da BHRM e BHTP.

Além da declividade, a análise morfométrica do relevo das sub-bacias da BHRM e BHTP incluiu o cálculo das curvaturas vertical (ou de perfil) e horizontal (ou plana), derivadas diretamente do modelo de elevação reamostrado. Esses atributos geomorfométricos foram utilizados para interpretar padrões de fluxo superficial e potencial de infiltração.

A curvatura vertical do terreno (também chamada de curvatura de perfil) descreve a variação da inclinação ao longo da linha de máxima declividade. Em termos práticos, ela indica se uma célula do terreno tende a acelerar ou desacelerar o fluxo da água: valores negativos correspondem a superfícies convexas (como espigões), enquanto valores positivos indicam concavidades longitudinais (como canais de drenagem incipientes). Assim, áreas com curvatura de perfil côncava favorecem a concentração e infiltração de água, sendo especialmente relevantes na definição de zonas de recarga. A curvatura horizontal (ou curvatura plana) mede a variação do relevo na direção perpendicular à declividade máxima, ou seja, no sentido lateral ao fluxo. Ela indica o grau de convergência ou divergência do escoamento superficial. Valores negativos apontam para convergência do fluxo (como em sulcos ou vales), enquanto valores positivos indicam dispersão (como em espaldões e morros). Essas variáveis estão relacionadas à intensidade da movimentação de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, causados pela gravidade.

Nesta etapa, os terços do relevo em sub-bacias também foi calculado. No nível 7 de Ottocodificação de bacias, as bacias hidrográficas foram delimitadas no MDE. Sendo os terços de relevo nas sub-bacias foram delimitados após o cálculo das elevações máxima e mínima.

A distância dos pontos do terreno até a rede hidrográfica foi calculada por meio de dois métodos complementares: distância euclidiana e distância ao longo do gradiente topográfico (*downhill distance*). Para isso, a rede de drenagem extraída da Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas (ANA, 2015) foi rasterizada sobre o grid do MDE reamostrado. Em seguida, foram aplicados algoritmos de distância raster com base

em conectividade topográfica e função de vizinhança, utilizando-se o operador `DownslopeDistanceToStream` (whitebox) para simular o caminho de escoamento superficial em direção aos cursos d'água. Adicionalmente, foi gerado o mapa de distância euclidiana até a hidrografia, considerando a métrica linear em ambiente raster. Ambos os mapas foram recortados conforme os limites das sub-bacias de estudo e reclassificados segundo faixas de interesse definidas a priori. A camada de distância euclidiana foi integrada à análise multicritério para identificação das zonas prioritárias para recarga, assumindo que áreas mais próximas da rede de drenagem possuem maior conectividade hídrica superficial e potencial de infiltração lateral.

4.5.2.3 Elaboração do mapa de balanço hídrico climatológico nas sub-bacias da BHRM e da BHTP que integram os Polos de Irrigação PICS-MT e PIATP-MT.

Foi utilizado o método do balanço hídrico climatológico simplificado, obtidos pela diferença entre a entrada de água nas bacias, por meio da precipitação e a saída de água das bacias por meio da evapotranspiração. Para elaboração do mapa do balanço hídrico climatológico simplificado foram utilizados dois produtos de sensoriamento remoto (Quadro 1) para as estimativas da precipitação (CHIRPS) e evapotranspiração (MODIS).

Nas figuras

4.5.2.4 Integração dos dados por meio de análise de multicritérios para elaboração do mapa de variabilidade espacial do potencial de recarga nas sub-bacias da BHRM e da BHTP que integram os Polos de Irrigação PICS-MT e PIATP-MT.

Os dados geomorfométricos e o balanço hídrico anual foram incorporados à Análise Hierárquica Multicritério para mapeamento da variabilidade espacial do potencial de recarga. Além desses dados geoespaciais, foram incorporados à modelagem os mapas de solos, de hidrogeologia e do potencial de recarga de províncias hidrogeológicas, elaborado pela CPRM.

O mapa de solos foi reclassificado de acordo com o potencial de infiltração da classe, baseando-se em três propriedades do solo: teor de areia, profundidade e porosidade

estimadas. Isso foi realizado a partir de análise de dados de levantamento pedológico do Estado de Mato Grosso, contendo levantamento e descrição de 581 perfis.

A classe de solo foi atualizada para a última versão do SiBCS (adotada no mapa de solos do IBGE). Por análise de boxplot e teste estatístico de variância, as classes de solo foram ordenadas pelo seu potencial de infiltração baseado em cada uma das propriedades supracitas. A profundidade do solo foi estimada a partir da maior profundidade observada no perfil, tendo os Latossolos e Nitossolos como maior potencial. A porosidade foi estimada por razão entre densidade real e aparente, tendo os Argissolos, Neossolos Flúvicos, Latossolos e Nitossolos como maior potencial de recarga. Quanto ao teor de areia, os Neossolos Quartzarênicos apresentaram maior potencial de recarga. O ordenamento das classes de solo em função de cada uma das propriedades utilizadas para auxiliar a definição do potencial de infiltração está apresentado na Figura 4.29.

A AHP foi realizada através de comparações individuais entre as variáveis: fases do relevo (declividade), terços do relevo, distância Euclidiana à hidrografia, curvatura vertical, curvatura horizontal, balanço hídrico, potencial hidrogeológico, porosidade do solo, teor de área e profundidade do solo. Comparações individuais foram estabelecidas, e em seguida os mapas foram normalizados para valores de 0 a 256, antes da aplicação dos pesos globais de acordo com comparações entre as variáveis/critérios. A Tabela 4.10 exibe as comparações entre as variáveis/critérios mencionadas e os seus respectivos pesos finais que serão utilizados no mapeamento do potencial de recargas hídricas das áreas.

Com a integração das camadas de todas as variáveis/critérios com os pesos apresentados na Tabela 4.10, será possível gerar o mapa de variabilidade espacial do potencial de recarga nas sub-bacias da BHRM e da BHTP.

Ressalta-se que o mapa de variabilidade espacial de potencial de recarga será validado preliminarmente com base nos dados de poços do SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico Brasileiro) e, posteriormente com visita a campo, conforme previsto no cronograma de desenvolvimento da Meta 4 do referido projeto.

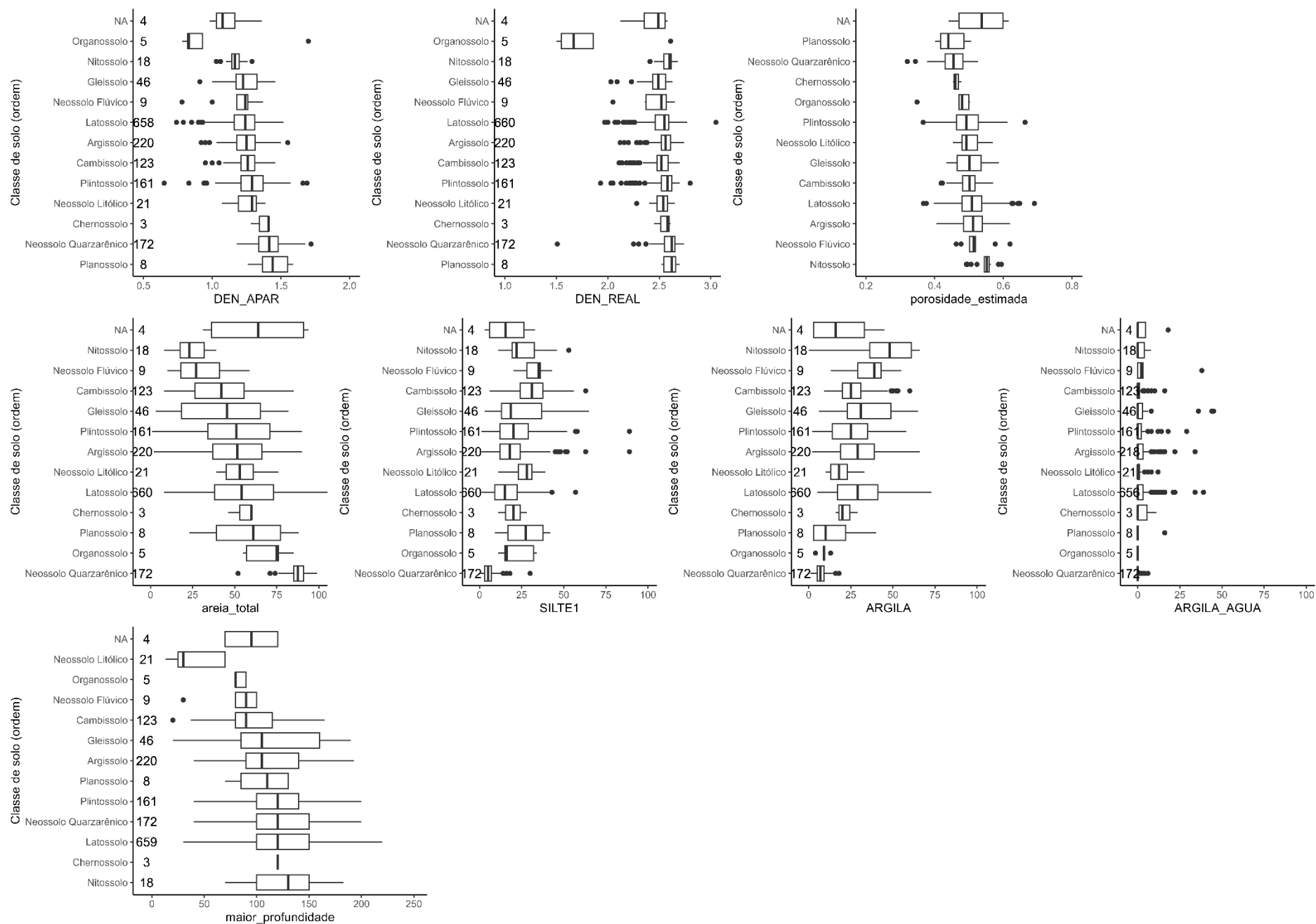


Figura 4.29 – Tipos de solo em função da porosidade estimada, teor de areia, e maior profundidade levantada.

Tabela 4.10 - Comparações múltiplas entre variáveis edáficas, topográficas, hidroclimática, de solos e hidrogeologia, bem como seu respectivo peso no mapa final.

	Hidrogeologia	Balanço hídrico anual	Porosidade do solo	Teor de areia médio	Profundidade do solo	Curvatura horizontal	Curvatura vertical	Distância à hidrografia	Fases do relevo	Terços de relevo	
Hidrogeologia	1	1/4	1	1	1/2	1	1	2	1/3	1/3	
Balanço hídrico anual	4	1	2	2	3	2	3	3	2	3	
Porosidade do solo	1	1/2	1	2	1	1	1	2	1	1	
Teor de areia médio	1	1/2	1/2	1	1/2	1	1	2	1	1/2	
Profundidade do solo	2	1/3	1	2	1	1/2	1/2	2	1/2	1/2	
Curvatura horizontal	1	1/2	1	1	2	1	1/2	3	1	1	
Curvatura vertical	1	1/3	1	1	2	2	1	3	1	1/2	
Distância à hidrografia	1/2	1/3	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1	1/3	1/3	
Fases do relevo	3	1/2	1	1	2	1	1	3	1	1	
Terços de relevo	3	1/3	1	2	2	1	2	3	1	1	
Soma:	17 1/2	4 4/7	10	13 1/2	14 1/2	10 5/6	11 1/3	24	9 1/6	9 1/6	
											Peso médio:
Hidrogeologia	0,06	0,05	0,10	0,07	0,03	0,09	0,09	0,08	0,04	0,04	0,07
Balanço hídrico anual	0,23	0,22	0,20	0,15	0,21	0,18	0,26	0,13	0,22	0,33	0,21
Porosidade do solo	0,06	0,11	0,10	0,15	0,07	0,09	0,09	0,08	0,11	0,11	0,10
Teor de areia médio	0,06	0,11	0,05	0,07	0,03	0,09	0,09	0,08	0,11	0,05	0,08
Profundidade do solo	0,11	0,07	0,10	0,15	0,07	0,05	0,04	0,08	0,05	0,05	0,07
Curvatura horizontal	0,06	0,11	0,10	0,07	0,14	0,09	0,04	0,13	0,11	0,11	0,10
Curvatura vertical	0,06	0,07	0,10	0,07	0,14	0,18	0,09	0,13	0,11	0,05	0,09
Distância à hidrografia	0,03	0,07	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
Fases do relevo	0,17	0,11	0,10	0,07	0,14	0,09	0,09	0,13	0,11	0,11	0,11
Terços de relevo	0,17	0,07	0,10	0,15	0,14	0,09	0,18	0,13	0,11	0,11	0,12
Soma:	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99

5 META 5 - ESTUDO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA

5.1 COLETA DE DADOS PRIMÁRIOS

5.1.1 Introdução

No período desde o início das atividades do projeto até maio de 2024 realizou-se o levantamento dos dados geológicos e hidrogeológicos disponíveis em bases de dados públicos e iniciou-se o levantamento da bibliografia pertinente. Consultou-se o cadastro de poços da Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas - RIMAS (MOURÃO, 2009) e o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS (CPRM-SGB, 2004), ambos do Serviço Geológico do Brasil (CPRM-SGB), com o objetivo de realizar um inventário preliminar de pontos de captação de água subterrânea existentes na região do estudo. Embora essas bases não sejam totalmente abrangentes, podendo haver outros dados em bases estaduais ou de outras naturezas, não obstante fornecem um bom panorama dos pontos de água subterrânea na região.

Estava prevista uma visita técnica para coleta de dados em campo em fevereiro de 2024, mas a mesma foi cancelada e só foi efetivamente realizada em junho de 2024. Os dados coletados foram utilizados na elaboração da Meta 5.2 e serão utilizados em todas as demais.

Os dados do SIAGAS estão sendo consultados na ausência de disponibilidade dos serviços do CNARH já que, devido ao recente ataque cibernético sofrido e ainda não solucionado até a presente data, este se encontra inoperante. O serviço vem sendo consultado periodicamente e a base de dados será atualizada assim que o acesso aos dados for reestabelecido.

Para aquisição dos dados do SIAGAS utilizou-se um *script* utilizando a linguagem Python e as bibliotecas *pandas*, *beautifulsoup* e *requests* para extração dos dados de forma automatizada. O script, elaborado pela equipe, faz-se útil devido às limitações para obtenção dos dados da plataforma SIAGAS, dentre elas a impossibilidade de seleção simultânea de municípios específicos e o limite do número de poços a serem baixados em uma única planilha. Além disso, a planilha gerada pelo *download* direto da plataforma vem incompleta e não contempla todos os dados disponíveis, como os perfis litológicos e/ou construtivos dos poços, e suas informações litológicas.

O *script* desenvolvido permite a seleção de cidades específicas, não apresenta limite no número de poços e organiza todos os dados disponíveis, inclusive os litológicos e as imagens dos perfis disponíveis, em uma planilha de Excel.

Os dados da RIMAS foram acessados por pesquisa simples no site da rede, no qual realizou-se uma busca por poços instalados no estado do Mato Grosso (MT) e posteriormente filtrou-se o resultado para a área de estudo. Ao todo, existem apenas três poços da RIMAS instalados na região do estudo, localizados nos municípios de Primavera do Leste, Lucas do Rio Verde e Sinop, cujas informações foram inseridas em planilhas em Excel.

As planilhas resultantes das buscas em bases de dados públicas foram importadas para o banco de dados em construção com uso do *software* ArcGIS®, da ESRI. Os dados foram armazenados como um *shape* de pontos, e integrados com as demais informações geográficas disponíveis para a área de trabalho.

O levantamento bibliográfico teve início com a consulta a relatórios do Serviço Geológico do Brasil – CPRM para levantamento de dados geológicos da região, bem como a dados públicos disponíveis em outras fontes oficiais como a Agência Nacional de Águas (ANA) e o Ministério do Meio Ambiente (MMA), para a caracterização dos domínios hidrogeológicos locais. Outros dados estão em fase de aquisição em artigos publicados em periódicos, outros trabalhos acadêmicos (teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso de graduação) e relatórios de órgãos de governo federal e estadual.

5.1.2 Resultados

Neste item apresentam-se os resultados parciais obtidos nesta etapa do desenvolvimento do projeto. **Inventário de Poços**

Na plataforma SIAGAS, foram levantados 451 poços nos municípios da Bacia do Rio das Mortes e 1.138 poços na Bacia dos Teles Pires, distribuídos conforme mostrado na Figura 5.1. Os dados disponíveis, de acordo com a sua localização nos municípios da área de estudo, estão sumarizados na Tabela 5.1, e a disponibilidade e estatísticas básicas das informações hidrodinâmicas levantadas estão apresentadas na Tabela 5.2.

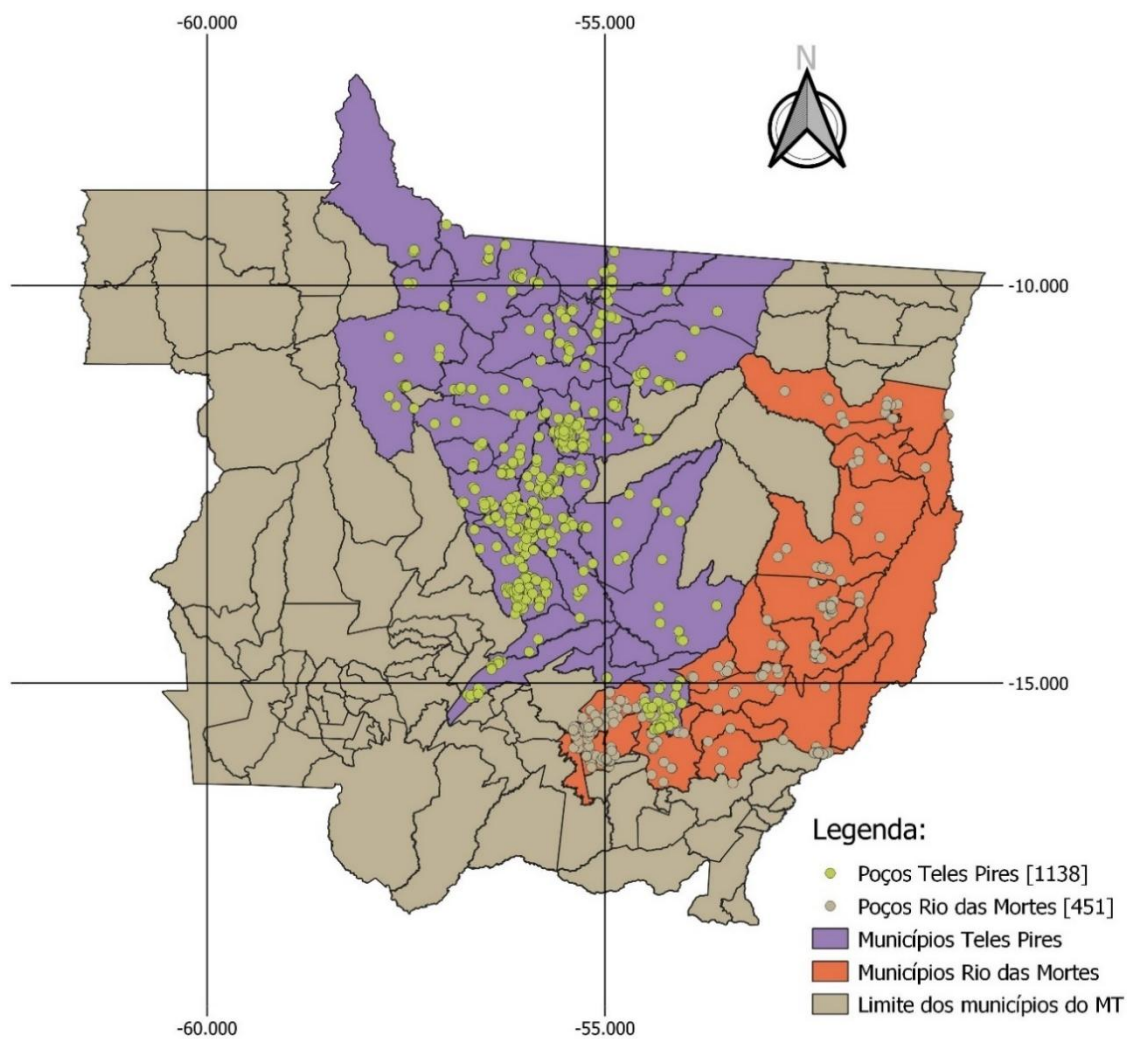


Figura 5.1 - Mapa de distribuição dos poços levantados (Em função da escala do mapa, há superposição de poços em locais de maior concentração).

Tabela 5.1 - Distribuição de poços levantados no SIAGAS na área de estudo por município.

Bacia do Rio das Mortes		Bacia do Rio Teles Pires			
Municípios	Contagem	Municípios	Contagem	Municípios	Contagem
Água Boa	33	Nova Ubiratã	16	Colider	13
Alto Boa Vista	3	Tabaporã	16	Itaúba	5
Barra Do Garças	39	Vera	26	Área Isolada de Vera	5
Bom Jesus Do Araguaia	4	Tapurah	32	Carlinda	4
Campinápolis	2	Sorriso	143	Alta Floresta	31
Campo Verde	83	Porto dos Gaúchos	5	Guarantã do Norte	15
Canarana	14	Sinop	198	Novo Mundo	1
Dom Aquino	8	Paranatinga	10	Paranaíta	6
General Carneiro	6	Ipiranga do Norte	27	Marcelândia	52
Jaciara	47	Nova Mutum	132	Matupá	4
Nova Brasilândia	4	Santa Rita do Trivelato	10	Nova Monte Verde	6
Nova Nazaré	4	Primavera do Leste	120	Nova Canaã do Norte	7
Nova Xavantina	11	Cláudia	38	Nova Guarita	3
Novo Santo Antonio	2	Lucas do Rio Verde	123	Nobres	7
Novo São Joaquim	12	Santa Carmem	11	Nova Brasilândia	4
Poxoréo	23	Terra Nova do Norte	11	Itanhangá	7
Primavera Do Leste	120	Planalto da Serra	0	Peixoto de Azevedo	1
Ribeirão Cascalheira	7	Nova Santa Helena	2	Rosário Oeste	11
Santo Antonio Do Leste	9	Apiacás	10		
São Felix Do Araguaia	15	Juara	25		
Tesouro	5	Área Isolada de Sorriso	0		

Tabela 5.2 - Distribuição dos principais dados de poços levantados no SIAGAS na área de estudo.

Bacia Hidrográfica do Rio das Mortes							
	NE (m)	ND (m)	Vazão Espec. (m³/h/m)	Coefic. Armazenamento	Permeabilidade (m/s)	Transmissividade (m²/d)	Vazão Estab (m³/h)
Contagem	390	385	384	8	0	5	388
Mínimo	0,0	4,0	0,0	0,0	-	3,4	0,4
Média	22,9	45,5	1,5	0,1	-	154,6	10,0
Máxima	164,3	199,0	77,6	0,7	-	570,0	160,0
Desv. Pad.	23,8	34,8	4,9	0,2	-	236,2	15,5
Bacia Hidrográfica do Teles Pires							
	NE (m)	ND (m)	Vazão Espec. (m³/h/m)	Coefic. Armazenamento	Permeabilidade (m/s)	Transmissividade (m²/d)	Vazão Estab (m³/h)
Contagem	953	960	954	37	1	10	954
Mínimo	0,2	3,1	0,0	0,0	0,7	1,1	0,4
Média	13,5	25,6	2,1	0,2	0,7	28,0	11,4
Máxima	74,0	120,0	400,0	2,8	0,7	86,4	144,0
Desv. Pad.	9,1	16,3	13,4	0,5	-	32,6	18,2

* ND – Nível Dinâmico e NE – Nível Estático

Na Rede RIMAS, que conta com 26 poços no estado, mas vários fora do limite da área considerada nesta fase, apresenta-se, como exemplo, três poços de monitoramento (Figura 5.2). O poço, de código 5200007036, está localizado no município de Primavera do Leste foi instalado em junho de 2012, tem 60 metros de profundidade, e está instalado em sedimentos do Grupo Bauru sobreposto por coberturas detrito-lateríticas (Figura 5.3).

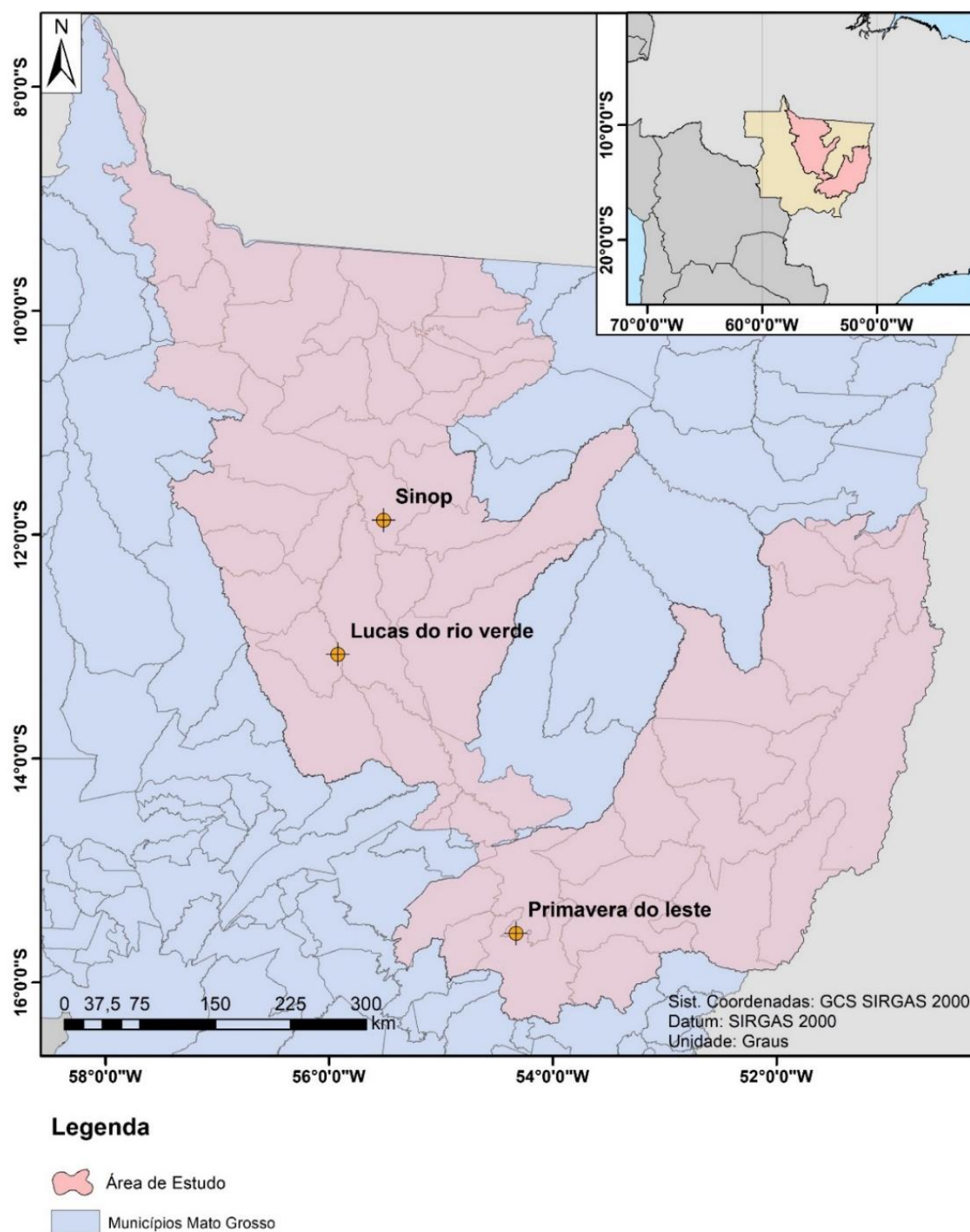


Figura 5.2 - Localização dos Poços RIMAS na área e estudo.



Figura 5.3 - Poço de monitoramento (5200007036) da RIMAS/CPRM instalado em Primavera do Leste.

Durante o período entre 2012 e 2021, a cota do nível de água no poço 5200007036 variou entre o máximo de 649,5 m e o mínimo de 643 m, uma diferença de nível de 6,5 m no período (Figura 5.4), mostrando, portanto, uma tendência de decréscimo.

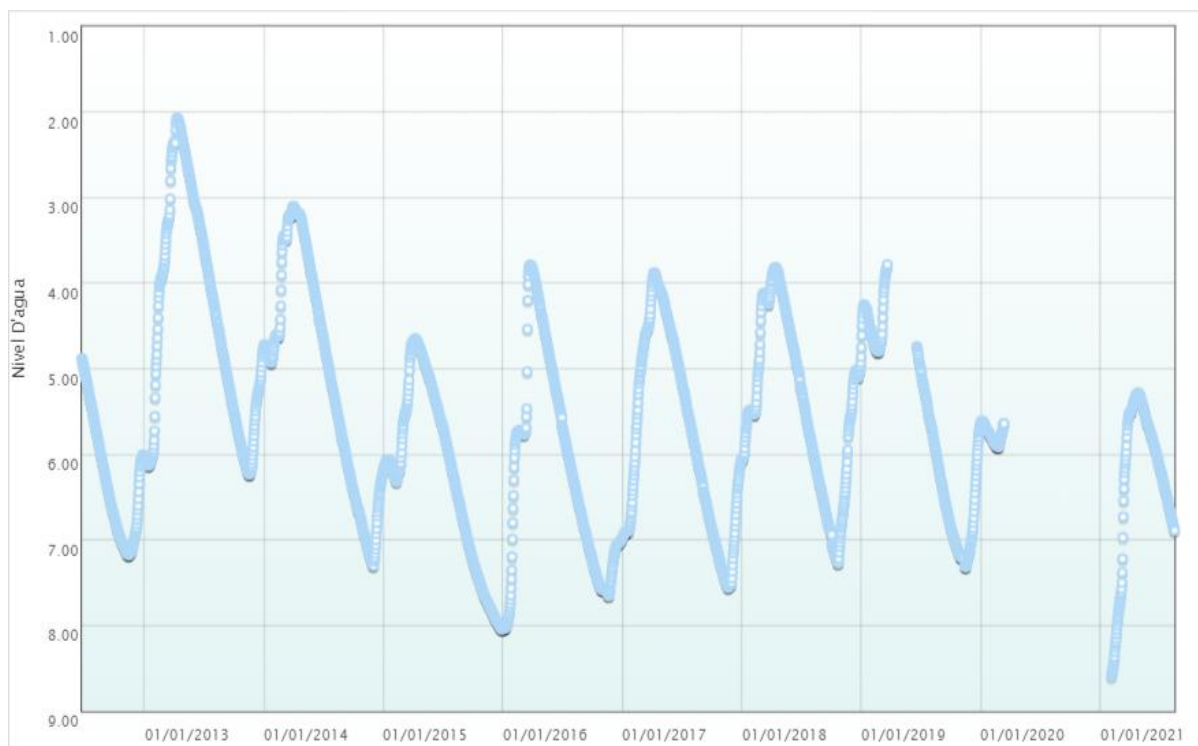


Figura 5.4 - Gráfico do monitoramento da variação da profundidade do NA no poço 5200007036 da RIMAS/CPRM em Primavera do Leste - MT.

O poço localizado no município de Lucas do Rio Verde, de código 5200006101 (Figura 5.5), foi instalado em agosto de 2010, tem 51 metros de profundidade, e está instalado em sedimentos do Grupo Parecis sobreposto por coberturas detrítico-lateríticas.

Durante o ano de 2011 e 2023 a cota do nível d'água do poço variou entre 382,24 e 378,55, uma variação de 3,69 metros (Figura 5.6).

O poço localizado no Município de Sinop, de código 5200006100 (Figura 5.7), foi instalado também em agosto de 2010, tem 50 metros de profundidade, e está instalado em sedimentos Formação Ronuro, também parte do Grupo Parecis.

Durante o ano de 2011 e 2023 a cota do poço variou entre 367,73 e 363,38, uma variação de 4,35 metros (Figura 5.8), podendo-se observar um rebaixamento até 2015 e, a partir daí, uma certa estabilidade.



Figura 5.5 - Poço de monitoramento (5200006101) da RIMAS/CPRM instalado em Lucas do Rio Verde.

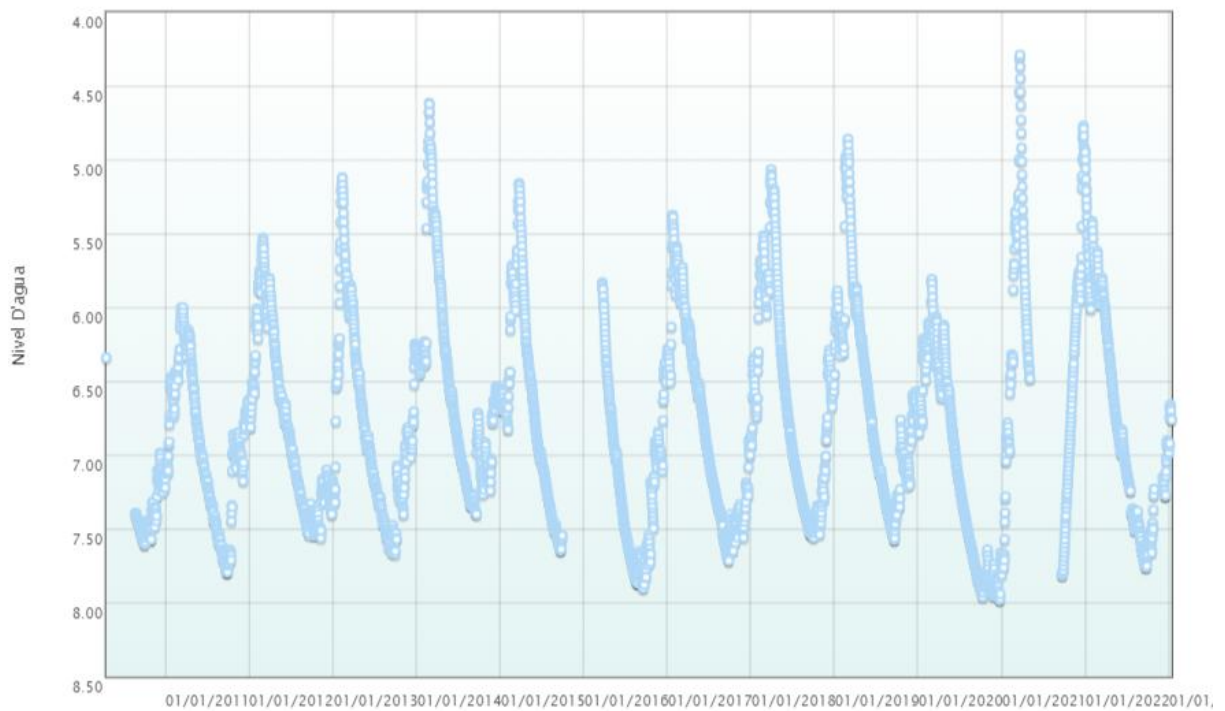


Figura 5.6 - Gráfico do monitoramento da variação da profundidade do NA no poço 5200006101 da RIMAS/CPRM em Lucas do Rio Verde.



Figura 5.7 - Poço de monitoramento (5200006100) da RIMAS/CPRM instalado em Sinop.

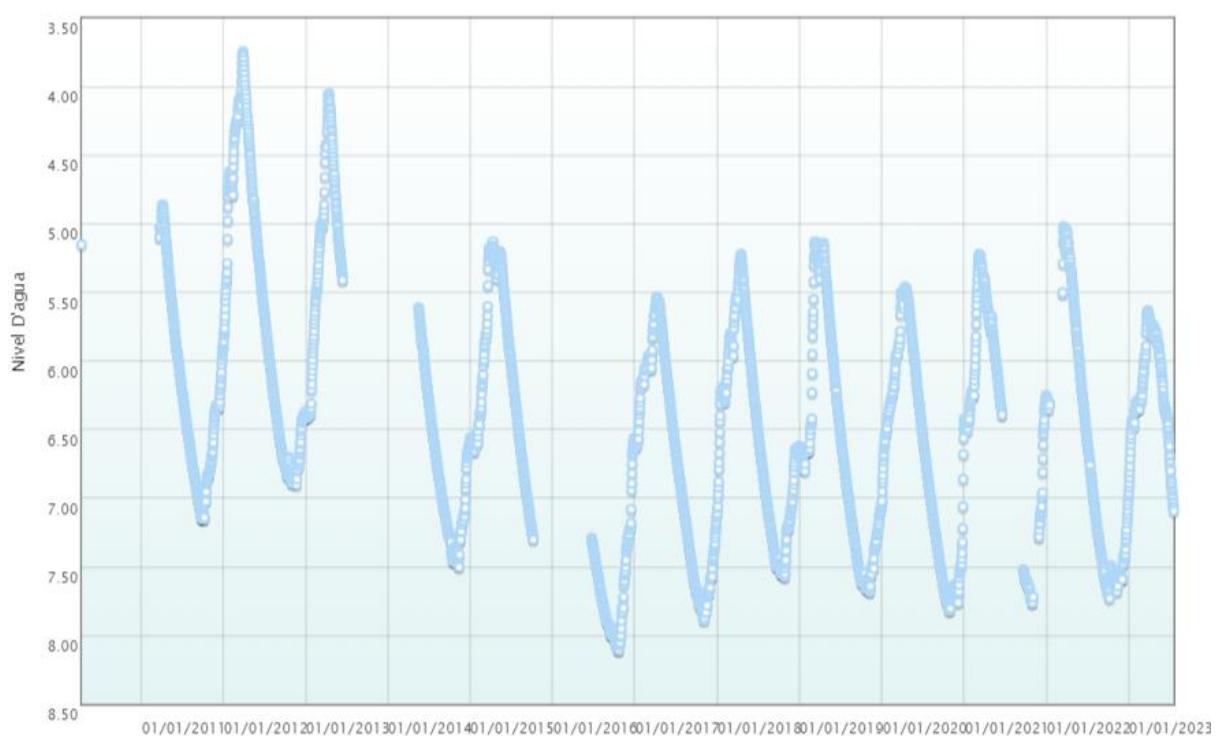


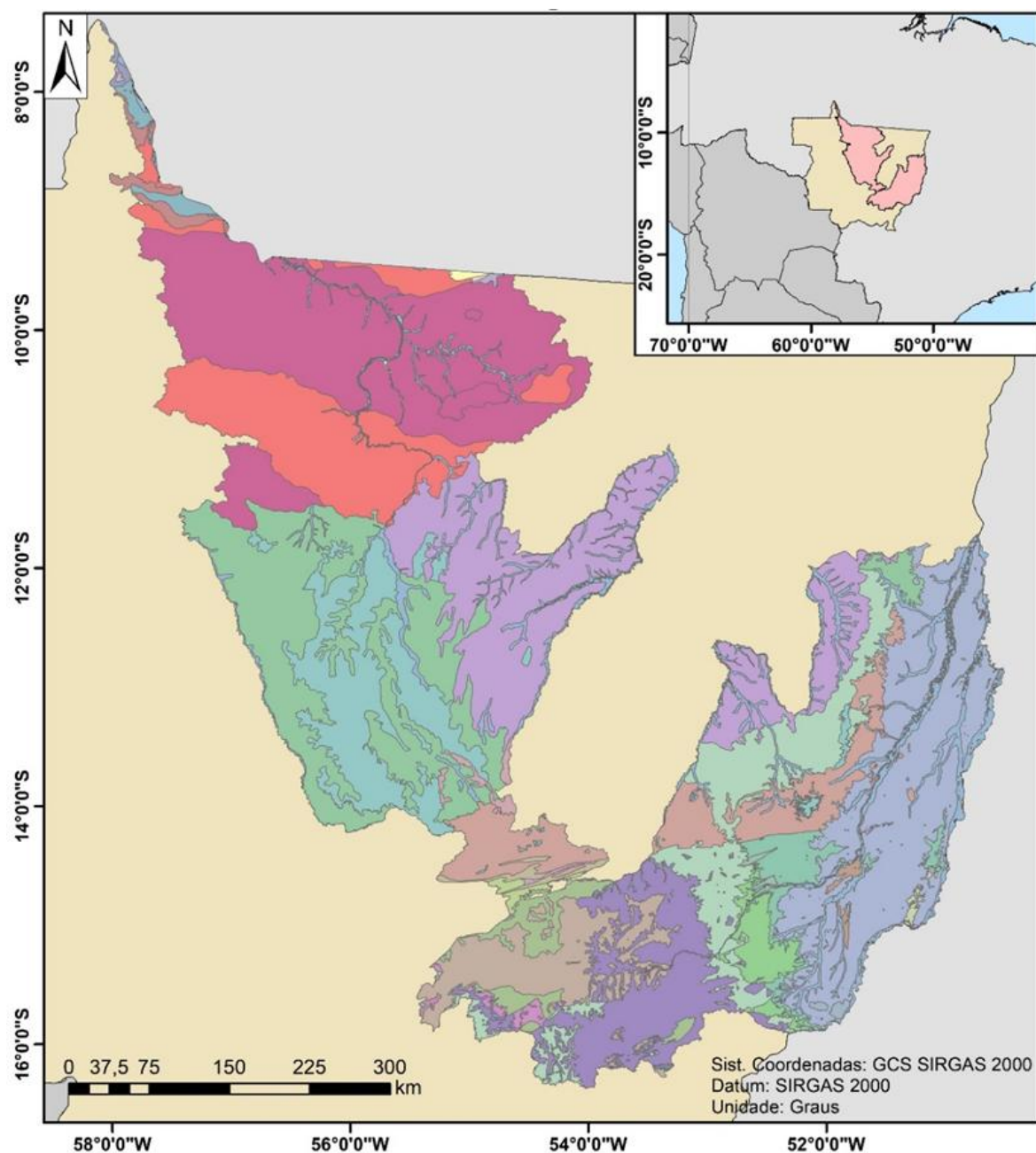
Figura 5.8 - Gráfico do monitoramento da variação do NA no poço (5200006100) da RIMAS/CPRM em Sinop.

De acordo com os dados do monitoramento, o pico da cheia nos três poços apresentados anteriormente ocorre usualmente no mês de abril e o fim da estiagem entre os meses de novembro e dezembro. Foi possível verificar uma queda progressiva nos picos de cheias dos poços dos municípios de Primavera do Leste e Sinop, mais expressiva no primeiro, enquanto os níveis do poço de Lucas do Rio Verde se mantiveram estáveis. Esses dados serão comparados futuramente na pesquisa com os dados do regime de chuva para o entendimento da causa deste efeito.

5.1.2.1 Levantamento de Dados Geológicos

A geologia da área de estudo é composta por rochas de idade Paleoproterozoica a Cenozoica. O mapa da Figura 5.9 traz uma representação simplificada da geologia.

As rochas meso e paleoproterozoicas são encontradas nas porções norte da área de estudo e são apresentadas com sua geologia simplificada, identificadas como rochas de bacia proterozoica indiferenciada (Bp) e embasamento fraturado indiferenciado (Fr). Na região destaca-se a ocorrência de rochas da Unidade Dardalenos, e suítes intrusivas de São Pedro e Juruena.



Legenda

Área de Estudo

Geologia					
C1ja	Dpg	K2b	NP3ars	NPcui	Fr
C2P1a	ENch	K2m	NP3di	NPnx	Pnv
CPii	J3K1bt	K2sn	NP3ra	NQdl	Q2a
CPsm	K1_beta_sg	K2ut	NP_gamma_3snn	O3S1rv	Qag1
D1f	K1_lambda_pg	N1r	NPcu5	P1p	Qag2
		NP1_gamma_1gn	NPcu7	Pij	Bp

Figura 5.9 - Mapa geológico da área de estudo (composto de CPRM, 2004 e CPRM, 2014). As unidades cujas siglas estão apresentadas na figura estão sumariamente descritas no texto a seguir.

A seguir são brevemente apresentadas as unidades geológicas do Neoproterozoico ao Cenozoico presentes na área de estudo (Figura 5.9), conforme descrição da CPRM-SGB (2004).

Q2a - Depósitos Aluvionares - Constituem depósitos caracterizados por sedimentos inconsolidados, predominantemente arenosos, representados por areias com níveis de cascalhos e lentes de material siltoargiloso. Ocorrem associados às calhas dos cursos d'água de maior porte, encaixados tanto no embasamento cristalino como nos depósitos terciários, compreendendo basicamente sedimentos aluviais. O padrão de sedimentação fluvial holocênico dessas drenagens em geral é caracterizado por depósitos de acreção lateral de margem de canal e de carga de fundo, que incluem barras em pontal, barras de meio de canal e depósitos de carga de fundo. Estes sedimentos distribuem-se também nas planícies de inundação dos rios onde ocorre o ambiente lacustre, representado por lagos residuais, formados pela migração das cristas de acreção lateral das barras, além de lagos represados. A idade provável desses depósitos é pleistocênica, obtida pelo conteúdo fossilífero encontrado nas aluviões e paleoterraços aluviais de alguns rios da região.

Qag1 – Fácies Terraços Aluvionares - Lacerda Filho et al. (1999) retomaram a denominação original e consideraram a Formação Araguaia, individualizando os terrenos mais antigos como coberturas arenosas indiferenciadas e subdividiram esta unidade em duas fácies: Fácies Terraços Aluvionares (Qag1) e Fácies Depósitos Aluvionares (Qag2). A primeira é constituída de sedimentos siltoargilosos e arenosos, semiconsolidados, tendo conglomerado basal parcialmente laterizado. Definida por Barbosa et al. (1966) no vale do Rio Araguaia, é formada por um conglomerado basal, siltes e areia siltosa, inconsolidados e mal selecionados de derivação continental. Pena et al. (1975) estenderam a área de ocorrência da Formação Araguaia até a região de Barra do Garças.

Qag2 - Fácies Depósitos Aluvionares - Definida por Barbosa et al. (1966) no vale do Rio Araguaia. É formada por um conglomerado basal, siltes e areia siltosa, inconsolidados e mal selecionados de derivação continental. Pena et al. (1975) estenderam a área de ocorrência da Formação Araguaia até a região de Barra do Garças. s. Lacerda Filho et al. (1999) retomaram a denominação original e consideraram a Formação Araguaia, individualizando os terrenos mais antigos como coberturas arenosas indiferenciadas e subdividiram esta unidade em duas fácies: Fácies Terraços Aluvionares (Qag1) e Fácies Depósitos Aluvionares (Qag2). A primeira é constituída de sedimentos siltoargilosos e arenosos, semiconsolidados, tendo conglomerado basal parcialmente laterizado.

NQdl - Coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas - Os sedimentos detrito-lateríticos ocorrem preferencialmente no vale do Guaporé, numa extensa área aplainada, com interflúvios tabulares e associados a pequenas elevações dominadas pelo horizonte concrecionário do perfil laterítico. As superfícies aplainadas são constituídas predominantemente por solos argiloarenosos de tonalidade avermelhada, ricos em concreções ferruginosas, além de níveis de argilas coloridas e areias inconsolidadas. Os lateritos imaturos, quando em perfis completos e preservados, modelam grande parte do relevo atual.

Apresentam a sua parte superior (horizonte colunar/concrecionário) aflorante, configurando a parte mais elevada do relevo. Em certas áreas, onde a parte superior está mais espessa e endurecida e houve maior entalhamento da drenagem, observa-se a formação de um relevo tendendo a platôs. Nas encostas aflora a parte mediana dos perfis (horizonte mosqueado), podendo estar parcialmente recoberta por colúvios/alúvios arenoargilosos. Esses depósitos colúvio/ aluviais, na sua base, são constituídos por seixos provenientes dos próprios lateritos concrecionários, formando corpos do tipo stonelayer e no topo por material argiloso proveniente do horizonte mosqueado. Este é encontrado nas partes mais baixas do relevo atual, podendo estar coberto por solos amarelos e areias brancas, além de colúvios e alúvios.

5.1.2.1.1 Bacia do Parecis

N1r – Formação Ronuro - Esta cobertura, de idade terciária-quaternária, aflora continuamente na porção leste da Bacia dos Parecis, no domínio da sub-bacia Alto Xingu, capeando discordantemente as formações paleozoicas. Consiste de sedimentos pouco consolidados, representados por areia, silte, argila e cascalho, além de lateritas (SCHOBENHAUS et al., 1981). Esta unidade foi depositada em uma depressão tipo sinéclise a partir da intensa erosão no Plioceno, que desmantelou a crosta laterítica formada no início do Terciário.

NP1ygn - Ortognaisses do Oeste de Goiás - Esses terrenos são constituídos por gnaisses granitoides neoproterozoicos (PIMENTEL e FUCK, 1992) anteriormente atribuídos ao Complexo Basal (ALMEIDA, 1968; IANHEZ, 1983; PENA et al., 1975). Estas rochas estão associadas a evolução do Arco Magmático de Goiás e distribuem-se por mais de 300 km, desde o sudoeste de Goiás (região de Arenópolis-Piranhas) até a região de Mara Rosa-Porangatu, separadas em dois segmentos pelos Terrenos Granito-greenstone Arqueanos e seguindo em direção NE, adentrando o Estado do Tocantins. No Estado de Mato

Grosso ocorrem de forma restrita na porção sudeste, capeados pelos sedimentos quaternários da Formação Araguaia. Na porção sudoeste de Goiás, estes gnaisses foram particularmente bem estudados nas proximidades de Bom Jardim de Goiás (SEER, 1985) Arenópolis-Piranhas (FARIA et al., 1975; PIMENTEL, 1985; PIMENTEL et al., 1985, 1991; PIMENTEL e FUCK, 1986, 1987) e Jaupaci-Iporá (AMARO, 1989; DANNI e CAMPOS, 1994; FRANCO et al., 1994; PIMENTEL, 1995). São rochas de coloração cinza, granulação média a grossa, composição tonalítica a granodiorítica, com encaves máficos deformados. Foram obtidos os seguintes dados geocronológicos e isotópicos: gnaisses Arenópolis (899 ± 7 Ma., U-Pb, Ri 0,7042, TDM 1,0-2,0, $\text{Nd}(t) + 1,9 \pm 3,2$); gnaisses Matrinxã (895 Ma., Rb-Sr, Ri 0,7026, TDM 0,9 $\text{Nd}(t) + 6$) e gnaisses Sancrerlândia (950 Ma., Rb-Sr, Ri 0,7025, TDM 0,9-1,0, $\text{Nd}(t) + 4,0 \pm 6,0$). Isotopicamente são muito primitivos, com baixas razões $\text{Sr}87/\text{Sr}86$, iniciais (Ca 0,703) e idade modelo de Nd, mais jovem que ca. 1,1 Ga. Datado pelo método U/Pb em zircão, o gnaiss tonalítico da região de Mara Rosa, forneceu idade 856 ± 13 Ma. (PIMENTEL et al., 1997).

ENch - Formação Cachoeirinha - A unidade foi identificada e caracterizada por Oliveira e Muhlmann (1965) a leste de São Vicente, Mato Grosso, sob a denominação de Unidade “C”. Gonçalves e Schneider (1970) elevaram a categoria da unidade, definindo-a como Formação Cachoeirinha, cuja seção tipo situa-se no Distrito de Cachoeirinha, cerca de 30 km a norte de Poxoréu, onde ocorrem arenitos amarelados, médio a grossos, argilosos e com níveis de conglomerados, além de argilito cinza-esverdeado com grãos de areia esparsos e estratificação incipiente.

Estes sedimentos inconsolidados depositaram-se discordantemente sobre todas as formações subjacentes. Braun (1971) admite uma idade terciária (Neógeno) pelo fato destes depósitos aluvionares estarem geneticamente associados ao ciclo Sul-Americano. Sua gênese estaria relacionada a processos gravitacionais, como fluxo de massa, retrabalhando antigos depósitos aluviais, haja vista conterem seixos arredondados imersos em matriz lamítica, não compatíveis com um único ciclo sedimentar. Além do mais, a corroborar com esta hipótese, ressalte-se que afloram nas proximidades de zonas de falhas de caráter normal e/ou direcional, que, inclusive os afetam. Pena e Figueiredo (1972) citam espessuras entre 20 e 30 m, podendo atingir até 70 m.

K2ut – Formação Utariti - Sob esta designação Barros et al., (1982) englobaram os arenitos quartzosos da seção de topo do grupo Parecis, tendo como seção-tipo a queda d’água Utariti, no rio Papagaio. As rochas desta unidade constituem as partes mais elevadas do Planalto dos Parecis, sobrepondo-se às rochas da Formação Salto das Nuvens em contato

gradacional e concordante. Apresentam cores variáveis, desde amarela, roxa a avermelhada, conformando bancos com bases irregulares, maciços ou localmente apresentando estratificação cruzada de pequeno porte ou plano-paralela. A granulometria varia de fina a média, podendo localmente ser grossa.

Nas camadas basais podem ocorrer seixos de quartzo arredondados e de boa esfericidade. A composição é essencialmente por grãos de quartzo e feldspato, os primeiros com superfície hialina, fosca, normalmente envolta por uma película ferruginosa. Possuem pouco cimento e matriz sendo facilmente desagregados. Localmente podem se apresentar com intensa silicificação devido à diagênese ou proximidade de falhas. Estruturas sedimentares como estratificação cruzada de pequeno porte e baixo ângulo, e formas acanaladas vinculadas a bancos maciços espessos de base irregular, indicando uma deposição rápida com regime hidrodinâmico superior ao de escoamento, associadas à presença de seixos esparsos em bancos maciços, mostra tratar-se de sedimentos originados em ambiente fluvial.

K2sn – Formação Salto das Nuvens - A designação de Formação Salto das Nuvens foi proposta por Barros et al., (1982) com seção-tipo na queda d'água homônima, localizada no rio Sepotuba, (Fazenda Santa Amália, município de Tangará da Serra). Está representada por conglomerados petromíticos de matriz argiloarenosa intercalados por lentes de arenitos vermelhos de granulometria variável desde muito fina a conglomerática. Sobreposto aos conglomerados ocorre geralmente arenito imaturo com estratificação cruzada de médio porte, contendo seixos e calhaus de diversos litotipos. Também é frequente a presença de camadas de arenito bimodal, maciço de espessura variável, com leitos de argila vermelha intercalados. No topo da sequência é comum arenito bimodal bem laminado e com estratificação cruzada de grande porte. Não menos comuns são as variações laterais dessa sequência sedimentar, onde se destacam vários níveis conglomeráticos oligomíticos, intercalados em arenitos ortoquartzíticos finos a muito finos, além de arenitos avermelhados com matriz argilosa, mal classificados e maciços, intercalados com lentes de siltitos, argilitos vermelhos e com bolas de argila na base dos bancos (BARROS et al., 1982). Na MT-358, próximo ao rio Russo II, em dois cortes da estrada, esta Unidade está constituída por conglomerado de grânulos, arenitos conglomeráticos, arenitos finos em camadas lenticulares, de coloração bege a castanho arroxeados, com estratificação cruzada tangencial de médio porte e cruzada festonada, e camada de pelito. Os clastos, nas frações grânulo a seixo, são da rocha vulcânica subjacente, composta por uma matriz afanítica com

fenocristais de feldspato. As camadas com estratificação cruzada apresentam nítido contato erosivo com as camadas arenosas subjacentes.

A presença de clastos de rocha vulcânica nos arenitos conduz a duas interpretações: estes clastos se originariam da Unidade Inferior ao Grupo Parecis na área (Basalto Tapirapuã – 167Ma.). Neste caso, a sedimentação seria mais nova, ou seja, pós Jurássico Médio, ou então provirem de vulcânicas alcalinas que ocorrem intercaladas na base do Grupo Parecis a nordeste, o que conduziria à confirmação de uma idade cretácea superior para estes depósitos. Estas observações sobre o contato coincidem com a interpretação de Barros et al., (1982). Silva et al., (2003) associaram a esta Unidade uma sequência sedimentar clastoquímica, constituída por argilitos calcíferos, margas, siltitos, arenitos e pontualmente conglomerados intraformacionais, que ocorre na escarpa da serra do Roncador e em vales a oeste e no roeste da serra de Tapirapé, região nordeste do Estado de Mato Grosso. Estes autores subdividiram-na em dois níveis com características faciológicas e litológicas distintas: um basal, compreendendo argilito de cor cinza, cinza-esverdeado e vermelho a róseo, maciço, as vezes com laminação horizontal ou *ripples*, variando composicionalmente a calcilutitos e margas, mostrando faixas centimétricas de pisólitos e venulações de material calcífero preenchendo fraturas.

O nível superior, aflorante preferencialmente na escarpa da Serra do Roncador e nas porções medianas e basais dos morros, está constituído por arenitos e siltitos, maciços a laminados, de coloração avermelhada, amarelada e amarronzada, consolidados a semiconsolidados raramente calcíferos com laminação cavalgante, estratificação cruzada acanalada de pequeno a médio porte, laminação plano-paralela e ciclos de gradação normal. Mostram ainda lentes e estratos centimétricas de conglomerados intraformacionais. No topo ocorrem arenitos finos, vermelho-róseos, feldspáticos, com estratificação cruzada acanalada de grande porte, por vezes obliterada pela alteração, além de níveis argilosos descontínuos com até 10 centímetros de espessura, entre os sets de estratificação. Na zona de transição entre os dois níveis predomina uma intercalação milimétrica de argilito e silito avermelhados, acinzentados e cinza-esverdeados, laminados horizontalmente ou com laminação cruzada cavalgante. O ambiente de sedimentação sugerido para esta Formação é continental fluvial de semi-aridez, com manifestações desérticas esporádicas em algumas seções da unidade. Observações colhidas nos afloramentos da rodovia MT-358, logo após o rio Russo, conduzem a aventar uma deposição por sistema fluvial ou flúvio-deltaico (lacustre) tendo como uma das áreas-fonte as rochas vulcânicas subjacentes. Silva et al., (2003) posicionaram esta Unidade no Cretáceo Médio a Superior, embasados na ocorrência

de fósseis de Mesosuchidae (Notosuchidae) os quais constituem-se de répteis crocodilomorfos de hábito terrestre, que ocorrem em unidades sedimentares cretáceas do Brasil e da América do Sul.

C1ja -Formação Jauru - Constituída de arenitos arcoseanos, siltitos, folhelhos e ritmitos. Ocorrem desde Figueirópolis, prolongando-se na direção sul além do rio Aguapeí. É um pacote sedimentar sub-horizontal, composto de paraconglomerados petromíticos, siltitos arenosos, folhelhos e tilitos. Folhelhos e siltitos tem sua ocorrência de maneira interestratificada, onde ocorre a gradação em direção ao topo composta de diamictitos. Os paraconglomerados mostram-se parcialmente laterizados, apresentando 70% de matriz com clastos de quartzitos, arenitos arcoseanos, gnaisses e granitos. As características da formação indicam um ambiente com contribuição glacial à formação Jauru, sendo depositada em ambiente continental.

5.1.2.1.2 Bacia do Alto Tapajós

Pij – Unidade Ij - Esta unidade informal compreende as unidades fotogeológicas denominadas de Unidade I e Unidade J de Santiago et al. (1980) que afloram no núcleo de amplas anticlinais na margem esquerda do rio Juruena e no interflúvio deste com o rio Teles Pires. Não existem dados conclusivos sobre este conjunto litoestratigráfico devido ao baixo grau de conhecimento geológico da área. Aflora ao longo do rio Juruena e afluentes, camadas de arcóseo, conglomerado, grauvaça e siltito vermelho. A idade presumida é permiana, devido ao seu posicionamento estratigráfico sobre unidades que recobrem a Formação Capoeiras de idade silurodevoniana (SANTIAGO et al., 1980).

Pnv – Formação Navalha - A primeira referência desta unidade deve-se a Moura (1932) onde definiu a seção-tipo no baixo curso do rio Teles Pires na localidade de Navalha. A Formação Navalha aflora entre os rios Juruena e Teles Pires, no extremo norte de Mato Grosso, divisa com o Estado do Pará. Constitui-se de rochas carbonáticas finamente laminadas (siliciclásticas/carbonato) com pronunciado grau de diagênese e geometria de lobos sigmoidais amalgamados e ondulações no topo, representadas por arenito rosa com cimento calcítico, siltito calcífero cinza-claro e calcário. A formação carece de definição e correspondência a alguns conhecidos modelos deposicionais citados na literatura (plataforma isolada, rampa homoclinal, rampa distalmente escalonada, acrecionária) e que envolvem condições diversas de faciologia e de declividade em relação ao nível do mar.

Alguns modelos propostos sugerem a formação de tálus periplataformal biohermas e ocasionais turbiditos.

CPsm – Formação São Manoel - Distribui-se, principalmente, no extremo norte de Mato Grosso, entre o médio/baixo curso do rio Juruena e o médio/baixo curso do rio São Manoel ou Teles Pires e nas cabeceiras do rio Bararati, no município de Cotriguaçu, na divisa com o Estado do Pará. É constituída pelas Unidades F e G de Santiago et al. (1980) assim caracterizadas: Unidade F – as rochas desta unidade recobrem os quartzos-arenitos da Formação Igarapé Ipixuna. Apresenta relevo bastante ravinado sendo constituída por arenito siltoargiloso, vermelho na base, com manchas esbranquiçadas e ocasionalmente com cimento carbonático. Este é recoberto por camada de calcário, igualmente avermelhado, estando sotoposto a uma brecha sedimentar, composta por fragmentos de siltitos e argilitos laminados. O ambiente de deposição é de mar raso; Unidade G – representada por quartzos arenitos de coloração creme, levemente rosa dos, bem selecionados, granulometria fina e estrutura maciça. É relativamente frequente a presença de marcas de ondas simétricas.

CPii - Formação Igarapé Ipixuna - A denominação original (Formação Ipixuna) foi proposta por Santiago et al. (1980). Formada por quartzos-arenitos, encaixada entre a Formação São Benedito e a unidade F. Localizada no norte do estado de Mato Grosso, entre o médio e baixo curso do rio Juruena e o médio e baixo curso do rio São Manoel. É constituída por inúmeros platôs na serra do Cachimbo, e é caracterizada por sua ampla distribuição geográfica. Formada essencialmente por quartzos-arenitos variando de fino a médio, bem selecionado e de cor variando de avermelhada até tons acinzentados. Há marcas de onda, gretas de contração e estratificação cruzada, o acamamento é horizontalizado. O ambiente de deposição é de mar raso; Unidade G – representada por quartzos arenitos de coloração creme, levemente rosa dos, bem selecionados, granulometria fina e estrutura maciça. É relativamente frequente a presença de marcas de ondas simétricas.

Dc – Formação Capoeiras - A Formação Capoeiras, que corresponde à unidade intermediária do Grupo Jatuarana, foi definida por Santiago et al. (1980). Para designar os quartzos-arenitos com intercalações de siltitos e lentes de argilitos com espessura mínima estimada em torno de 120 metros. A área de ocorrência estende-se ao longo das corredeiras Capoeiras e Chacorão no rio Tapajós e no interflúvio dos igarapés Mingau e Borrachudo. Em Mato Grosso foi cartografada na região norte do Estado nos municípios de Guarantã do Norte e Novo Mundo. As relações de contato entre essa unidade com as formações Borrachudo e São Benedito são interpretativas e baseiam-se nas diferenças litológicas e paleoambientais. Dessa forma, a Formação Capoeiras está sobreposta à Formação

Borrachudo e sotoposta à Formação São Benedito. Os quartzos-arenitos são finos a médios, esbranquiçados a avermelhados, bem selecionados, exibindo no topo das camadas, marcas onduladas assimétricas indicando paleocorrentes para SW. Ocorrem, localmente, intercalações de siltitos esverdeados e argilitos vermelhos com gretas de contração e que apresentam localmente glauconita e bioturbações. Subordinadamente ocorrem camadas do tipo *red bed*, com direção NNW-SSE e mergulhos entre 2° e 5° para SW. O ambiente deposicional da Formação Capoeiras é de águas rasas, possivelmente em zona litorânea sob influência de maré, na região de intermaré, evidenciada pela presença de correntes bidirecionais. A presença localizada de estruturas tubulares ramificadas nos quartzos-arenitos é resultante da atividade de organismos do tipo *Palaeophicus sp.* O conteúdo palinológico é representado por esporomorfos do tipo *Caliptosorite cf. velatus*, *Verrucosisporites cf. nitidus*, *Geminispora sp.*, *Secariosporite sp.*, *Aurorospora sp.*, *Apicularetusispora sp.* e *Retusotriletes sp.*, os quais indicaram idade devoniana. A potencialidade mineral da unidade restringe-se a ocorrência de lentes de calcário associadas aos siltitos e arenitos glauconíticos.

K2m – Formação Marília - Definida por Almeida e Barbosa (1953) como subdivisão do Grupo Bauru, esta unidade é constituída basicamente por depósitos imaturos. Tem área-tipo nos arredores de Marília e Garça, Estado de São Paulo. Foi inicialmente dividida, por Setzer (1948) nos membros Serra da Galga, Ponte Alta e Echaporã. A diferença entre os membros Serra da Galga e Ponte Alta reside no maior grau de cimentação carbonática dos litotipos Ponte Alta (FERNANDES e COIMBRA, 2000) fruto de processos pós-deposicionais, uma vez que o ambiente deposicional é semelhante e relacionado às porções medianas e distais de leques aluviais, representada por depósitos de canais entrelaçados e de fluxos densos, com a presença subordinada de dunas eólicas de pequeno porte. Para o Membro. Echaporã, interpretam uma deposição sob a forma de fluxos em lençol, em contexto de franja de leque aluvial, representando as porções distais dos depósitos sedimentares componentes dos outros dois membros. Seu contato gradual com litotipos da Fm. Vale do Rio do Peixe, indica a transição do sistema de leques aluviais para a planície eólica. As paleocorrentes, obtidas no Membro. Serra da Galga indicam transporte para noroeste e secundariamente para WNW.

Em Mato Grosso estes sedimentos são encontrados nas regiões sul e sudeste sendo cartografada como indivisa, uma vez que não foi possível separar os membros Serra da Galga, Ponte Alta e Echaporã. São constituídos por um pacote de arenito grosso a fino, coloração amarelada e avermelhada, imaturo, mal selecionado, conglomerático com clastos de quartzo, quartzito, calcedônia e calcário fino, cimentados por sílica amorfa, além de um

pacote de arenito fino a médio, imaturo, com fração areia grossa a grânulos. Apresenta também lentes de calcário fino e estratos de siltito e argilito subordinados. O ambiente deposicional sugere condições subaquosas fluvial e lacustre, com canais de deltas aluviais e planícies de inundação. Os níveis de calcário sugerem fases de aridez, enquanto os conglomeráticos estariam associados a fluxos hidrodinâmicos de alta energia. Sua utilização econômica em Mato Grosso está limitada à exploração dos níveis de calcário como corretivo de solos.

Kilpg - Suíte Magmática Paredão Grande - É composta por rochas ígneas alcalinas (derrames, diques e rochas vulcanoclásticas) recorrentes ao longo do desenvolvimento da sedimentação. A idade deste magmatismo é de $83,9 \pm 4$ Ma. (Ar-Ar). Análises petrográficas caracterizaram as rochas componentes dos derrames como apresentando textura geral porfírica ou microporfírica, de grão fino com matriz intergranular a intersertal. Os fenocristais somam cerca de 2%, possuem grãos médio a fino (1,5mm a 0,70mm) isolados ou glomeroporfíricos, em geral de plagioclásio subédrico zonado e, subordinadamente, de clinopiroxênio prismático ou globular. A matriz é muito fina (tamanho inferior a 0,25mm) e em uma amostra pode ser observada uma leve textura de fluxo. A mineralogia da matriz consiste de prismas de plagioclásio, glóbulos de clinopiroxênio incolor parcial a totalmente transformado para anfibólio verde sendo que esta transformação deve ser tardimagmática, não sendo produto de hidrotermalismo. Ocorre de forma subordinada piroxênio rosado. Em alguns cristais ocorrem estruturas reliquias, dificultando seu reconhecimento. A paragênese principal é plagioclásio + piroxênio + anfibólio e juntamente com a textura porfírica com matriz intergranular e intersertal são diagnósticas para rochas da família dos basaltos. A composição modal para a amostra do Derrame da Raizinha, próximo a Poxoréo, é: plagioclásio An₅₈₋₅₂ (60%); clinopiroxênios (20%); anfibólio (15%); opacos (3%); flogopita (2%); olivina? (< 1%). Depósitos identificados como de natureza piroclástica foram descritos como brechas vulcânicas e tufos, podendo ocorrer interação com a sedimentação siliciclástica de ambiente desértico sob a forma de pavimentos contendo bombas vulcânicas ou sedimentos nas frações areia e silte englobados nos derrames.

5.1.2.1.3 *Bacia do Paraná*

K2b - Grupo Bauru - Embora esta unidade permaneça na categoria de Grupo, seu entendimento foi substancialmente modificado pelos trabalhos de Fernandes (1992) Fernandes e Coimbra (1994) Fernandes (1998) e Fernandes e Coimbra (2000) com a retirada da Formação Caiuá, sua redefinição na categoria de Grupo e a inclusão da Formação Santo Anastácio. Desta forma, o Grupo Bauru permanece composto pelas formações Uberaba e Marília; a Formação Adamantina é, na quase totalidade de sua sucessão de camadas, redefinida como Formação Vale do Rio do Peixe; e são definidas as formações Presidente Prudente, São José do Rio Preto e Araçatuba.

As rochas vulcânicas alcalinas, intercaladas na Formação Vale do Rio do Peixe (ex. Adamantina) são designadas de Analcimitos Taiúva. Os recursos minerais associados a este grupo são diamantes, calcários, argilas e ouro. O Grupo Bauru na região da Chapada dos Guimarães assenta em discordância erosiva sobre unidades mais antigas e é passível de individualização em quatro unidades conforme Weska et al. (1988) Godoy et al. (2003) e Costa et al. (2003). Todavia não existem mapeamentos cuja cobertura permita uma compilação e integração com imagens de sensores remotos, de modo que esta divisão possa ser representada neste trabalho.

Perfis realizados nas regiões da Fazenda Chafariz, Cachoeira do Bom Jardim, Dom Aquino e Poxoréu permitiram a consolidação da propriedade da divisão proposta em quatro formações: Paredão Grande, Quilombinho, Cachoeira do Bom Jardim e Cambambe. Entretanto, por questão de escala, apenas a Paredão Grande foi individualizada como Suíte Magmática ficando as restantes como Bauru Indiviso.

K1ßsg – Formação Serra geral - Descrito inicialmente por White (1906) sua área tipo é a Serra Geral do Planalto Meridional Brasileiro, na estrada entre Lauro Müller e São Joaquim, Estado de Santa Catarina. Compreende um pacote de rochas vulcânicas, formado por um extenso conjunto de derrames basálticos e subordinadamente félsicos que ocorrem em uma grande extensão da Bacia do Paraná desde a sua borda norte de Mato Grosso e Goiás até o Rio Grande do Sul. Em Mato Grosso ocorre na região sudeste, constituindo-se por uma secessão de derrames vulcânicos, mormente de natureza basáltica e, secundariamente, ácida a intermediária. São basaltos e basaltos andesíticos de filiação toleítica, maciços, cinza-escuro, granulação fina a média, as vezes amigdaloidal e muito fraturados. Disjunções colunares estão presentes indicando derrames mais espessos. Subordinadamente, ocorrem riolitos e riodacito, com intercalações de camadas de arenito, litoarenito e arenito vulcânico.

O magmatismo Serra Geral teve maior pico entre 137+0,7Ma. e 126,8+2,0Ma. e a pilha de derrames pode alcançar uma espessura de 2000m (MILANE e TOMAZ FILHO, 2000). Esta unidade é portadora de ocorrências de cobre e ouro, mas sua principal mineralização consiste em ágatas e ametistas (RS). Lajes brutas ou beneficiadas são de amplo uso como piso e no revestimento de edificações, além de ser fonte primordial de brita para a construção civil. Diques e sills de rochas básicas geram metamorfismo de contato que tem como resultado o aumento do rank dos carvões em algumas áreas próximas à cidade de Criciúma (SC), bem como propiciam ocorrências localizadas de cobre nas formações Irati e Corumbataí. Em Mato Grosso sua utilização econômica restringe-se apenas ao fornecimento de brita para a construção civil.

J3K1bt – Formação Botucatu - Sua área tipo localiza-se na rodovia entre São Paulo e Botucatu, ao longo da Serra de Botucatu, Estado de São Paulo. (GONZAGA DE CAMPOS, 1889). Constitui-se predominantemente por arenitos finos a grossos, coloração avermelhada, bem arredondados e com alta esfericidade, dispostos em sets e/ou cosets de estratificações cruzadas de grande porte. Os estratos cruzados são compostos na sua porção mais íngreme por lâminas alternadas de fluxos de grãos e queda livre de grãos que se interdigitam em direção a base com laminações transladantes cavalgantes. Os estratos cruzados da Formação Botucatu têm sido interpretados como depósitos residuais de dunas eólicas crescentes e lineares acumuladas em um extenso mar de areia (*sand sea*).

A ausência de depósitos de interdunas úmidos permite interpretar a Formação Botucatu como um sistema eólico seco. Ocorre nas regiões centro-sul e leste do Estado de Mato Grosso e compreendem arenitos vermelho-tijolo, friáveis, pouco argilosos, cauliniticos, feldspáticos, geralmente médios a finos, grãos bem arredondados a subarredondados, esfericidade boa, mal selecionado no conjunto e bem selecionado ao longo das extensas e abundantes lâminas que seguem os planos de estratificações cruzadas eólicas, finamente estratificados planos-paralelamente. Os grãos de quartzo mostram superfícies foscas e são envolvidos por uma película ferruginosa. Esta unidade é fonte de areias quartzosas para uso industrial e é explorada para a obtenção de lajes de uso em piso ou revestimento e blocos de alicerce na construção civil. Os arenitos desta Unidade constituem-se em excelentes aquíferos explotados em diversos estados brasileiros, fazendo parte do denominado Aquífero Guarani.

P1p – Formação Palermo - Foi definida por White (1906) em Palermo, Município de Lauro Muller, Estado de Santa Catarina. Gonçalves. e Scheneider (1970) cartografaram esta unidade nas regiões leste e sudeste de Mato Grosso. Constitui-se, essencialmente, por

sedimentos de granulação fina (siltitos e arenitos finos e muito finos) de cores acinzentadas a amareladas. As camadas apresentam geometrias tabular ou lenticular, muito estendidas. Como regra, distribuem-se em ciclos granocrescentes (parassequências) que iniciam com pelitos maciços ou laminados, passando superiormente a siltitos com acamamentos *wavy* e *linsen*, e eventualmente arenitos com estratificação cruzada *hummocky*, acamamentos *flaser* e *drape*, marcas de ondulação simétrica e assimétrica e laminações cruzadas cavalgantes. Estas litologias correspondem à deposição abaixo do nível de ação das ondas de bom tempo, porém em profundidades influenciadas por ondas de tempestade. Existe uma tendência em considerar a Formação Palermo como representando um ambiente marinho raso, com baixa salinidade devido a quase total ausência de organismos estenohalinos.

C2P1a - Formação Aquidauana - Definida por Lisboa (1909) sua seção tipo situa-se no vale do Rio Aquidauana, Estado de Mato Grosso do Sul, no trecho cortado pela Estrada de Ferro Noroeste do Brasil. folhelhos que se aprofunda mais para o sul. Em Mato Grosso aflora nas regiões leste e sudeste.

Schneider et al. (1974) propõem uma divisão em três intervalos: o inferior composto por arenitos vermelhos a róseos, de granulação média a grossa, exibindo estratificação cruzada acanalada e com intercalações de diamictitos, arenitos esbranquiçados e conglomerado basal; o médio, composto por siltitos, folhelhos e arenitos finos, vermelhos a róseos, laminados, com intercalações de diamictito e folhelho de cor cinza-esverdeado; e o superior, constituído predominantemente por arenitos vermelhos com estratificação cruzada. O contato inferior com o Grupo Paraná e com o embasamento faz-se por discordância angular, enquanto o superior é marcado por superfícies erosivas. Admitem ainda uma espessura máxima de 799 m, definida no poço 2-AG-1-MT.

Na região sudeste do Estado constitui-se essencialmente de arenitos vermelhos a roxos, friáveis, porosos, compostos principalmente por quartzo, as vezes feldspáticos, com cimento ferruginoso e escassa matriz arenosa e argilosa. As variações litológicas e faciológicas são frequentes, tanto vertical como lateralmente, com níveis lenticulares subordinados, conglomeráticos, siltosos ou argilosos, com contatos bruscos ou gradacionais. São comuns níveis lenticulares de diamictitos vermelhos, formados por uma matriz areno-argilosa que engloba clastos de quartzo e arenito e subordinadamente de granito, quartzito, gnaiss, micaxisto e vulcânicas. Os grãos são bem arredondados e de tamanhos variados.

Na Serra da Petrovina observam-se três conjuntos litológicos com posição estratigráfica definida. O primeiro, inferior, é formado por arenitos vermelho-arroxeados, as vezes esbranquiçados ou avermelhados, médios a grossos, feldspáticos, com níveis

conglomeráticos e com intercalações subordinadas de siltitos e diamictitos finos. Os arenitos mostram estratificação cruzada acanalada, composição quartzosa, com grãos angulosos a subarredondados e, por vezes, com cimento ferruginoso. Nos planos de estratificação podem acumular-se minerais pesados, indicando deposição em fundo de canal.

O intermediário é composto por siltitos finamente estratificados, vermelho arroxeadado ou vermelho-tijolo, e, secundariamente, por arenitos arcoseanos, folhelhos cinza (fossilíferos) e bolsões e lentes de diamictito vermelhos. Observam-se estratificação plano-paralela, marcas de onda e, localmente, estruturas de sobrecarga como diápiros e dobras convolutas. No superior predominam os sedimentos arenosos, vermelho-arroxeados, mais finos e melhor selecionados do que os do conjunto inferior. Apresentam estratificação plano-paralela e estratificação cruzada.

O ambiente de deposição, segundo Schneider et al. (1974) é continental, constituído por depósitos fluviais e lacustres. Sua associação lateral, em direção ao sul da bacia, com depósitos glaciais das demais unidades do Grupo Itararé, sugere a presença de área glacial próxima à área de sedimentação desta unidade. Daemon e Quadros (1970) estabelecem uma idade carbonífera superior (Stephaniano) com base em dados palinológicos. Economicamente, apresenta ocorrência de argilas para uso em cerâmica.

Dpg – Grupo Paraná - Formação Ponta Grossa - Definida por Oliveira (1912) tendo como área tipo os arredores de Ponta Grossa, Estado do Paraná. Constituída por folhelhos marinhos de cor cinza e intercalações de arenitos finos depositados sob a ação de ondas em uma plataforma rasa, a Formação Ponta Grossa atinge espessura máxima de 654 m no poço 2-AP-1-PR e é interpretada por Assine et al. (1994) como o resultado do afogamento dos depósitos litorâneos da Formação Furnas por um evento transgressivo de idade devoniana média. A presença de um episódio regressivo intercalado é marcada pela variação faciológica (LANGE e PETRI, 1967) representada por uma seção intermediária arenosa (Membro Tibagi) que separa uma seção predominantemente pelítica basal (Membro Jaguariaíva) de uma pelítica superior (Membro São Domingos). Este evento progradacional teve como causa reativações tectônicas nas áreas-fonte situadas a leste e nordeste, proporcionando o avanço de sistemas deltaicos.

No Estado de Mato Grosso a Fm. Ponta Grossa foi mapeada nas regiões centro-sul, leste e nordeste, sendo caracterizada por uma sequência de folhelhos e siltitos de cores variando de cinza a cinza-esverdeada na base e apresentando para o topo intercalações de arenitos finos a muito finos, micáceos, feldspáticos, finamente estratificados, de cor branca,

marrom ou esverdeada. São frequentes bioturbações e níveis finos de conglomerado na base. Em geral são rochas com boa fissilidade, com níveis fossilíferos nos folhelhos.

Nas regiões centro-sul e leste, sobrepõe-se à Formação Furnas por contato gradual e concordante e é sobreposta pela Formação Aquidauana por discordância erosiva e também pela Cobertura Detrito-Laterítica e por aluviões recentes. Por vezes, o contato tanto com a Formação Furnas como com a Formação Aquidauana é por falha normal. É considerada de idade Devoniana por seu conteúdo fossilífero (macro e microscópico). Trilobitas, braquiópodos e tentaculites constituem o conjunto de macrofósseis, enquanto que os microfósseis estão representados principalmente por acritarcas e quitinozoários. Para o Mb. Tibagi, Assine (1996) destaca a presença de braquiópodos do gênero *Australospirifer*. Sanford e Lange (1960) e mais recentemente Zalán et al. (1990) indicam os folhelhos desta unidade como geradores de hidrocarbonetos e gás.

Os tipos de fósseis, as estratificações cruzadas planas e acanaladas e os níveis subordinados de siltitos e arenitos finos com raras marcas onduladas mostram que esta formação se depositou em ambiente marinho de águas rasas, com fluxos de alta energia e elevada taxa de deposição, ocorrendo no topo do pacote um episódio regressivo. A potencialidade mineral restringe-se à utilização dos argilitos e siltitos na fabricação de cerâmica.

D1f – Grupo Paraná - Formação Furnas - Sua área-tipo é o escarpamento Serrinha, próximo à estação ferroviária de Serrinha, Estado do Paraná. Conforme Assine et al. (1994) sua maior espessura em subsuperfície é de 337m (Poço 2-TL-1-MS) e, em sua porção inferior, predominam arenitos feldspáticos grossos, texturalmente imaturos, ocorrendo ainda, de forma descontínua, arenitos conglomeráticos e conglomerados quartzosos.

Na sucessão de camadas em direção ao topo da unidade, os arenitos apresentam-se menos feldspáticos e de granulação mais fina, interdigitando-se com argilitos. O ambiente interpretado é fluvial a transicional (deltas de rios entrelaçados) com os depósitos sedimentares desenvolvendo-se em *onlap* costeiro de oeste para leste, em discordância sobre as rochas do embasamento e por superfície erosiva regional sobre as rochas do Grupo Rio Ivaí, em um padrão de empilhamento retrogradacional, caracterizando um evento transgressivo. O contato superior com a Formação Ponta Grossa é transicional e o seu registro fóssil mais abundante são icnofósseis. Na porção superior desta unidade foram descritos restos vegetais como *Psilophytales*, de distribuição desde o Siluriano Superior até o Devoniano Médio. Todavia, a transição entre os depósitos litorâneos de topo, com os de plataforma rasa da Formação Ponta Grossa (Emsiano - Devoniano Inferior) faz com que os

autores confirmam à Formação Furnas uma idade eodevoniana. Esta unidade tem sido referenciada como fonte de diamantes encontrados em depósitos aluviais provenientes de sua erosão (GONZAGA e TOMPKINS, 1991).

No Estado de Mato Grosso a Formação Furnas ocorre ao longo das bordas norte e noroeste da Bacia do Paraná. Unidade basal do Grupo Paraná, é descrita, em seção, na região de Barra do Garças, com 195 m de espessura aflorante, estando constituída predominantemente por arenitos grossos a muito grossos com estratificação cruzada planar, com ocorrência subordinada de arenitos grossos a muito grossos com estratificação cruzada acanalada e arenitos finos a médios com estratificação cruzada *hummocky* (ASSINE, 1996). Na região da borda noroeste da bacia, desde as cercanias da Chapada dos Guimarães até o limite sul do Estado, afloram camadas de arenitos médios a grossos, com estratificação cruzada, arenitos finos com laminação cruzada cavalgante e arenitos finos com estratificação cruzada *hummocky*, que nas proximidades da cidade de Jaciara compõem uma segunda *cuesta* na escarpa da bacia, após a faixa de afloramento do Grupo Rio Ivaí. Seu contato inferior é uma superfície erosiva sobre unidades mais antigas e o superior é transicional para os folhelhos da Formação Ponta Grossa. Sua deposição é interpretada como de leques costeiros e *braided* deltas e em ambiente marinho raso, entre o nível de ação das ondas normais e do nível de ação das ondas de tempestades, postulando ainda a ação de correntes de marés (ASSINE, 1996). Rica em icnofósseis nas fácies arenosas, sua idade ordoviciana inferior é balizada pela Formação Ponta Grossa (Ordoviciano Inferior a Superior).

O3S1rv - Grupo Rio Ivaí - Esta unidade litoestratigráfica de idade neo-ordoviciana a eossiluriana, é composta por três formações: Alto Garças, Iapó e Vila Maria (ASSINE, 1996). Todavia as informações cartográficas disponíveis para o Estado de Mato Grosso não permitem sua individualização, sendo apresentada de forma indivisa.

Desde as cercanias da cidade de Chapada dos Guimarães até a fronteira com o Estado de Mato Grosso do Sul, o Grupo Rio Ivaí aflora de forma praticamente contínua, compondo a primeira escarpa da borda da Bacia do Paraná. Na região norte da bacia suas melhores exposições encontram-se nas cercanias da cidade de Barra do Garças (ASSINE, 1996) onde, todavia, não existem mapas geológicos disponíveis que delimitem esta unidade da Formação Furnas (Grupo Paraná) que lhe é sobreposta em discordância. Em ambas as áreas sua seção basal encontra-se em discordância angular sobre rochas metamórficas do Grupo Cuiabá. É composta por conglomerados e arenitos quartzosos, finos a médios, por vezes grossos e conglomeráticos com grânulos e seixos de quartzo, maciços ou com estratificação cruzada tangencial, intercalando camadas pouco espessas de pelitos de cor arroxeada por alteração.

Estes arenitos e conglomerados são relacionados por Assine (1996) à Formação Alto Garças e podem atingir 40 m de espessura (Moreira e Borghi, 1999). Assine (1996) interpreta o registro sedimentar desta unidade como constituído por depósitos de deltas entrelaçados seguidos por depósitos marinhos plataformais, sucedendo-se em um padrão de empilhamento retrogradacional.

A Formação Iapó foi identificada no Estado de Mato Grosso apenas na região de Barra do Garças onde sua espessura chega a atingir 6 m. É constituída predominantemente por diamictitos maciços, com presença subordinada de arenitos, folhelhos laminados e folhelhos com seixos pingados. O contato sobre os arenitos da Formação Alto Garças é abrupto, localmente erosivo e sua deposição é interpretada como o registro de um episódio glacial de idade neo-ordoviciano a, no máximo eossiluriano (ASSINE, 1996).

A Formação Vila Maria constitui a seção de topo do Grupo Rio Ivaí, tendo sido identificada, no Estado de Mato Grosso, na região de Barra do Garças em seções levantadas ao longo da escarpa noroeste da Bacia do Paraná desde a região de Chapada dos Guimarães até o limite sul do Estado (ASSINE, 1996; MOREIRA e BORGHI, 1999). Acha-se composta por uma sucessão de folhelhos laminados sucedidos por fácies heterolíticas, arenitos com estratificação cruzada *hummocky*, arenitos com estratificação cruzada acanalada e arenitos com estratificação cruzada planar.

Moreira e Borghi (1999) associam a esta formação camadas de diamictitos, não reconhecendo a Formação Iapó nas seções estudadas. Sua espessura varia de 10 a 70 m, uma vez que seu contato superior com a Formação Furnas é uma discordância erosiva. No conjunto exibe um padrão de empilhamento progradacional e o ambiente de deposição é interpretado como de costa-afora a marinho raso, sob ação de ondas e correntes de marés. Sua idade é eo-siluriano, com base em um conteúdo fossilífero composto por pelecípodos, gastrópodos, braquiópodos inarticulados, acritarcas e palinórfos (GRAY et al., 1985).

NP γ3snn – Suíte Serra Negra – Granito Serra Negra - Reunidos sob esta denominação foram englobados diversos corpos graníticos pós-tectônicos, de natureza alcalina, alojados em entre os granito-gnáissicos ou nas rochas supracrustais das sequências metavulcanossedimentares do oeste do Estado de Goiás (PENA e FIGUEIREDO, 1972). São caracterizados por álcali-granito, hornblenda-biotita granito pórfiro, as vezes com textura rapakivi, hornblenda-biotita monzogranito porfírico, sienogranito, quartzo monzodiorito, quartzo diorito e granodiorito, denominados de granitos Serra Negra, Serra do Iran, Iporá, Israelândia, Serra do Impertinente, Novo Brasil, Fazenda Nova e Córrego do Ouro (PIMENTEL e FUCK, 1987). No extremo sudeste do Estado de Mato Grosso são descritos

como Granito Serra Negra vários pequenos corpos de álcali granito, por vezes formando batólitos, como aquele exposto nas proximidades da cidade de Araguaiana. São representados essencialmente por biotita granito de coloração vermelha, constituídos por feldspato potássico, quartzo, plagioclásio e biotita, exibindo textura isotrópica, equigranular, estando comumente cortado por diques aplíticos, e exibe presença de estruturas miarolíticas sugerindo um nível inicial de cristalização (FARIA et al., 1975; PIMENTEL e FUCK, 1987). Observa-se, localmente, uma fácies diferenciada, caracterizada por rochas foliadas de composição granodiorítica, ricas em minerais máficos (hornblenda e biotita) com megacristais de feldspato potássico. Essa rocha granodiorítica é encontrada também como xenólitos no interior do biotita-granito (PIMENTEL e FUCK, 1987). Datações Rb-Sr (PIMENTEL e FUCK, 1994) e U-Pb (PIMENTEL, 1991) no Estado de Goiás, indicam idades que variam de 462 Ma. a 576 Ma. As idades-modelo Sm-Nd (PIMENTEL e CHARNLEY, 1991) situam-se por volta de 1,0 Ga., com valores de ENd próximos a zero ou levemente negativos, indicando fonte com alguma contaminação crustal. Em Mato Grosso dados geocronológicos obtidos por Pimentel e Fuck (1987) pelo método Rb-Sr, apresentam idades de 524 Ma. E 508 Ma.

5.1.2.1.4 Rochas do Neoproterozoico

NPcui - Grupo Cuiabá - O Grupo Cuiabá constitui uma sequência de metassedimentos dobrados que integra a unidade tectônica denominada de Faixa Paraguai, cujo desenvolvimento está relacionado ao ciclo Pan-Africano/Brasiliano (1000-500Ma.). As primeiras referências sobre essas rochas devem-se a Evans (1894) que denominou de “Cuiabá Slates” as ardósias com clivagens e deformações bem acentuadas aflorantes no Rio Paraguai, próximo a São Luiz de Cáceres (Vila Maria) em direção norte-nordeste, a leste de Diamantino e oeste das águas superiores do rio Cuiabá, Estado de Mato Grosso.

Oliveira e Leonardos (1943) utilizaram o termo Série Cuiabá ao caracterizar os filitos ardorianos e conglomerados xistosos subordinados, aflorantes nos arredores de Cuiabá, denominação está incorporada por Oliveira e Moura (1944); Almeida (1948b; 1954; 1964; 1965) e Vieira (1965a). Luz et al. (1980) subdividiram o Grupo Cuiabá, na Baixada Cuiabana, em nove subunidades litoestratigráficas, denominando-as informalmente de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e uma indivisa, as quais foram estendidas neste estudo para toda a área de ocorrência deste grupo na Faixa Paraguai.

NP3di - Formação Diamantino - Deve-se a Almeida (1964a) a denominação de Formação Diamantino, referindo-se aos arcóseos que ocorrem nas bordas do Planalto dos Parecis, entre as cidades de Diamantino (Morro Vermelho) e Arenópolis, em contato gradacional com os folhelhos da Formação Sepotuba. Vieira (1965) definiu a seção-tipo dessa unidade, unificando as formações Sepotuba e Diamantino, definidas por Almeida (1964, 1964a). Figueiredo et al. (1974) interpretaram as exposições do Folhelho Sepotuba, nas regiões dos rios Juba e Tarumã, como lentes situadas na porção basal dos siltitos Diamantino, propondo considerá-las como uma fácies (Fácies Sepotuba) da Formação Diamantino, que é uma sequência que se inicia por um espesso pacote de folhelhos e siltitos, micáceos, finamente laminados, compondo quase a totalidade do pacote. Na porção basal é comum a presença de lutitos e arenitos arcoseanos. Esses autores, seguidos por Ribeiro Filho et al. (1975) descrevem-na como constituída por arcóseos finos, siltitos e folhelhos, vermelhos e marrons, finamente interestratificados e com estratificações cruzadas centimétricas.

Na região de Diamantino, admitem que os níveis de arcóseos finos a médios tornam-se mais espessos e os siltitos e folhelhos, configuram-se subordinadamente. Litologicamente, em sua seção basal, constitui-se de frequentes intercalações de folhelhos, siltitos arcoseanos e arcóseos, em vários ciclos sucessivos, conformando camadas com espessuras variadas. Os pelitos normalmente mostram-se com estratos plano-paralelos, inclinados suavemente para NW. Exibem estruturas primárias tipo marcas de onda e estratificações cruzadas de pequeno porte e baixo ângulo (BARROS et al., 1982). No entorno da cidade de Diamantino, é constituída por uma sequência de arenitos arcoseanos avermelhados, localmente com intercalações de argilitos e siltitos. As camadas de arenito mostram formatos sigmoidais e estruturas primárias de marcas de onda no topo, com cristas orientadas segundo a direção N65E, paleocorrente 20/235, com variações locais para N80W e estratificações cruzadas de pequeno porte tangenciais de baixo ângulo. Os arenitos são constituídos por quartzo, feldspato alterado e palhetas de mica, cimentados por sílica ou carbonato e óxido de ferro e com granulometria variando de fina a média.

Na porção intermediária da sequência, ocorrem níveis de arenitos maciços, mais silicificados. O contato inferior com a Formação Raizama é gradacional. Encontra-se encoberta em discordância angular e erosiva pelos sedimentos do Grupo Paraná, Formação Pantanal, Cobertura Detrítica-Laterítica e Depósitos Aluvionares. Contatos térmicos são registrados com as rochas basálticas da Formação Tapirapuã (Arenópolis) e kimberlíticas do Cretáceo. São frequentes contatos por falhas com o Grupo Cuiabá e com as formações

Puga, Araras e Raizama (RIBEIRO FILHO et al., 1975). Vieira (1965b) e Figueiredo et al. (1974) admitem um ambiente de sedimentação continental de clima quente. Hennies (1966) sugere a presença de ambiente marinho associado a continental. Barros et al. (1982) advogam a presença de um ambiente de águas rasas, provavelmente marinho sublitorâneo. Neste projeto propõe-se uma sedimentação em ambiente deposicional deltaico, constituindo os arenitos depósitos de barras de desembocadura. Dados geocronológicos Rb-Sr apresentaram idades variando entre 547 a 660 Ma., interpretadas como idade de sedimentação da Formação Diamantino (CORDANI et al., 1978; BONHOMME et al., 1982 e CORDANI et al., 1985).

NP3ra - Formação Raizama - WAF Coube a Evans (1894) a denominação de Arenito Rizama, referenciando o povoado de Raizama, ao descrever os arenitos feldspáticos, na Serra do Tombador, Estado de Mato Grosso. Almeida (1964) definiu-a como Formação Raizama, situando-a na base do Grupo Alto Paraguai. Constitui-se de arenitos ortoquartzíticos brancos, médios a grossos, com níveis conglomeráticos, passando a arenitos feldspáticos e arcoseanos de cores branca, rósea e violácea, granulometria média, submaturos, com estratificações plano-paralela e cruzada, marcas de onda e finas intercalações de folhelhos e siltitos (FIGUEIREDO et al., 1974; RIBEIRO FILHO et al., 1975). Na região de Nova Brasilândia/Planalto da Serra aparece como camadas dobradas de folhelhos com laminação plano-paralela e intercalações de lâminas e camadas de arenito muito fino a médio. Na BR-163, na Serra do Tombador, mostra camadas lenticulares alongadas de quartzito-arenito a subarcóseos médios a grossos, por vezes caulínico, com estratificação cruzada tangencial e marcas onduladas assimétricas, no topo. Na BR-070 surge como camadas de arenito, separadas por *drapes* de pelito, com estruturas “em chama” na base. Detecta ainda a presença de intraclastos pelíticos, depósitos de preenchimento de canal, estratificações onduladas e indicação de paleocorrente para NW. Os contatos inferior e superior com as formações Araras e Diamantino, respectivamente, é gradacional.

Contatos por falha são registrados nas serras do Tombador, Azul e Dourada, com as formações Puga e Bauxi e o Grupo Cuiabá. Acha-se também recoberta pelos sedimentos da Formação Pantanal (RIBEIRO FILHO et al., 1975). Os litotipos dessa formação foram afetados pelo último evento tectônico registrado na região (550 a 500 Ma.) resultante de esforços compressivos de sudeste para noroeste, condicionando o desenvolvimento de extensos braquianticlinais e braquissinclinais de direção NE-SW e dobras com vergência para NW. Figueiredo et al. (1974) propõem uma deposição marinha nerítica na base, gradando a continental no topo. Segundo esses autores, a presença de arenitos

ortoquartzíticos sinaliza ambiente epinerítico que, associado à ocorrência de feldspatos no topo, indicaria uma mudança gradativa para ambiente continental. Consequentemente, a sedimentação estaria associada a uma regressão marinha. As camadas tabulares de arenito são indicativas de deposição por correntes de turbidez, enquanto as intercalações de siltito e arenito muito fino, sob a forma de fina laminação, representa a dispersão da fração areia sobre fundo lamoso. A geometria e estruturas sedimentares dos arenitos, indicam deposição em um contexto litorâneo, sugerindo como hipótese, um ambiente estuarino ou planície de marés arenosa sujeita à ação eventual de ondas. Alvarenga (1990) posicionou-a no Cambriano Inferior ou Vendiano Superior (630-570 Ma.) compatível com os registros de icnofósseis *Planolites-Paleophycus* e *Cochlichnus* do início do Vendiano (ZAINE e FAIRCHILD, 1996).

NPnx - Unidade Metavulcanossedimentar Nova Xavantina - Esta unidade foi desmembrada do Grupo Cuiabá, individualizada e nominada por Pinho (1990) como Sequência Metavulcanossedimentar Nova Xavantina, na localidade conhecida como Garimpo do Araés, à margem esquerda do rio das Mortes, cerca de 25 km a oeste da cidade de Nova Xavantina-MT. Situa-se no extremo leste da Faixa Paraguai, sotoposta ao Grupo Cuiabá, caracterizando uma fase embrionária de abertura de fundo oceânico na Faixa Paraguai.

Martinelli et al. (1997) descreveram nessa região formações ferríferas bandadas e calco-filitos, associados a lentes de vulcânicas félsicas, intermediárias e máfias (basaltos magnesianos, metatufos máficos, dacitos entre outros) transformadas em verdadeiros xistos verdes, além de filitos grafitosos, metacherts ferruginosos, metacherts quartzosos, quartzo sericita filitos, metargilitos, metassiltitos e quartzitos. Martinelli (1998) propõe para a área do Garimpo do Araés uma coluna estratigráfica compreendendo rochas clásticas psamíticas e pelíticas; rochas químicas silicáticas, carbonáticas e ferríferas e rochas metavulcânicas intermediárias e básicas. Martinelli e Batista (2003) renomearam a Sequência Metavulcanossedimentar Nova Xavantina de Pinho (1990) de Sequência Metavulcanossedimentar dos Araés, constituída da base para o topo por três associações litológicas: Associação Metavulcânica (unidade inferior – metabasalto e metatufo; e unidade superior – xistos, metandesito e lápili-tufo) Associação Química (formações ferríferas bandadas, filitos carbonáticos e metacherts) e Associação Clástica (metassiltitos, metargilitos e quartzitos).

A sequência ocorre balizada por falhas transcorrentes destrais, de direção ENE, subparalelas à Zona de Cisalhamento do Araés. Pinho (1990) identifica contato gradacional

com as rochas metassedimentares do Grupo Cuiabá sugerindo contemporaneidade na geração da Sequência Vulcanossedimentar Nova Xavantina e do Grupo Cuiabá. Interpreta que a origem estaria associada a ambiente marinho, possivelmente do tipo *back-arc*.

NP3ars – Formação Araras - Membro Superior - Dolomitos com intercalações subordinadas de arenitos, siltitos e argilitos calcíferos com níveis de sílex e concreções silicosas.

Dardenne (1980) definiu esta formação como constituída por calcários na porção basal e dolomitos na porção superior. Barros et al. (1982) admitiram a validade da conceituação de Luz et al. (1978), todavia consideraram-na como um pacote único. O contato inferior com a Formação Puga e o superior com a Formação Raizama é gradacional. São registrados contatos tectônicos através de falhas de empurrão e inversas com as Formações Bauxi e Puga (LUZ et al., 1980). Almeida (1964) admite deposição em um ambiente predominantemente nerítico, de águas rasas.

Segundo Luz et al. (1980) esta formação teria se depositado em ambiente nerítico de águas rasas e calmas. Dardenne (1980) atribuiu-lhe um ambiente marinho raso, sendo que os calcários representariam a fácies sublitorânea e os dolomitos a litorânea. Barros et al. (1982) admitem uma deposição em ambiente marinho raso, de águas calmas, tipo plataformar. Concluem que a fácies carbonáticas que marca o final da influência glacial na bacia, pode ser considerada como uma unidade cronoestratigráfica relacionada a um período de relativa elevação do nível do mar. Apesar da ausência de dados isotópicos, estima-se uma idade de cerca de 600 Ma. para a deposição da Formação Araras (ALVARENGA, 1990; RODRIGUES et al., 1994).

5.1.3 Resultados do levantamento de campo: maio/junho de 2024

No primeiro trabalho de campo na atual fase do projeto, executado entre os dias 26 de maio a 2 de junho de 2024, foi realizado um reconhecimento das duas regiões de interesse ao projeto à época (o alto rio das Mortes e o rio Teles Pires), buscando-se identificar alguns pontos de interesse previamente identificados na base de dados, visando obter informações adicionais e dados não disponíveis nas referidas bases. Assim, inicialmente visitou-se a área do alto rio das Mortes, tendo-se percorrido áreas ainda não visitadas anteriormente pela equipe. Em seguida descrevem-se sumariamente os pontos visitados.

5.1.3.1 Área do Alto Rio das Mortes

Ponto 1 – Empresa *Fueling Sustainability* (FS Bioenergia), localizada na área rural do município de Primavera do Leste (Figura 5.10). A empresa tem vários poços profundos com vazões significativamente mais altas que a média da região. O poço 2 (coordenadas 15°21'26" S, 54°12'33" W), externo à planta, com cerca de 96 m de profundidade apresentou uma vazão da ordem de 250 m³/h, estimada no hidrômetro (Onset HOB0) (Figura 5.11). Segundo o Eng. Amb. Diego, responsável local, os dados estão disponíveis para acesso pela equipe do projeto, mediante contato com o Sr. Marino Franz. Diego comentou que o Poço 6, no interior da planta à qual não se teve acesso, chega a uma vazão de 300 m³/h.



Figura 5.10 - Localização da planta industrial da FS Bioenergia em Primavera do Leste - MT.



Figura 5.11 - Detalhe do Poço 2 da planta industrial da FS Bioenergia.

Ponto 2 – Fazenda São José (Sr. Otávio Palmeira Santos). A fazenda possui três pivots e usina fotovoltaica na matriz de fornecimento de energia. Os pivots são abastecidos por água fluvial, já que o poço fornece uma vazão de $6 \text{ m}^3/\text{h}$. Não há outros poços próximos com vazões mais elevadas. Coordenadas:

Ponto 3 – Fazenda WDF (Ger. Lucas). A propriedade tem dois poços na sede com vazões entre 5 e $7 \text{ m}^3/\text{h}$, que servem para abastecimento humano e de serviços auxiliares. Os pivots da fazenda são abastecidos por captações no ribeirão dos Perdidos (Figura 5.12). Coordenadas $15^\circ 25' 27'' \text{ S } 54^\circ 22' 19'' \text{ W}$.



Figura 5.12 - Localização da Faz. WDF Agro e do ribeirão dos Perdidos.

Ponto 4 – Fazenda Ottonelli. Localizada 1 km ao norte da FS Bioenergia (Figura 5.13), com acesso pela MT-130, possui ponto interessante para instalação dos sensores fluviométricos e de potenciometria dos aquíferos (Figura 5.14). A captação é realizada por pivots diretamente do rio das Mortes. Coordenadas: 15°24'06" S e 54°14'29" W.

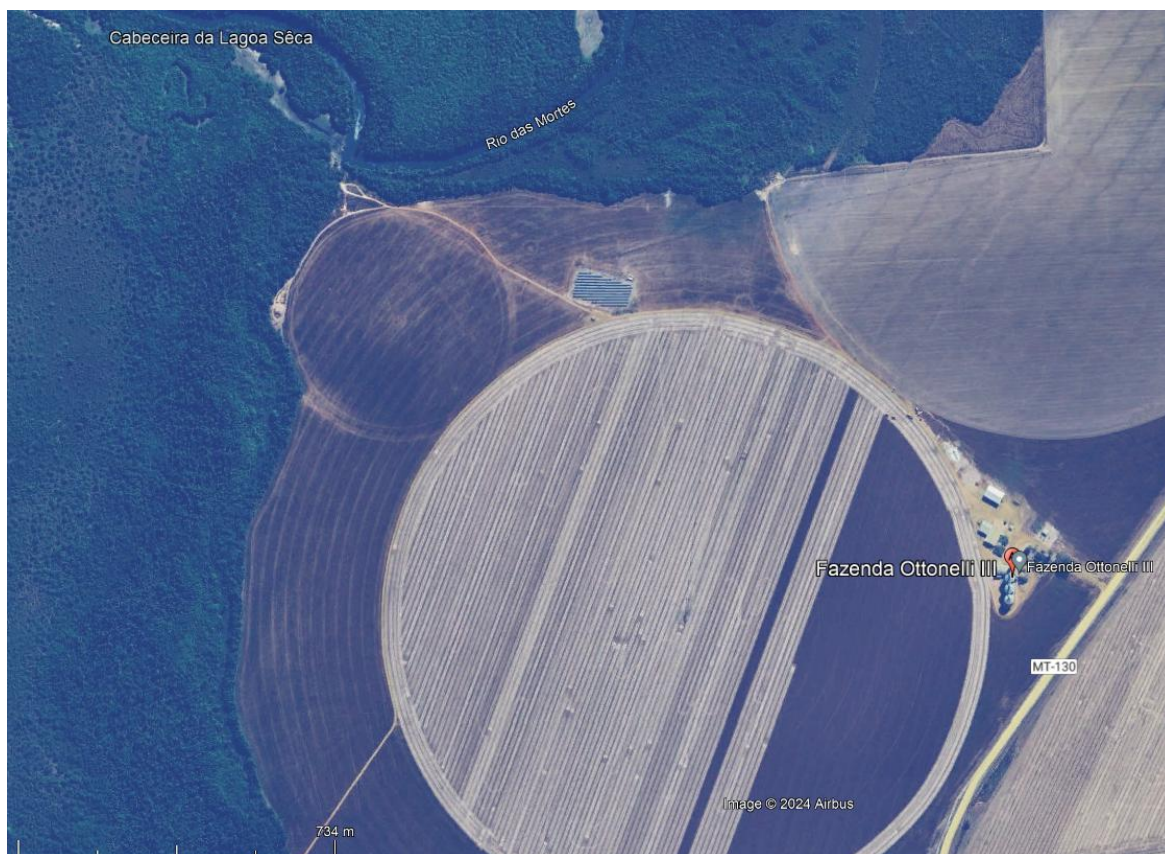


Figura 5.13 - Fazenda Ottonelli. Observa-se ao norte da figura o córrego da Lagoa Seca, inspecionado como potencial ponto de monitoramento.



Figura 5.14 - Avaliação do local de possível instalação de ponto de monitoramento.

Ponto 5 – Fazenda Santa Adriana – IBF Agro. O ponto fica a jusante de represa, o que dificulta seu uso como ponto de monitoramento fluvial (rio Sapé). Coordenadas: 15°22'14" S 54°09'07" W.

Ponto 6 – Fazenda Hilário Berskovic. Seguiu a busca de ponto para o monitoramento fluvial (também no rio Sapé). Há uma floresta ciliar densa. Realizou-se sobrevoo com drone (VANT). O ponto foi considerado em princípio pouco propício. Coordenadas ~15°24'36" S e 54°07'57" W.

5.1.3.2 Área do Rio Teles Pires

Ponto 7 – Fazenda Primavera (Prop. Valdo Peruzzi). Poços com vazões de até 340 m³/h. O rebaixamento chega a 70-80 m. Constituem quatro blocos de poços que abastecem reservatórios de regulação (Figura 5.15), configuração comum na região. Coordenadas: 15°19'53" S 54°13'11" W.



Figura 5.15 - Reservatório de regulação para abastecimento de pivots alimentado por cinco poços tubulares profundos. A vazão individual chega a 340 m³/h.

Ponto 8 – Comunidade do Barreiro - Fazenda Rio Manso. São quatro reservatórios com poços tubulares profundos de vazões de até 250 m³/h cada. O rebaixamento médio é de 30-32 m (NE = 8 m, ND = 40 m). A distância entre os poços é de cerca de 120 m. Há reservatórios com até 9 poços. A distância dos poços de observação – todos as fazendas da

região visitadas têm piezômetros de observação – nessa local é de 15 m, mas varia de 15 a 50 m em geral (Figura 5.16). configuração comum na região. Coordenadas: 15°19'53" S 54°13'11" W.



Figura 5.16 - (I) Vazão resultante dos poços tubulares profundos abastecendo o reservatório na Faz. Rio Manso. A vazão individual chega a 250 m³/h. (II) Detalhe do sensor e datalogger automático de nível d'água dos poços.

Ponto 9 – Fazenda Santo Antônio do Desejado (município de Ubatã). Nessa fazenda há um sistema automático de telemetria (Figura 5.17) dos dados dos poços. As vazões chegam a até 290 m³/h, com rebaixamento de cerca de 23 m (NE = 32 m de profundidade e ND = 55 m) no Poço 4. Os dois reservatórios visitados (Figura 5.18) têm dois e quatro poços, respectivamente. Como é comum nos poços da região, a distância entre os poços de bombeamento varia de 100 – 200 m aproximadamente. Os poços de observação estão a cerca de 40-50 m do poço de bombeamento. Coordenada do Reservatório 01: 13°18'09" S 55°02'49" W. Há um ponto potencial de monitoramento de água superficial no ribeirão Grande na mesma fazenda (coordenadas 13°20'18" S 55°03'09" W), conforme mostrado na Figura 5.19.



Figura 5.17 - Sistema de telemetria para envio de dados hidrogeológicos dos poços da Faz. Santo Antônio do Desejado.



Figura 5.18 - Vazão resultante do bombeio de poços tubulares abastecendo o reservatório 01 na Faz. Rio Santo Antônio do Desejado. A vazão individual chega a 290 m³/h, conforme a leitura do hidrômetro e estimativa na tubulação.



Figura 5.19 - (I) Ribeirão Grande na Fazenda Santo Antônio do Desejado. O ponto A mostra um dos reservatórios da propriedade e B o ponto de possível monitoramento. (II) Local do possível ponto de monitoramento em B.

Ponto 10 – Fazenda Zonta (Prop. Sadi Zonta). Nessa fazenda as vazões dos poços chegam a até 330 m³/h conforme a leitura, com a distância do poço de observação de cerca de 40 m. Um possível ponto de monitoramento no rio Verde não poderá ser utilizado pois há uma UHE a montante, em Lucas do Rio Verde (Figura 5.20).



Figura 5.20 - (I) Detalhe de Poço no Reservatório das captações subterrâneas na Fazenda Zonta. (II) Captação de águas do rio Verde na mesma propriedade.

5.1.4 Próximas atividades a serem desenvolvidas

As ações desenvolvidas no âmbito da Meta 5 continuarão com as seguintes atividades previstas para os próximos meses:

- Será dada continuidade ao levantamento de dados existentes sobre os aquíferos presentes na área de estudo, envolvendo pesquisa bibliográfica sobre trabalhos geológicos e hidrogeológicos realizados na região e caracterização dos aspectos fisiográficos locais.

- O acompanhamento dos serviços do CNARH para atualização da base de dados será executado assim que o acesso aos dados for reestabelecido.

- Coleta de dados de poços nas campanhas de campo previstas para o ano de 2024.

- Complementação do banco de dados que conterà, além das informações cartográficas em diferentes escalas, informações sobre a caracterização geológica e hidrogeológica, geomorfologia, vegetação e uso do solo e pedologia.

- Processamento dos dados e identificação das informações disponíveis sobre a região do estudo. Identificação das relações das unidades geológicas, e das unidades aquíferas e suas características hidrogeológicas. Identificação dos principais aquíferos explorados e os usos principais da água subterrânea na área de estudo. Identificação dos principais usos, volumes extraídos e demandas, para subsidiar o conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos na região.

- A depender da qualidade das informações coletadas nas bases de dados e em campo, pretende-se calcular as propriedades hidrogeológicas dos aquíferos explorados, que irão compor o banco de dados.

- Elaboração de um modelo conceitual de gestão dos recursos hídricos na região.

- Integração com os resultados das demais metas do estudo e refinamento dos resultados obtidos.

Ao final do projeto todas as informações coletadas irão constituir um relatório final e um banco de dados georreferenciado, a ser disponibilizado através dos arquivos digitais em formato a ser definido com os parceiros do projeto.

5.2 CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA E HIDROQUÍMICA DOS AQUÍFEROS - BACIA DO RIO DAS MORTES

5.2.1 Introdução

Neste relatório apresentam-se, após a descrição geológica da área de estudo, os dados levantados, tratados e analisados referentes à Atividade 5.2 – Caracterização hidrodinâmica e hidroquímica dos aquíferos existentes na bacia do Rio das Mortes.

O contexto geológico no qual o estado do Mato Grosso está inserido consiste em um arcabouço proveniente desde o período Pré-Cambriano até depósitos recentes, datados do Quaternário. Pode-se apontar crátons antigos, faixas de dobramentos e bacias sedimentares como eventos constituintes formadores do estado. Esse arcabouço irá influenciar a topografia, assim como a hidrologia e hidrogeologia local.

O estado do Mato Grosso tem grande parte do seu território ocupado por bacias sedimentares fanerozoicas, seguidas por rochas mesozoicas e cenozoicas. Para o processo de formação dessas bacias pode-se citar a extensão continental através de rifteamento, seguido pela paralisação do processo de modo brusco, não ocorrendo assim a etapa esperada seguinte, a formação de oceanos. Após essa interferência no processo de rifteamento, uma subsidência termal se estabeleceu em uma grande porção de área, gerando um ajuste isostático posterior. Desse modo e por meio desses processos, definiram-se as bacias intracratônicas do Parecis e Alto Xingu (CPRM-SGB, 2004a).

Ao sudeste do estado, há a Faixa de Dobramentos Paraguai, a qual foi formada por sedimentação marinha e processos vulcânicos que ocorreram no Neoproterozoico, seguido posteriormente por deformações tectônicas que ocorreram durante a orogênese Brasileira.

O Cráton Amazônico é predominantemente formado por rochas do Pré-Cambriano, com idades que variam do Arqueano ao Proterozoico. A estrutura do Cráton Amazônico em Mato Grosso é composta por uma base de rochas cristalinas e metamórficas altamente deformadas, que foram submetidas a múltiplos eventos tectônicos e metamórficos ao longo de bilhões de anos. A região é caracterizada por terrenos graníticos e gnáissicos, com intrusões de rochas ígneas. Tais unidades correspondem ao embasamento das bacias sedimentares fanerozoicas do estado.

O rio das Mortes, que nasce na Serra São Lourenço, em Cuiabá, é considerado o mais importante tributário da margem esquerda do rio Araguaia, com aproximadamente 55.500 km² de área de drenagem e um percurso de 890 km (MATA, 2000). Apresenta padrão sinuoso e transcorre ao longo da Planície do Bananal em direção paralela à do rio Araguaia

(AQUINO et al., 2009), onde desagua. A paisagem ao longo do Rio das Mortes é caracterizada por uma variedade de formas de relevo, incluindo planícies aluviais, vales e áreas de chapadas. Essas características geomorfológicas são resultado da interação entre a geologia local e os processos erosivos e deposicionais ao longo do tempo. Geomorfologicamente, a região é caracterizada pela presença de três sistemas, sendo um de dissecação e outros dois de aplanamento (CNEC, 2000). O modelado de suave dissecação distribui-se continuamente em áreas extensas e homogêneas.

O alto curso do Rio das Mortes está localizado na região de Primavera do Leste, no estado de Mato Grosso. A geologia da área é caracterizada por uma complexa interação entre rochas sedimentares, metassedimentares e cristalinas. As rochas do embasamento pré-cambriano, presentes na região, são compostas principalmente por granitos, gnaisses e migmatitos com idades que variam de 1,8 a 2,5 bilhões de anos. As rochas do embasamento foram formadas por processos tectônicos intensos, incluindo metamorfismo e intrusão magmática, visíveis pela variedade de estruturas geológicas, como foliação e bandamento, resultantes de processos de deformação.

Assim, nas áreas mais elevadas ao redor do rio das Mortes, como a serra de São Vicente, encontram-se rochas cristalinas do embasamento pré-cambriano, incluindo gnaisses, granitos e migmatitos. A estratigrafia da região inclui várias unidades geológicas, com predomínio de unidades litoestratigráficas sedimentares do Fanerozoico, com algumas porções de afloramento do embasamento e intrusivas do Pré-Cambriano. A geologia da área de estudo é também composta por rochas de idade neoproterozoica a cenozoica, com destaque para as coberturas sedimentares cenozoicas e rochas da Bacia do Paraná (Ordoviciano – Cretáceo), havendo ainda a presença de rochas metassedimentares do Grupo Cuiabá e outras unidades neoproterozoicas (Figura 5.21).

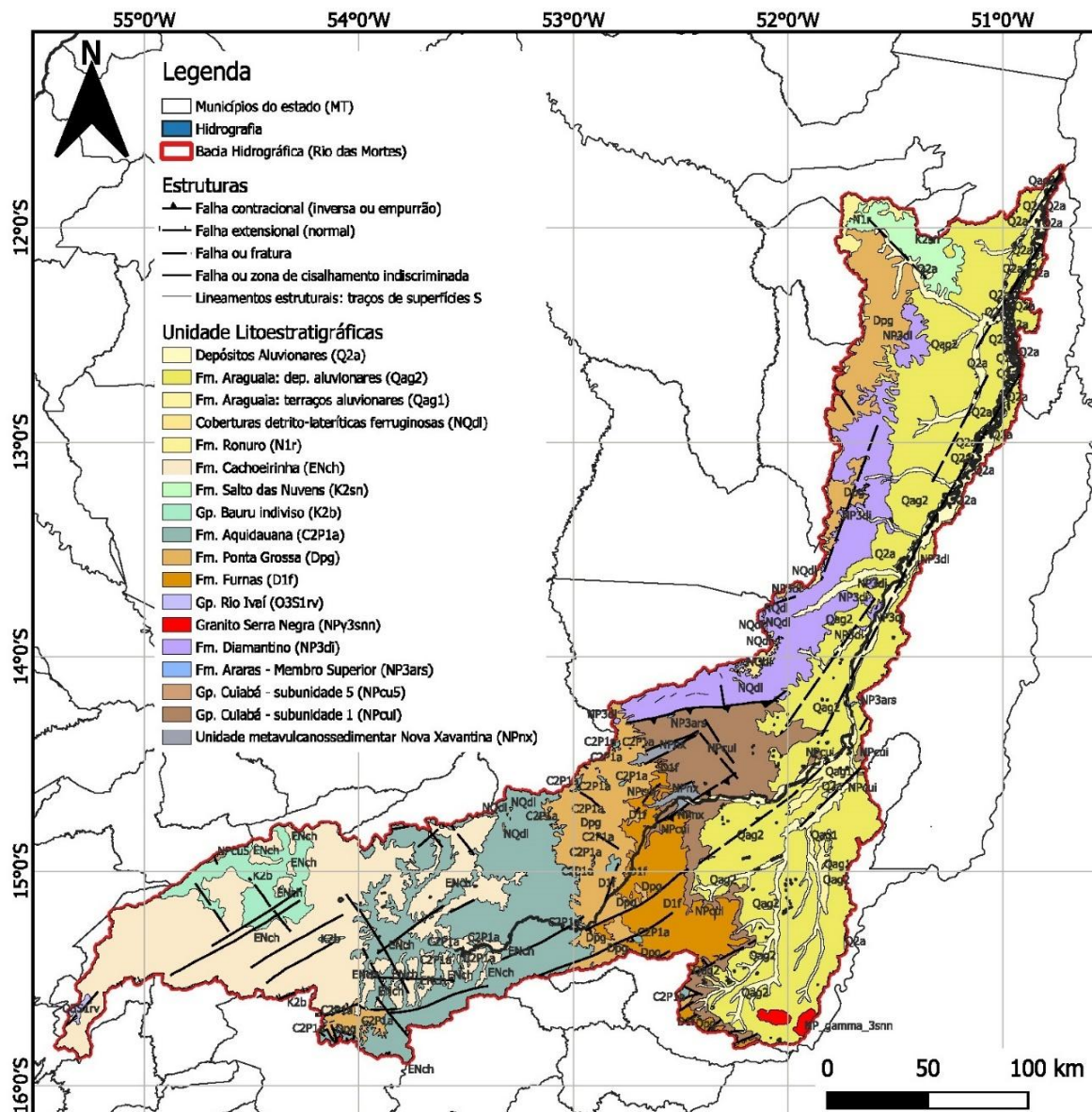


Figura 5.21 - Mapa geológico da bacia hidrográfica do Rio das Mortes.

5.2.2 Aspectos Geológicos

A seguir, apresentam-se informações sobre aspectos geológicos gerais da região do estudo, que considera as áreas dos municípios localizados na bacia hidrográfica do Rio das Mortes, mostrada no mapa da Figura 5.21, e as que compõem a extensão considerada para a realização do estudo, na Figura 5.22.

Assim, ocorrem na área de estudo rochas de idade neoproterozoica (Grupo Cuiabá, Granito Serra Negra e Unidade Metavulcanossedimentar Nova Xavantina, Formação Diamantino) a cenozoica, com destaque para as Coberturas Sedimentares Cenozoicas (depósitos aluvionares e sedimentos da Formação Araguaia) e rochas da Bacia do Paraná (Ordoviciano – Cretáceo, formações Furnas, Ponta Grossa, Aquidauana e Marília). No

extremo Norte, afloram pequenas porções de rochas das formações Ronuro e Salto das Nuvens, pertencentes à Bacia do Parecis. O Grupo Rio Ivaí está restrito a uma muito reduzida porção no extremo sudoeste das áreas, nas cabeceiras do alto rio das Mortes.

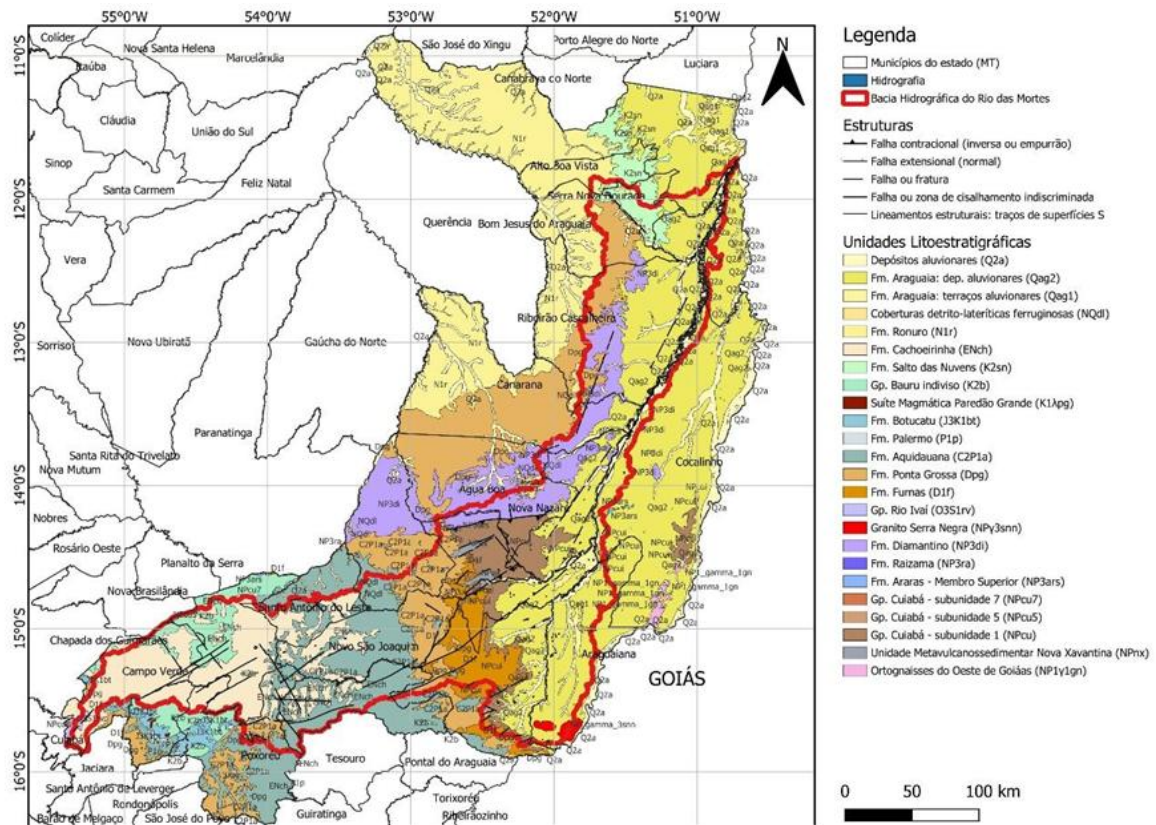


Figura 5.22 - Mapa geológico da área considerada no estudo. A faixa mais abrangente apresenta a geologia dos municípios de interesse e a linha vermelha os limites da bacia hidrográfica do Rio das Mortes.

Os mapas geológicos da Figura 5.21 e Figura 5.22 apresentam uma série de estruturas geológicas de direção NE-SW, que são importantes para a compreensão do comportamento hidrogeológico de algumas unidades litoestratigráficas, em especial as unidades Formação Marília, Aquidauana, Furnas e Ponta Grossa, como se descreverá posteriormente.

5.2.2.1 Características Litológicas

A seguir são brevemente apresentadas as unidades geológicas existentes na área de estudo, conforme a descrição do CPRM-SGB (2004a), indicada na Figura 5.22.

A unidade Depósitos Aluvionares (Qag1) e a Formação Araguaia (Qag2) constituem depósitos caracterizados por sedimentos inconsolidados, predominantemente arenosos, representados por areias com níveis de cascalhos e lentes de material silto-argiloso. Ocorrem

associados às calhas dos cursos d'água de maior porte, encaixados tanto no embasamento cristalino como nos depósitos do Terciário, compreendendo basicamente sedimentos aluviais. O padrão de sedimentação fluvial holocênico dessas drenagens em geral é caracterizado por depósitos de acreção lateral de margem de canal e de carga de fundo, que incluem barras em pontal, barras de meio de canal e depósitos de carga de fundo. Estes sedimentos distribuem-se também nas planícies de inundação dos rios onde ocorre o ambiente lacustre, representado por lagos residuais, formados pela migração das cristas de acreção lateral das barras, além de lagos represados. A Formação Araguaia é composta por materiais pouco consolidados, mal selecionados, composta, na base, por conglomerado recoberto por sedimentos argilosiltosos, silto-argiloso e arenitos, parcialmente laterizados.

As Coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas (NQdl) são compostas por sedimentos detrito-lateríticos que ocorrem nas cabeceiras do alto rio das Mortes, numa extensa área aplainada, com interflúvios tabulares e associados a pequenas elevações dominadas pelo horizonte concrecionário do perfil laterítico. As superfícies aplainadas são constituídas predominantemente por solos argilo-arenosos de tonalidade avermelhada, ricos em concreções ferruginosas, além de níveis de argilas coloridas e areias inconsolidadas. Os lateritos imaturos, quando em perfis completos e preservados, modelam grande parte do relevo atual. Apresentam a sua parte superior (horizonte colunar/concrecionário) aflorante, configurando a parte mais elevada do relevo. Em certas áreas, onde a parte superior está mais espessa e endurecida e houve maior entalhamento da drenagem, observa-se a formação de um relevo tendendo a platôs. Nas encostas aflora a parte mediana dos perfis (horizonte mosqueado), podendo estar parcialmente recoberto por colúvios/alúvios arenoargilosos. Esses depósitos colúvio/aluviais, na sua base, são constituídos por seixos provenientes dos próprios lateritos concrecionários, formando corpos do tipo stone layer e no topo por material argiloso proveniente do horizonte mosqueado. Este é encontrado nas partes mais baixas do relevo atual, podendo estar coberto por solos amarelos e areias brancas, além de colúvios e alúvios. Constituem aquíferos predominantemente livres, mas com baixa produtividade e, portanto, não são de interesse aos objetivos do estudo. Compõem zonas de recarga para os aquíferos subjacentes (CPRM-SGB, 2004a).

A Formação Cachoeirinha (ENch) foi identificada e caracterizada por Oliveira e Muhlmann (1965, apud CPRM-SGB, 2016) a leste de São Vicente, Mato Grosso, sob a denominação de Unidade “C”. Gonçalves e Schneider (1970, apud CPRM-SGB, 2016) descrevem que sua seção tipo situa-se no Distrito de Cachoeirinha, cerca de 30 km a norte de Poxoréu, onde ocorrem arenitos amarelados, médio a grossos, argilosos e com níveis de

conglomerados, além de argilito cinza-esverdeado com grãos de areia esparsos e estratificação incipiente.

Estes sedimentos inconsolidados depositaram-se discordantemente sobre todas as formações subjacentes. Sua gênese estaria relacionada a processos gravitacionais, como fluxo de massa, retraindo antigos depósitos aluviais, haja vista conterem seixos arredondados imersos em matriz lamítica, não compatíveis com um único ciclo sedimentar. Além do mais, a corroborar com esta hipótese, ressalte-se que afloram nas proximidades de zonas de falhas de caráter normal e/ou direcional, que inclusive os afetam (CPRM-SGB, 2016).

O Grupo Bauru (K2b), embora permaneça na categoria de grupo, teve seu entendimento, conforme descrito em CPRM-SGB (2016) substancialmente modificado pelos trabalhos de Fernandes (1992) Fernandes e Coimbra (1994) Fernandes (1998) e Fernandes e Coimbra (2000), com a retirada da Formação Caiuá e a inclusão da Formação Santo Anastácio. Assim, o Grupo Bauru permanece composto pelas formações Uberaba e Marília (CPRM-SGB, 2016). Na região do alto rio das Mortes ocorrem rochas pertencentes à Formação Marília, conforme se mostra na Figura 5.23. A Formação Marília é composta por conglomerado polimítico cinza, esbranquiçado e amarelado, subordinadamente avermelhado, com seixos arredondados de até 20 cm de quartzo (predominante), basalto, arenito, sillexito, sillexito oolítico, com matriz arenoargilosa localmente carbonática com estratificação plano-paralela, cruzada acanalada e tangencial. Ocorre ainda arenito rosa, com granulometria média, grãos de quartzo subangulosos a subarredondados, bem selecionados, com estratificação plano-paralela e níveis de conglomerado (CPRM-SGB, 2016).

Na Figura 5.23 pode-se observar a ocorrência de manchas de afloramento da Formação Marília no vale do Rio das Mortes, subjacentes à camada de Cobertura Detrito Laterítica (no mapa denominada por N1dl), que ocorre sobrejacente à Formação Marília. Aflora nas porções oeste-noroeste, norte, centro-sul e sudeste da Folha Dom Aquino, sobreposta em discordância tectônica (falhas extensionais normais) e erosiva aos sedimentos das Formações Ponta Grossa, Botucatu e Aquidauana e sotoposta em discordância irregular erosiva com os sedimentos das Coberturas Detrito Lateríticas ferruginosas.

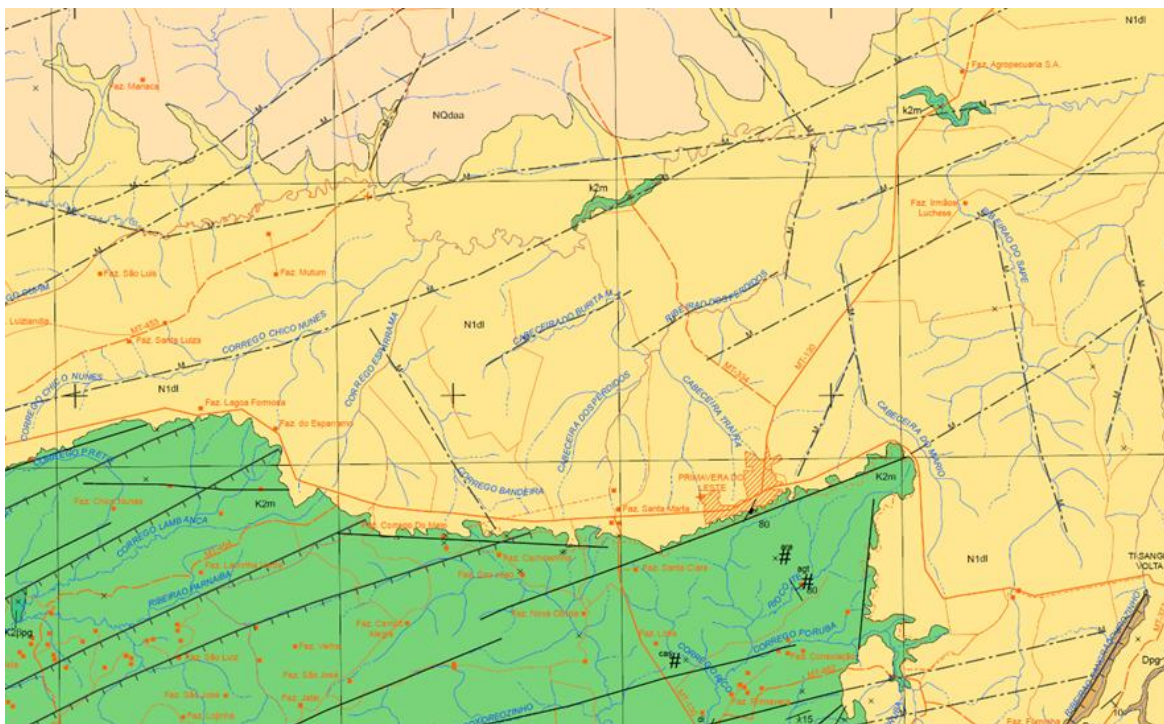


Figura 5.23 - Porção do mapa geológico da Folha Dom Aquino (SD-21-Z-D), do Programa Geologia do Brasil – Carta Geológica – Escala 1:250.000, do Serviço Geológico do Brasil (CPRM-SGB, 2016).

A Formação Aquidauana (C2P1a), pertencente ao Grupo Itararé, foi definida por Lisboa (1909, apud CPRM-SGB, 2016) e tem sua seção tipo no vale do Rio Aquidauana, Estado de Mato Grosso do Sul, no trecho cortado pela Estrada de Ferro Noroeste do Brasil. Em Mato Grosso aflora nas regiões leste e sudeste. Gonçalves e Scheneider (1970, apud CPRM-SGB, 2016), identificaram três conjuntos litológicos diferentes, não mapeáveis na escala de trabalho usada pelos autores. No nível inferior predominam arenitos vermelho-arroxeados, médios a grossos, com estratificação espessa a maciça, subordinadamente diamictitos, clásticos finos e arenito branco, grosso conglomerático e delgado conglomerado basal. No intervalo médio desenvolvem-se siltitos, folhelhos e arenitos finos, vermelho-arroxeados, finamente estratificados plano-paralelamente, além de diamictitos vermelhos de matriz argilosa com grãos e grânulos esparsos. Localmente, ocorrem folhelhos cinza a cinza esverdeados com microfósseis. No intervalo superior predominam arenitos. No topo registra-se um banco de cerca de 30 m de espessura de um arenito vermelho tijolo, médio, regularmente classificado, com estratificação cruzada subaquosa (CPRM-SGB, 2016). Schneider et al. (1974) admitem ainda uma espessura máxima total de 799 m, definida no poço 2-AG-1-MT. O ambiente de deposição, segundo Schneider et al. (1974) é continental, constituído por depósitos fluviais e lacustres. Sua associação lateral, em direção ao sul da bacia, com depósitos glaciais das demais unidades do Grupo Itararé, sugere a presença de

área glacial próxima à área de sedimentação desta unidade. Daemon e Quadros (1969, apud CPRM-SGB, 2016) estabelecem uma idade carbonífera superior com base em dados palinológicos. Na folha geológica Dom Aquino sobrepõe-se em discordância tectônica (falhas extensionais normais) e discordância erosiva aos sedimentos da Formação Ponta Grossa, e sotopõe-se em discordância tectônica (falhas extensionais normais) e discordância erosiva aos sedimentos da Formação Marília, e ainda em discordância irregular erosiva aos sedimentos das Coberturas Detrito-Lateríticas ferruginosas (CPRM-SGB, 2016).

A Formação Ponta Grossa (Dpg) foi definida por Oliveira (1912, apud CPRM-SGB, 2016) tendo como área tipo os arredores de Ponta Grossa, Estado do Paraná. Constituída por folhelhos marinhos de cor cinza e intercalações de arenitos finos depositados sob a ação de ondas em uma plataforma rasa, a Formação Ponta Grossa é interpretada por Assine et al. (1994) como o resultado do afogamento dos depósitos litorâneos da Formação Furnas por um evento transgressivo de idade devoniana média. Assine (1999, apud CPRM-SGB, 2016) descreve três variações faciológicas, denominadas como unidades superior, média e inferior, representadas por uma seção intermediária arenosa (Membro Tibagi) que separa uma seção predominantemente pelítica basal (Membro Jaguariaíva) de uma pelítica superior (Membro São Domingos). Este evento progradacional teve como causa reativações tectônicas nas áreas-fonte situadas a leste e nordeste, proporcionando o avanço de sistemas deltaicos. No Estado de Mato Grosso foi mapeada nas regiões centro-sul, leste e nordeste, sendo caracterizada por uma sequência de folhelhos e siltitos de cores variando de cinza a cinza-esverdeada na base e apresentando para o topo intercalações de arenitos finos a muito finos, micáceos, feldspáticos, finamente estratificados, de cor branca, marrom ou esverdeada. São frequentes bioturbações e níveis finos de conglomerado na base. Em geral são rochas com boa físsilidade, com níveis fossilíferos nos folhelhos.

Nas regiões centro-sul e leste, a Formação Ponta Grossa sobrepõe-se à Formação Furnas por contato gradual e concordante e é sobreposta pela Formação Aquidauana por discordância erosiva e também pela Cobertura Detrito-Laterítica e por aluviões recentes. Por vezes o contato, tanto com a Formação Furnas como com a Formação Aquidauana, é por falha normal. É considerada de idade Devoniana por seu conteúdo fossilífero (macro e microscópico). A potencialidade mineral restringe-se à utilização dos argilitos e siltitos na fabricação de cerâmica. Não compõem aquíferos de importância ao estudo.

A Formação Furnas (D1f) tem sua área-tipo no escarpamento Serrinha, próximo à estação ferroviária de Serrinha, Estado do Paraná. Conforme Assine et al. (1994) sua maior espessura em subsuperfície é de 337 m (Poço 2-TL-1-MS). Em sua porção inferior

predominam arenitos feldspáticos grossos, texturalmente imaturos, ocorrendo ainda, de forma descontínua, arenitos conglomeráticos e conglomerados quartzosos. Na sucessão de camadas em direção ao topo da unidade, os arenitos apresentam-se menos feldspáticos e de granulação mais fina, interdigitando-se com argilitos. O ambiente interpretado é fluvial a transicional (deltas de rios entrelaçados) com os depósitos sedimentares desenvolvendo-se em onlap costeiro de oeste para leste, em discordância sobre as rochas do embasamento e por superfície erosiva regional sobre as rochas do Grupo Rio Ivaí, em um padrão de empilhamento retrogradacional, caracterizando um evento transgressivo. O contato superior com a Formação Ponta Grossa é transicional e o seu registro fóssil mais abundante são icnofósseis. Na porção superior desta unidade foram descritos restos vegetais de distribuição desde o Siluriano Superior até o Devoniano Médio. Todavia, a transição entre os depósitos litorâneos de topo, com os de plataforma rasa da Formação Ponta Grossa (Emsiano - Devoniano Inferior) faz com que os autores confirmem à Formação Furnas uma idade eodevoniana.

No Estado de Mato Grosso a Formação Furnas ocorre ao longo das bordas norte e noroeste da Bacia do Paraná. A unidade basal do Grupo Paraná é descrita, em seção, na região de Barra do Garças, com 195 m de espessura aflorante, estando constituída predominantemente por arenitos grossos a muito grossos com estratificação cruzada planar, com ocorrência subordinada de arenitos grossos a muito grossos com estratificação cruzada acanalada e arenitos finos a médios com estratificação cruzada hummocky (ASSINE, 1996). Na região da borda noroeste da bacia, desde as cercanias da Chapada dos Guimarães até o limite sul do Estado, afloram camadas de arenitos médios a grossos, com estratificação cruzada, arenitos finos com laminação cruzada cavalgante e arenitos finos com estratificação cruzada hummocky, que nas proximidades da cidade de Jaciara compõem uma segunda cuesta na escarpa da bacia, após a faixa de afloramento do Grupo Rio Ivaí. Seu contato inferior é uma superfície erosiva sobre unidades mais antigas e o superior é transicional para os folhelhos da Formação Ponta Grossa.

O Grupo Rio Ivaí (O3S1rv), de idade Neo-ordoviciano a Eossiluriano, é composto por três formações: Alto Garças, Iapó e Vila Maria (ASSINE, 1996). Todavia as informações cartográficas disponíveis para o Estado de Mato Grosso não permitem sua individualização, sendo apresentada de forma indivisa. Na área da bacia do Alto Rio das Mortes ocorre em uma área muito restrita, nas proximidades do divisor de águas no limite sudoeste da bacia. É composta por conglomerados e arenitos quartzosos, finos a médios, por vezes grossos e

conglomeráticos com grânulos e seixos de quartzo, maciços ou com estratificação cruzada tangencial, intercalando camadas pouco espessas de pelitos de cor arroxeada por alteração.

Estes arenitos e conglomerados são relacionados por Assine (1996) à Formação Alto Garças e podem atingir 40 m de espessura (Moreira & Borghi, 1999, apud CPRM-SGB, 2016). Assine (1996) interpreta o registro sedimentar desta unidade como constituído por depósitos de deltas entrelaçados seguidos por depósitos marinhos plataformais, sucedendo-se em um padrão de empilhamento retrogradacional. Não compõem aquíferos de importância ao estudo.

As unidades neoproterozoicas que ocorrem na bacia do Alto Rio das Mortes, não constituem aquíferos de interesse ao estudo, mas encontram-se descritas a seguir. O Grupo Cuiabá (NPcui) constitui uma sequência de metassedimentos dobrados que integra a unidade tectônica denominada de Faixa Paraguai, cujo desenvolvimento está relacionado ao ciclo Pan-Africano/Brasiliano (1.000-500Ma.). As primeiras referências sobre essas rochas devem-se a Evans (1894) que denominou de “Cuiabá Slates” as ardósias com clivagens e deformações bem acentuadas aflorantes no Rio Paraguai, próximo a São Luiz de Cáceres (Vila Maria) em direção norte-nordeste, a leste de Diamantino e oeste das águas superiores do rio Cuiabá, Estado de Mato Grosso. Compreendem metadiamictitos, metaquartzo grauvas miloníticas e quartzitos (CPRM-SGB, 2016). São acinzentados, muito fraturados, mal selecionados, alterados pelo intemperismo, com fragmentos de quartzo e de rocha de natureza diversa orientados, subarredondados e subangulosos, milimétricos a centimétricos, com foliação bem desenvolvida.

A Unidade Metavulcanossedimentar Nova Xavantina (NPnx) foi desmembrada do Grupo Cuiabá, individualizada e nominada por Pinho (1990) como Sequência Metavulcanossedimentar Nova Xavantina, na localidade conhecida como Garimpo do Araés, à margem esquerda do rio das Mortes, cerca de 25 km a oeste da cidade de Nova Xavantina-MT. Situa-se no extremo leste da Faixa Paraguai, sotoposta ao Grupo Cuiabá, caracterizando uma fase embrionária de abertura de fundo oceânico na Faixa Paraguai. Martinelli et al. (1997) descreveram nessa região formações ferríferas bandadas e calcofilitos, associados a lentes de vulcânicas félsicas, intermediárias e máfias (basaltos magnesianos, metatufos máficos, dacitos entre outros) transformadas em verdadeiros xistos verdes, além de filitos grafitosos, metacherts ferruginosos, metacherts quartzosos, quartzo sericita filitos, metargilitos, metassiltitos e quartzitos.

Martinelli e Batista (2003) renomearam a Sequência Metavulcanossedimentar Nova Xavantina definida por Pinho (1990) como Sequência Metavulcanossedimentar dos Araés,

constituída, da base para o topo, por três associações litológicas: Associação Metavulcânica (unidade inferior – metabasalto e metatufo; e unidade superior – xistos, metandesito e lapilitufo) Associação Química (formações ferríferas bandadas, filitos carbonáticos e metacherts) e Associação Clástica (metassiltitos, metargilitos e quartzitos).

A Formação Diamantino é formada por arenitos arcóseos. Na porção basal contém diversas intercalações de camadas de siltitos e folhelhos micáceos, com espessuras variáveis, indicando uma modificação gradual das condições ambientais marinhas para continentais. Os litotipos são bastante homogêneos reunindo arenitos finos arcoseanos, de cor marrom-chocolate, micáceos e com intercalações de siltitos também de cor marrom-chocolate e micáceos (CNEC, 2000).

5.2.2.2 Aspectos Estruturais

A Nos sedimentos Paleo-mesozoicos e Cretácicos da Bacia do Paraná instalaram-se feições estruturais representadas por falhas extensionais normais orientadas preferencialmente segundo as direções NE-SW (dominante) e NW-SE, conformando extensos lineamentos paralelos (CPRM-SGB, 2016). São falhas de caráter rúptil, geradas sob regime distensivo, provavelmente oriundas de reativação de falhas preexistentes, durante o Cretáceo. As falhas de direção NW-SE são mais jovens, uma vez que truncam as falhas de direção NE-SW. Na Figura 5.24 é apresentado o mapa de elementos estruturais (CPRM-SGB, 2016).

O sistema de fraturas de direção NE-SW enquadra-se em uma extensa zona de falhamentos definida por Schobbenhaus Filho et al. (1975, apud CPRM-SGB, 2016) como Lineamento Transbrasiliiano. Um exemplo desse sistema encontra-se na região a noroeste da cidade de Rondonópolis e na cidade de Poxoréu. Na região a noroeste da cidade de Rondonópolis tem-se a denominada Falha da Libanesa, com direção N60°E, que baliza o contato entre os sedimentos das Formações Furnas e Ponta Grossa, onde os sedimentos desta última estão rebaixados, fazendo com que um bloco encontre-se basculhado em relação ao outro, conformando blocos escalonados e escarpas de falhas com os sedimentos da Formação Furnas, mais elevados topograficamente em relação aos sedimentos da Formação Ponta Grossa, desenvolvendo inclusive horsts e grábens (CPRM-SGB, 2016).

Na cidade de Poxoréu encontra-se a Falha de Poxoréu, com direção N40-50°E, no contato entre os sedimentos das Formações Aquidauana e Marília, onde os sedimentos desta última foram rebaixados. Ao longo desses falhamentos desenvolveram-se sistemas de

fraturamentos e intensos processos de silicificação. Esse sistema de falhamento, inclusive, controla estruturalmente as fontes naturais de águas mineral e termal da região (CPRM-SGB, 2016).

No mapeamento realizado pela CPRM-SGB (2016) para as folhas Dom Aquino e Rondonópolis foram cadastrados diversos elementos estruturais, mostrados na Figura 5.24, que também são observados a leste dessas folhas, em porções do médio Rio das Mortes. Estes lineamentos são de interesse ao estudo porque podem compor zonas com maior capacidade de produção de água.

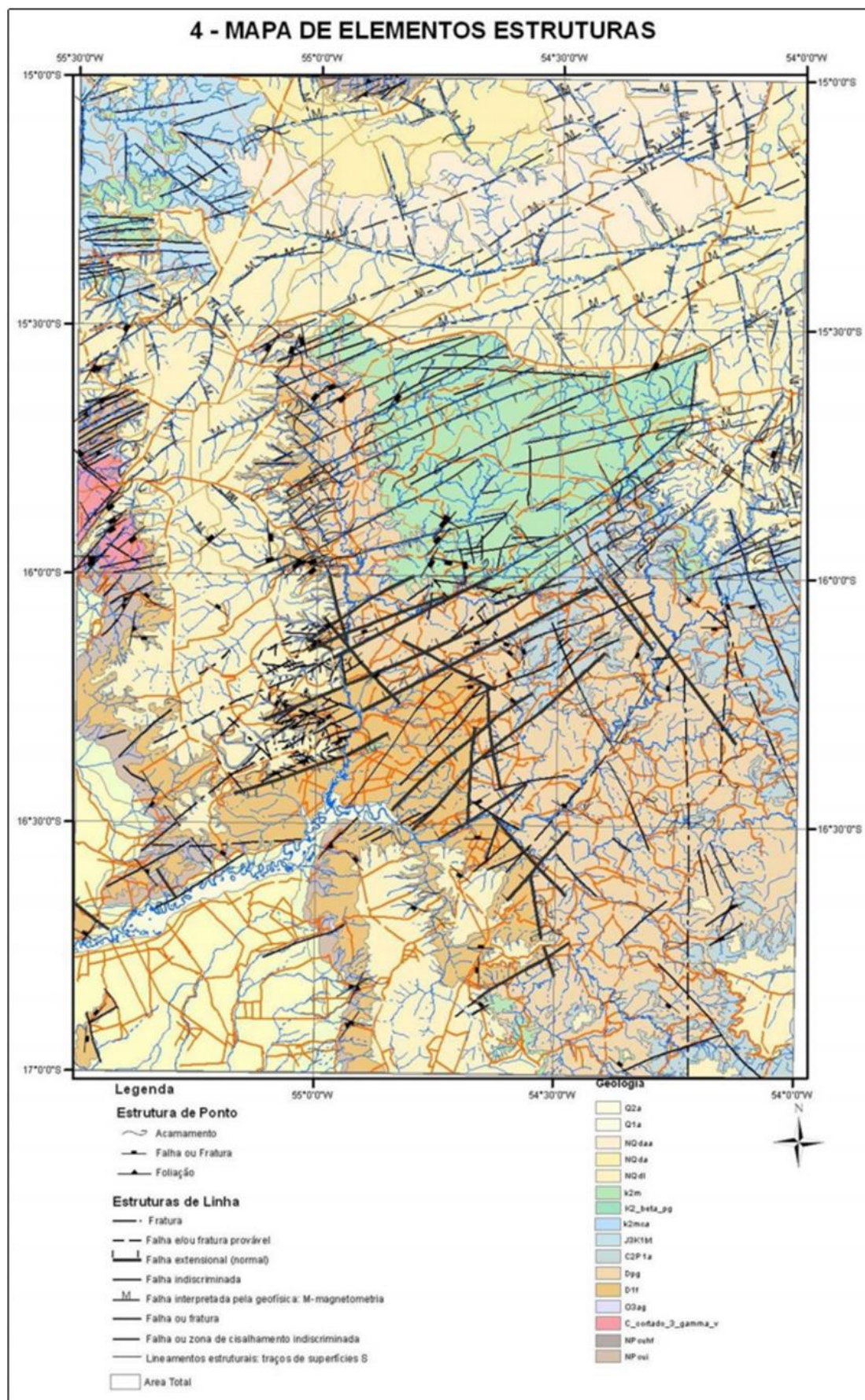


Figura 5.24 - Mapa de elementos estruturais, folhas Dom Aquino e Rondonópolis (CPRM-SGB, 2016).

5.2.2.3 Estratigrafia e Domínios Tectono-Sedimentares

A Bacia do Paraná, surgida no Eon Fanerozoico, é caracterizada como uma ampla bacia sedimentar flexural intracratônica, situada na porção centro-leste da América do Sul, com área de abrangência, principalmente no centro-sul do Brasil, desde o Mato Grosso até o Rio Grande do Sul, prosseguindo para o nordeste da Argentina, ocorrendo também no leste do Paraguai e norte do Uruguai (CPRM-SGB, 2016). É uma depressão ovalada, com o eixo maior no sentido quase norte-sul, e possui uma área de cerca de 1,7 milhão de km² e espessura máxima de 8000 m (Figura 5.25). Desenvolveu-se durante as eras Paleozoica e Mesozoica, e seu registro sedimentar apresenta rochas formadas do Período Ordoviciano ao Cretáceo, abrangendo um intervalo de tempo entre 460 e 65 milhões de anos.

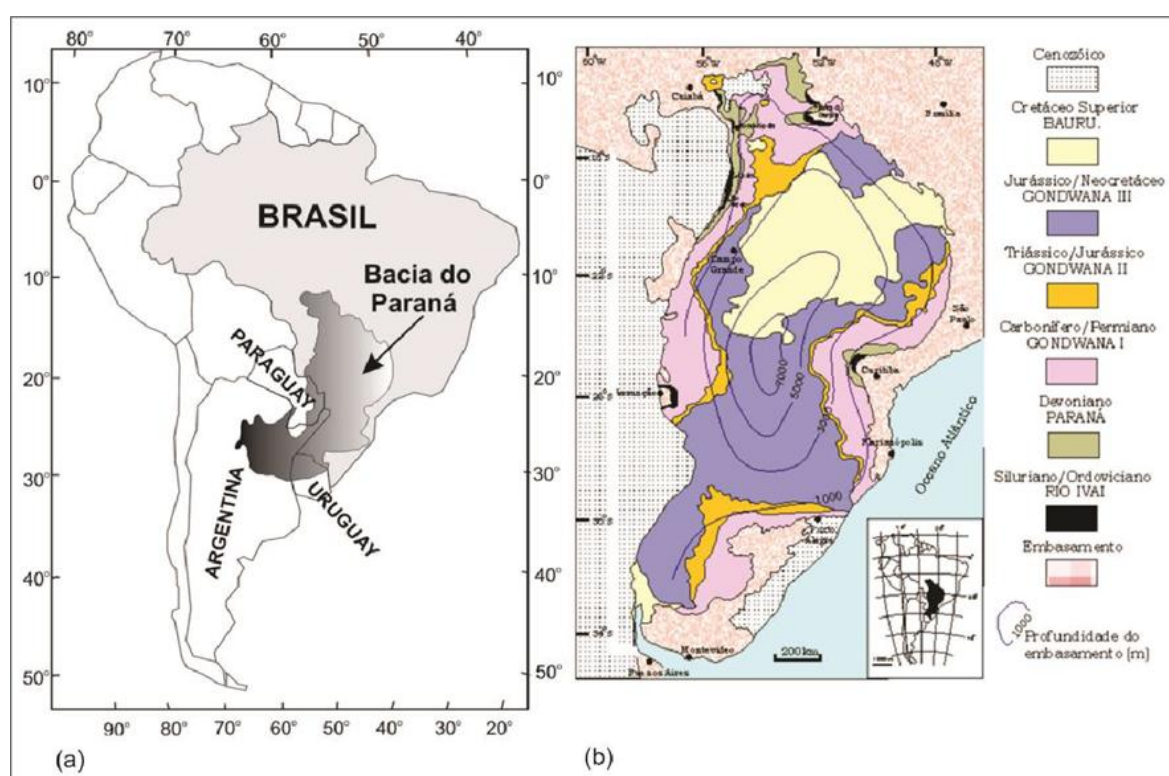


Figura 5.25 - Em a) Localização da Bacia do Paraná na América do Sul abrangendo Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai em Melfi et al. (1988, adaptado de Zalán, 1986, apud CPRM-SGB, 2016); em b) Mapa geológico desta bacia segundo Milani e Zalán (1999, apud CPRM-SGB, 2016).

Segundo Zalán et al. (1988, 1990, apud CPRM-SGB, 2016), o registro desta sucessão sedimentar-magmática atesta a superposição de, no mínimo, três diferentes bacias com geometrias e limites variados e áreas de sedimentação independentes, separadas por profundas discordâncias:

✓ A primeira bacia é representada pelas sequências Siluriana e Devoniana, depositadas em golfo aberto para o paleo-oceano Pacífico (Panthalassa), a oeste;

✓ A segunda acolheu a sequência permocarbonífera, típica de sinéclise intracontinental; e

✓ A terceira corresponderia à fase de erupção das lavas de topo, denominada bacia Serra Geral, compreendendo os arenitos eólicos da Formação Botucatu e os derrames basálticos da Formação Serra Geral; e finalmente a Bacia Bauru, intracratônica.

A deposição deste pacote sedimentar é marcada por discordâncias e uma série de transgressões e regressões marinhas com os tratos dos sistemas deposicionais se condicionando a atuação destes processos (OLIVEIRA, 2006). Os três primeiros estágios deposicionais correspondem a ciclos sedimentares transgressivo-regressivos do Paleozoico ao passo que as demais rochas sedimentares continentais do Mesozoico culminam com rochas ígneas, representativas de lavas continentais Eo-Cretáceas da Formação Serra Geral (Figura 5.26). Na área da bacia do Alto Rio das Mortes ocorrem apenas rochas das unidades Furnas, Ponta Grossa, Aquidauana e Bauru, no caso deste último representada pela Formação Marília.

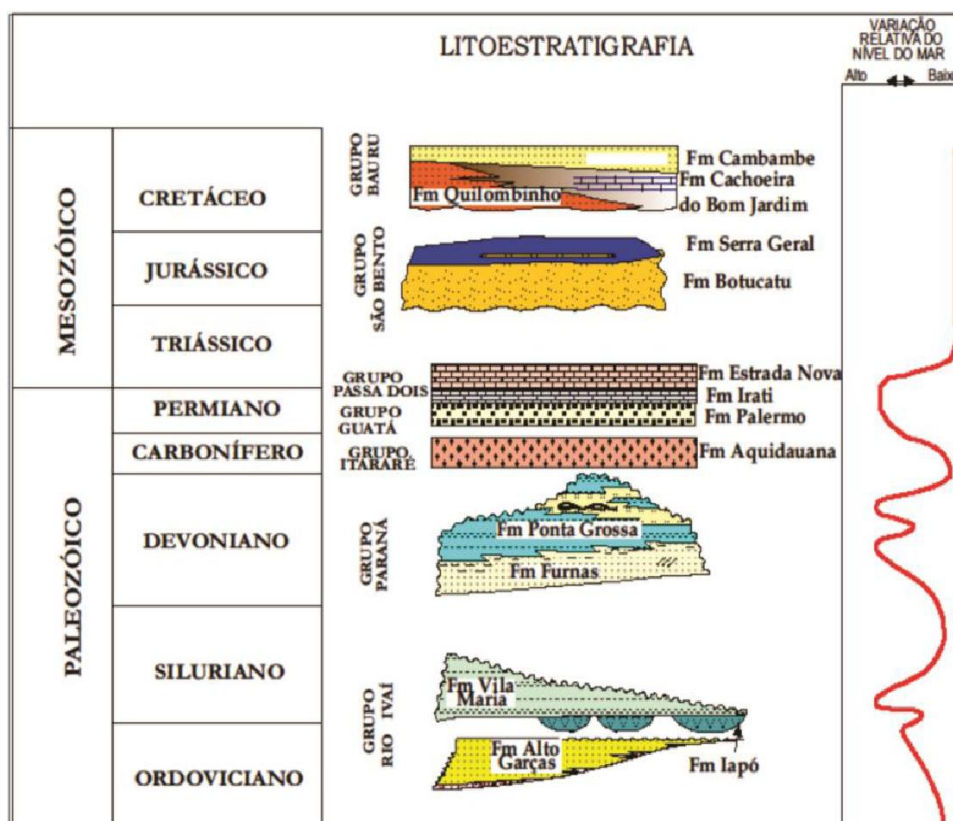


Figura 5.26 - Pannel estratigráfico da Bacia do Paraná no estado de Mato Grosso, adaptado de Oliveira (2006, apud CPRM-SGB, 2016).

No Alto Rio das Mortes ocorre parte da Supersequência Ordovício-Siluriana Rio Ivaí, representada pela Formação Alto Garças (O3S1ag), que Assine et al. (1994) descrevem como essencialmente arenosa, podendo incluir um conglomerado basal quartzoso, que grada para arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada, com predomínio de arenitos quartzosos finos a grossos, pouco feldspáticos, que na sua porção superior podem apresentar-se siltoargilosos. Nas porções do médio e baixo Rio das Mortes estes sedimentos da Bacia do Paraná cobrem em discordância erosiva e angular as rochas do Grupo Cuiabá e da Unidade Metavulcanossedimentar Nova Xavantina.

Recobrando as rochas das unidades anteriormente descritas ocorrem sedimentos depósitos aluvionares quaternários (Q2a e Qag1) e da Formação Araguaia (Qag2) e sedimentos de Coberturas Detrito Lateríticas (arenosas e ferruginosas - NQdl) e da Formação Cachoeirinha (Ench).

5.2.2.4 Espessuras

A espessura da Formação Ronuro (N1r), que é um pacote contínuo, de extensão regional, segundo a CPRM-SGB (2016), pode atingir até 60 m.

Pena e Figueiredo (1972, apud CPRM-SGB, 2016) citam espessuras da Formação Cachoeirinha (ENch) entre 20 e 30 m, podendo atingir até 70 m.

De acordo com Lussi (2013), na cidade de Sinop, a formação Salto das Nuvens tem espessura entre 59 e 350 m e profundidade de topo entre 50 e 129 m; enquanto a Formação Utariti tem espessuras entre 45 e 110 m, com profundidade de topo, a partir da superfície, entre 1,6 e 8,3 m. Cutrim et al. (2021), em estudo mais recente, afirmam que a espessura do Aquífero Salto das Nuvens varia entre 80 e 550 m.

A Formação Marília, na bacia do rio das Mortes, apresenta espessuras de até cerca de 370 m, de acordo com a CPRM-SGB (2016), conforme se mostra seção geológica da Figura 5.27.



Figura 5.27 - Perfil geológico W-E nas proximidades de Dom Aquino, podendo-se observar as espessuras estimadas para as formações Marília, Ponta Grossa e Furnas na região (CPRM-SGB, 2016).

De acordo com a CPRM-SGB (2016) a espessura da Formação Aquidauana é estimada em cerca de 300 m. Na seção geológica mostrada na Figura 5.27 a espessura é de cerca de 180 m. Para a CNEC Engenharia (2000), a Formação Ponta Grossa (Dpg) atinge espessura máxima de 467 m em um poço perfurado pela Petrobrás em Alto Garças. Já a Formação Furnas, nesse mesmo poço, apresentou espessuras de 331 m. Na área das folhas Dom Aquino e Rondonópolis, a CPRM-SGB (2016) definiu, para a Formação Furnas (D1f) uma espessura de cerca de 406 m com base em dados de um poço tubular profundo perfurado na cidade de Rondonópolis. A espessura da Formação Alto Garças o Grupo Rio Ivaí atinge valores de até 300 m. Não foram encontrados dados sobre a espessura da Formação Diamantino.

5.2.3 Aspectos Hidrodinâmicos

Os sistemas aquíferos existentes no âmbito da área de estudo (Figura 5.28) incluem aquíferos sedimentares recentes (Formação Araguaia), paleo-mesozoicos (Salto das Nuvens – muito restrito, Formação Marília, Formação Aquidauana, Formação Ponta Grossa, Formação Furnas e Formação Diamantino), além de aquíferos fissurados. Dentre esses, os mais promissores para a obtenção de maiores vazões de bombeamento são os aquíferos associados à Formação Marília, Formação Aquidauana, Formação Furnas e Formação Diamantino.

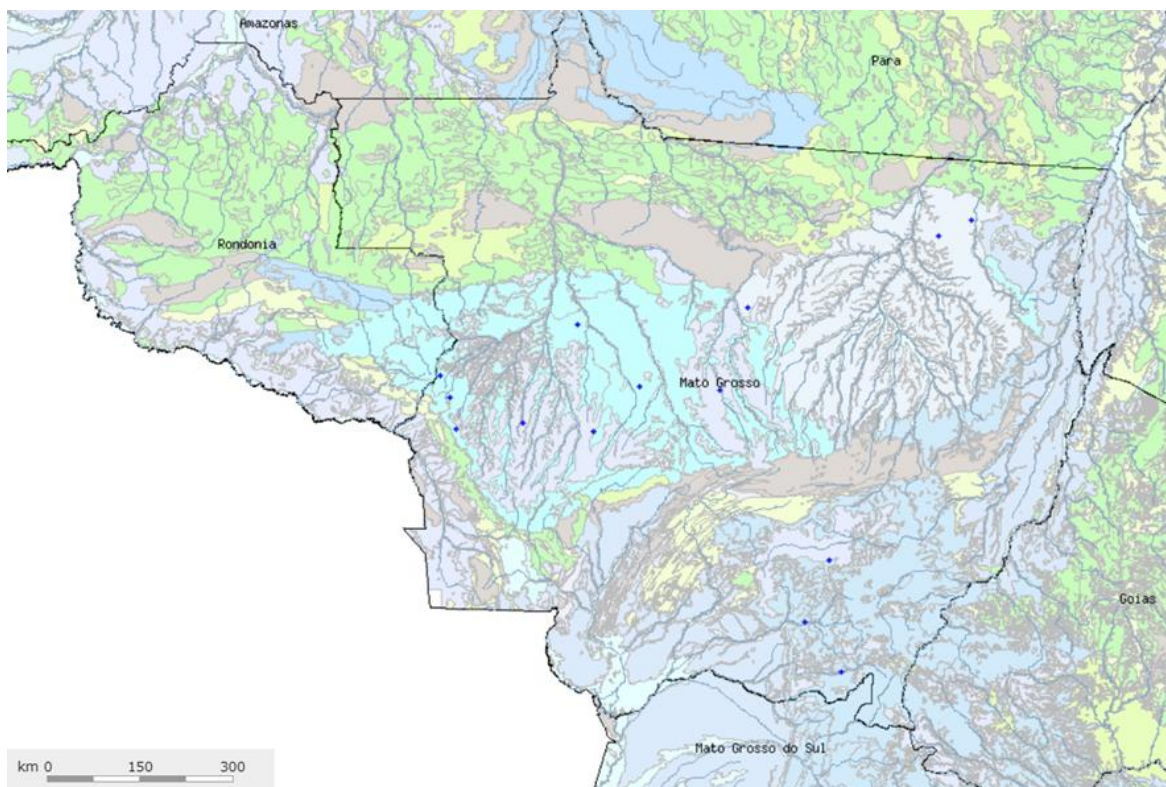


Figura 5.28 - Domínios hidrogeológicos e principais rios do estado de MT. Fonte: SGB-CPRM, 2023.

As informações hidrogeológicas levantadas a partir do banco de dados unificado variam em disponibilidade e qualidade.

As vazões dos poços variaram entre 0,0625 e 211 m³/h, com média de 10,32 m³/h e mediana de 6 m³/h. Observa-se que as vazões mais elevadas estão associadas aos tipos de uso para abastecimento urbano e industrial.

O rebaixamento nos poços de bombeamento da região por efeito da extração (D_s = nível estático – nível dinâmico) variou entre 0,01 e 122 m, com média de 11,74 m. Os maiores rebaixamentos são observados em poços para abastecimento urbano, industrial e irrigação, que são os maiores consumidores.

Foram analisados 451 pontos cadastrados no e na SEMA-MT, para os quais realizou-se uma análise dos parâmetros transmissividade e capacidade específica. A Figura 5.29 apresenta o mapa de distribuição da transmissividade nos municípios da bacia do rio das Mortes e a Figura 5.30 apresenta a distribuição da capacidade específica.

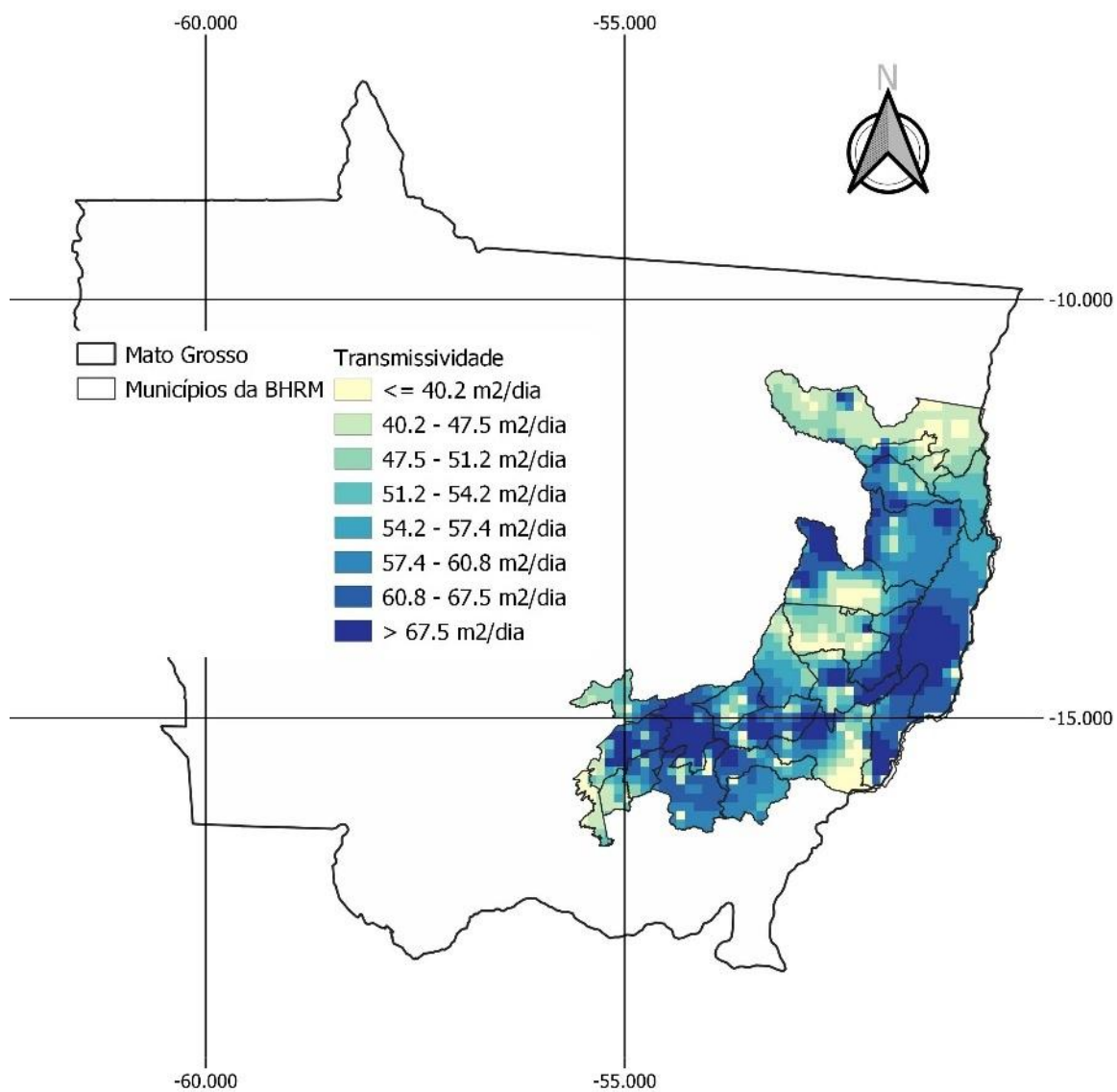


Figura 5.29 - Mapa de distribuição da transmissividade com base em dados do SIAGAS-SGB e SEMA-MT.

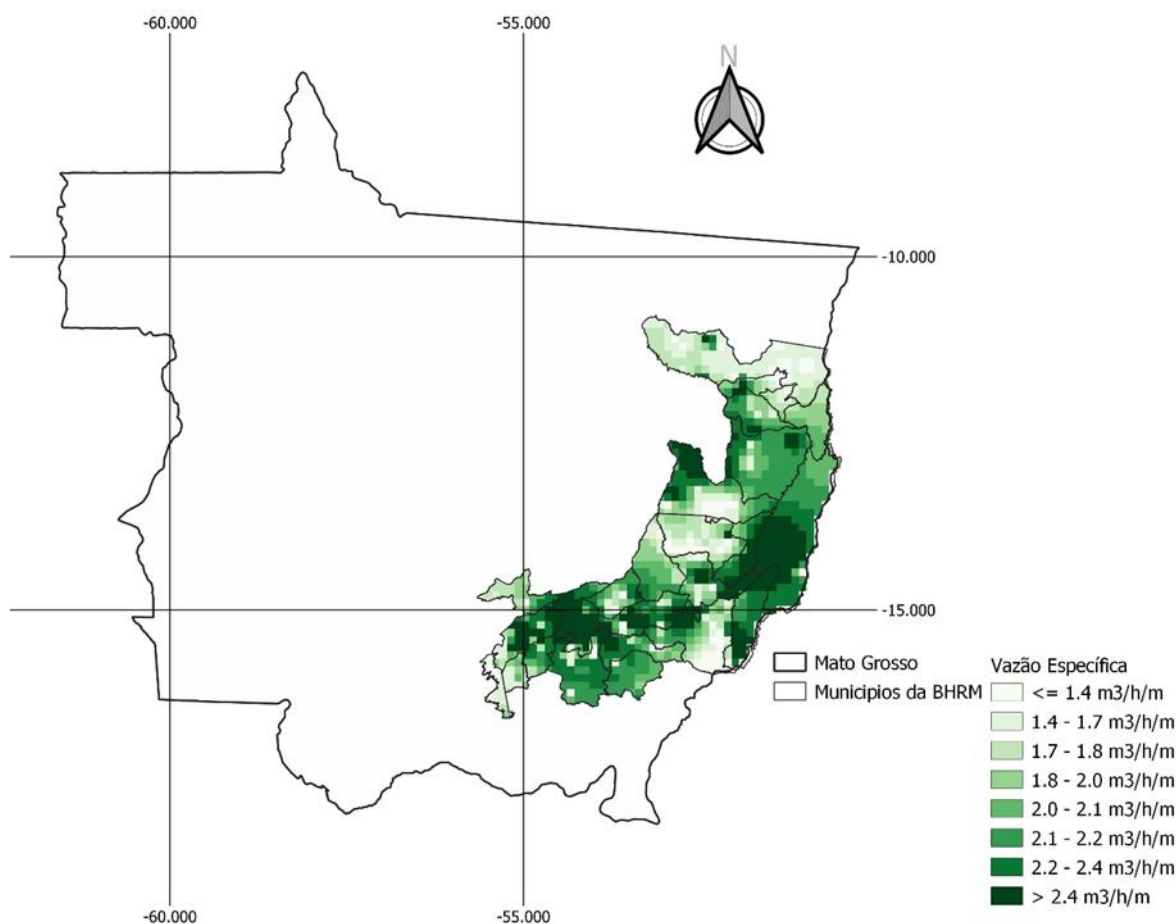


Figura 5.30 - Mapa de distribuição da capacidade específica com base em dados do SIAGAS-SGB e SEMA-MT.

A transmissividade observada na bacia do Rio das Mortes variou de 4 m²/dia a 611 m²/dia. No caso da capacidade específica, foram observados valores que variam entre 0,15 e 22 m³/h/m. Em ambos os parâmetros, observou-se que os valores mais expressivos estão localizados na região de ocorrência do Grupo Bauru e da Formação Araguaia. Esses dados corroboram as informações supramencionadas, as quais caracterizam estes aquíferos como os de maior potencial hídrico na bacia.

Os depósitos aluvionares (Q2a) são aquíferos livres com espessuras em torno de 20 m, que podem fornecer vazões entre 1 e 25 m³/h, estas últimas de forma localizada. Os sedimentos da Formação Araguaia (Qag) formam aquíferos livres a semiconfinados, com extensão regional e espessura variável, usualmente da ordem de dezenas de metros, localmente superiores a 100 m. Araújo & Carneiro (1977, apud CPRM, 2004a) citam espessuras entre 170 a 320 metros, estimadas a partir de dados sísmicos. As vazões captadas variam entre 1 e 10 m³/h. Pelo exposto, compõem aquíferos de baixo interesse aos propósitos do estudo.

5.2.3.1 Aquífero Marília

Compõe um aquífero livre a semiconfinado, heterogêneo, de extensão regional. Apresenta permeabilidade e transmissividade de moderada a baixa, com vazões principalmente entre 10 e 20 m³/h (CPRM-SGB, 2020) e espessura de até 370 m (ver Figura 5.27). Segundo a CNEC Engenharia (2000), vazões médias de 4,23 m³/h e capacidade específica de 0,51 m³/h/m, mas vazões bem maiores podem ser obtidas nas proximidades de estruturas geológicas, como, por exemplo, já observado nos poços de propriedade da Indústria FS – Fueling Sustainability e localizado na zona rural de Primavera do Leste.

5.2.3.2 Aquífero Aquidauana

É um aquífero contínuo, de extensão regional, anisotrópico, heterogêneo, com grande variação lateral e espessura chegando a cerca de 300 m. Ocorre na forma livre a localmente semiconfinado a confinado. Os parâmetros hidrodinâmicos variam muito. Os poços apresentam vazões majoritariamente baixas, inferiores a 6 m³/h, mas em locais em que o mesmo se encontra confinado a grandes profundidades, vazões de até 250 m³/h podem ser obtidas (CPRM-SGB, 2020).

5.2.3.3 Aquífero Furnas

Trata-se de um aquífero de extensão regional, com ampla continuidade lateral, livre a semiconfinado quando aflorante, confinado em profundidade; seus parâmetros como permeabilidade, condutividade hidráulica, transmissividade e porosidade primária são todos elevados. Segundo a CPRM-SGB (2012) enquanto o aquífero livre apresenta vazão média de 18,6 m³/h e capacidade específica média de 1,71 m³/h/m, o confinado, exibe vazão média de 47,9 m³/h e capacidade específica média de 3,39 m³/h/m, podendo chegar a vazões de até 250 m³/h em grandes profundidades. Camadas isoladas e descontínuas podem fornecer vazões de entre 1 e 10 m³/h. Na porção mais representativa do aquífero Furnas, as profundidades dos poços variam de 18 e 350 metros e as vazões de 1,2 a 138,45 m³/h, com média de 17,7 m³/h. As maiores vazões concentram-se na região sudoeste da área de exposição da formação, especificamente no município de Rondonópolis (Figura 5.31). Localmente, pode atingir espessuras de mais de 400 m.

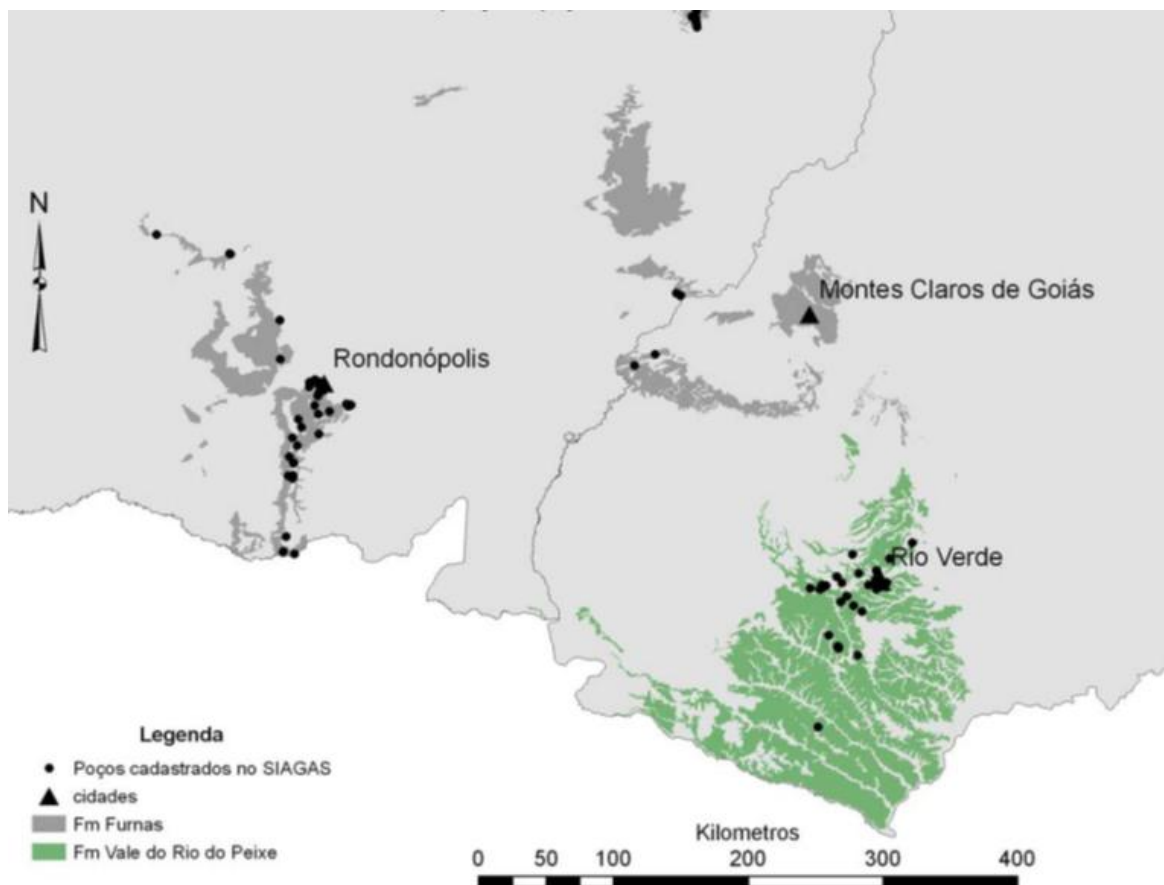


Figura 5.31 - Área de exposição dos aquíferos Furnas e Vale do Rio do Peixe nos estados de Mato Grosso e Goiás e localização de algumas cidades selecionadas para implantação de poços de monitoramento. Fonte: Bizzi et al. (2004), Bomfim (2006) e SIAGAS (2010), APUD CPRM-SGB (2012).

5.2.3.4 Aquífero Diamantino

A Formação Diamantino apresenta, de acordo com CNEC (2000) poços com vazões médias de 7,2 m³/h, podendo variar entre 10 e 25 m³/h, e capacidade específica de 0,18 m³/h/m. As informações disponíveis apontam para uma baixa vocação dessa unidade como fornecedora de água subterrânea para agricultura mecanizada.

A Formação Cachoeirinha, por outro lado, constitui aquífero predominantemente livre, com espessuras médias entre 20 e 30 m e máximas de 70 m. As vazões captadas variam entre 1 e 10 m³/h. Pelo exposto, compõem aquíferos de baixo interesse aos propósitos do estudo, mas tem importância como zona de recarga dos aquíferos subjacentes.

5.2.4 Características Químicas

A caracterização hidroquímica foi realizada a partir de um banco de dados secundário de poços, de três fontes distintas, sendo elas:

- a) Plataforma SIAGAS do Serviço Geológico do Brasil;
- b) Cadastro CNARH da Agência Nacional de Águas (ANA); e
- c) Dados de processos de outorga da SEMA/MT.

Os dados levantados foram armazenados em planilhas Excel e, posteriormente, foram inseridos em um Sistema de Informações Geográficas, utilizando o software QGis. Como os municípios foram definidos como a unidade fundamental dos estudos, foi considerada para este levantamento a área total dos municípios que se encontram na bacia hidrográfica de interesse, ainda que este limite exceda em alguma medida a bacia hidrográfica propriamente dita.

Ao todo foram identificados 2127 poços na bacia Rio das Mortes. Na Tabela 5.3 apresenta-se o número de dados levantados na área de estudo, de acordo com a fonte de informação utilizada.

Após o filtro para abranger a área de estudo, foi realizado um segundo filtro de qualidade dos dados e parâmetros hidroquímicos disponíveis. Foram excluídos valores quantificados como zero e desconsiderados alguns parâmetros errôneos ou duvidosos, considerados improváveis de ocorrer em águas naturais.

Tabela 5.3 - Número de dados obtidos na área de estudo, de acordo com a fonte de dados.

Fonte	Nº de Poços	Dados de pH	Dados de CE	Dados de STD	Dados de Temperatura	Análises completas	Análises Balanceadas
CNARH	1115	851	855	813	189	533	98
SIAGAS	344	297	259	89	35	0	0
SEMA-MT	668	244	251	176	0	24	3
Total	2127	1392	1365	1078	224	557	101

Com isso, foram identificados 1392 poços que apresentam alguma informação físico-química das águas subterrâneas. Com esses dados foram elaborados mapas de pH, Condutividade elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Temperatura e dos elementos maiores dissolvidos: bicarbonato, cloreto, sulfato, sódio, cálcio, magnésio e potássio.

Adicionalmente, foram levantados poços que apresentavam análises químicas de íons maiores completas na área de estudo, tendo sido identificados 557 poços com dados. Para

filtrar a qualidade das análises, foi realizado o cálculo do balanço iônico das amostras, tendo sido considerados aceitáveis os erros inferiores a 10%. Assim, foram identificadas 101 amostras dentro do erro considerado aceitável. Apenas três amostras vieram da base de dados da SEMA e as demais vieram da base de dados CNARH.

Com as análises balanceadas foi elaborado o diagrama de Piper e as amostras foram classificadas de acordo com seu tipo químico. A seguir serão apresentados os resultados e discussões.

Os poços estão distribuídos, em sua maioria, em áreas de afloramento das formações Cachoeirinha e Ponta Grossa, e do Grupo Bauru. No entanto, devido à ausência de informação da profundidade dos filtros e dos contatos entre as litologias, na maioria das vezes não é possível identificar a camada aquífera que está sendo explorada.

O valor do pH está disponível em 1392 amostras e varia de 3,16 a 10,46, com média de 5,73 e mediana de 5,5. A maioria das amostras (72%) apresenta valores entre 4,5 e 6,5 (Figura 5.32). A Figura 5.33 mostra a interpolação de todos os valores de pH disponíveis para área de estudo. É possível observar valores de pH mais elevados na região norte e central do mapa, bem como na borda sudoeste, com valores alcalinos sendo observados.

Os valores elevados presentes nas bordas e no centro da área de estudo representam poços alocados em áreas de afloramento da Formação Ponta Grossa. Segundo os perfis disponíveis, pelo menos alguns desses poços exploram água da Formação Furnas, sotoposta. A constituição litológica da Formação Ponta Grossa, na qual predominam siltitos e folhelhos, provavelmente confere caráter confinado ao aquífero explorado nessas regiões, influenciando no contraste de pH observado, que tende a aumentar em contato prolongado com rochas siliciclásticas.

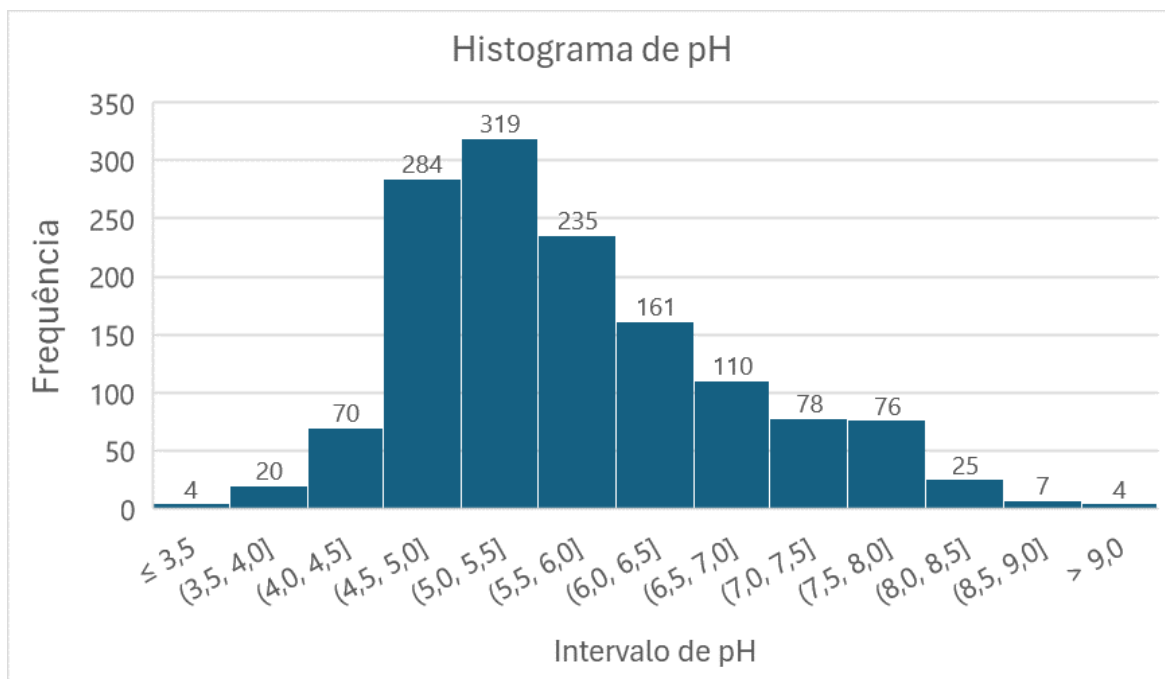


Figura 5.32 - Frequência dos valores de pH das amostras de água subterrânea na área de estudo ($n = 1392$).

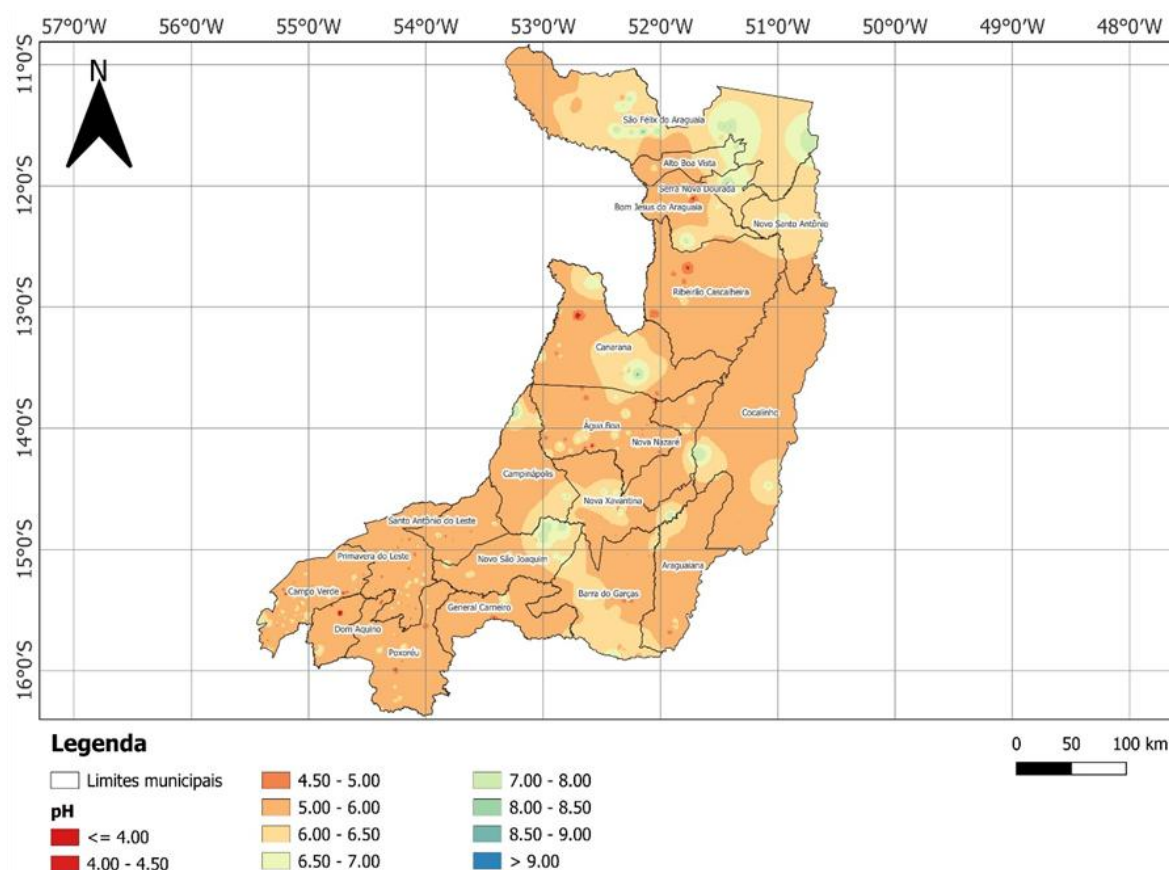


Figura 5.33 - Distribuição dos valores de pH na área de estudo.

Valores de condutividade elétrica (CE) estão disponíveis em 1365 amostras e variam de 0,01 a 7260 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com média de 51,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e mediana de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A maior parte das

amostras apresenta CE inferior a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (85% das amostras), sendo que 50% apresentam CE de até 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 5.34).

A Figura 5.35 mostra a interpolação dos valores de CE na área de estudo. É possível observar a ocorrência de valores mais elevados na parte central da área de estudo, especialmente no município de Canarana e seus arredores. Contudo, é necessário levar em conta que nessa região existe um menor número de poços com dados, de modo que um poço de 100 m de profundidade com um valor muito elevado, como ocorreu em Canarana (CE = 7460 $\mu\text{S}/\text{cm}$), pode influenciar fortemente os seus arredores, devido ao método de interpolação utilizado. Essa região está associada a afloramentos da Fm. Ponta Grossa.

No sul da bacia, especialmente no município de Dom Aquino, também são observados valores de CE mais elevados, mais uma vez em região de afloramento da Fm. Ponta Grossa. No município de Poxoréu são observados valores de CE superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, associados ao Grupo Bauru e à Fm. Botucatu. É possível inferir que estes valores de CE mais elevados podem estar associados a aquíferos profundos, confinados pela presença da Fm. Ponta Grossa, tratando-se possivelmente de águas de circulação regional, com um fluxo mais lento, o que permite uma maior mineralização das águas, bem como a elevação do pH, como foi observado.

A profundidade desses poços varia de aproximadamente 100 m até mais de 300 m no município de Dom Aquino. Apesar de não ter sido obtido o perfil construtivo detalhado, a profundidade dos poços corrobora a hipótese de exploração de águas mais profundas, de circulação regional e maior tempo de residência nos aquíferos.

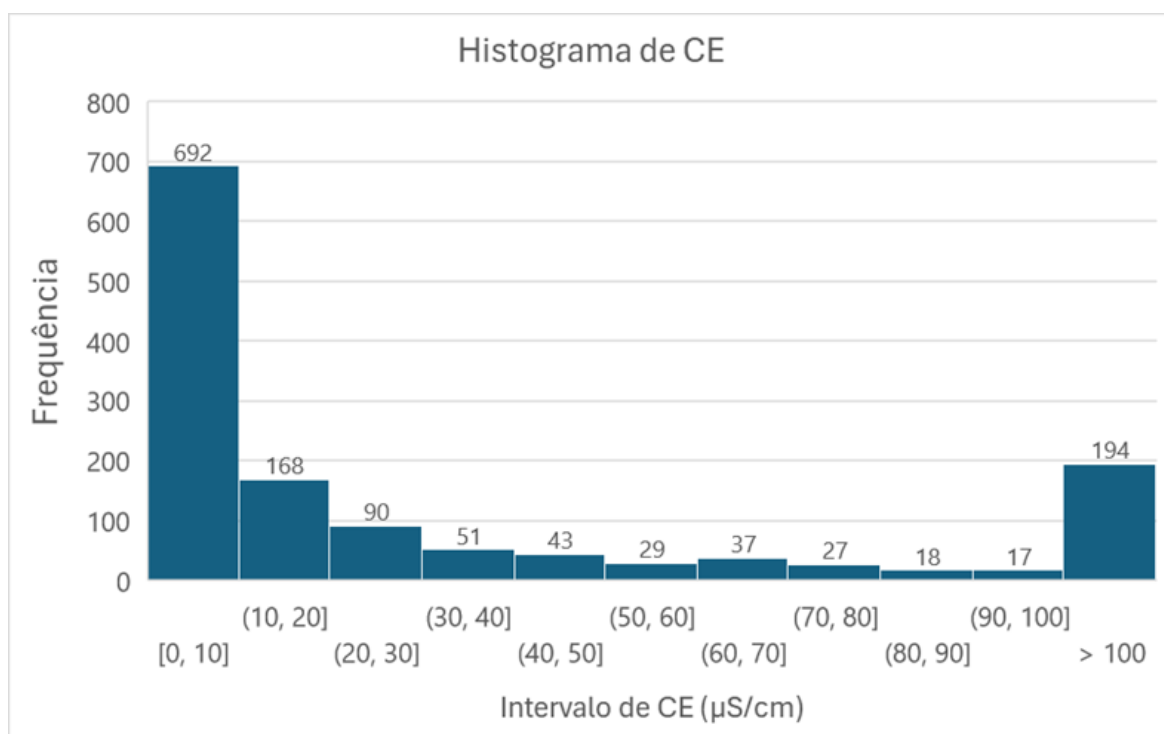


Figura 5.34 - Histograma dos valores de condutividade elétrica (CE) na área do estudo ($n = 1365$).

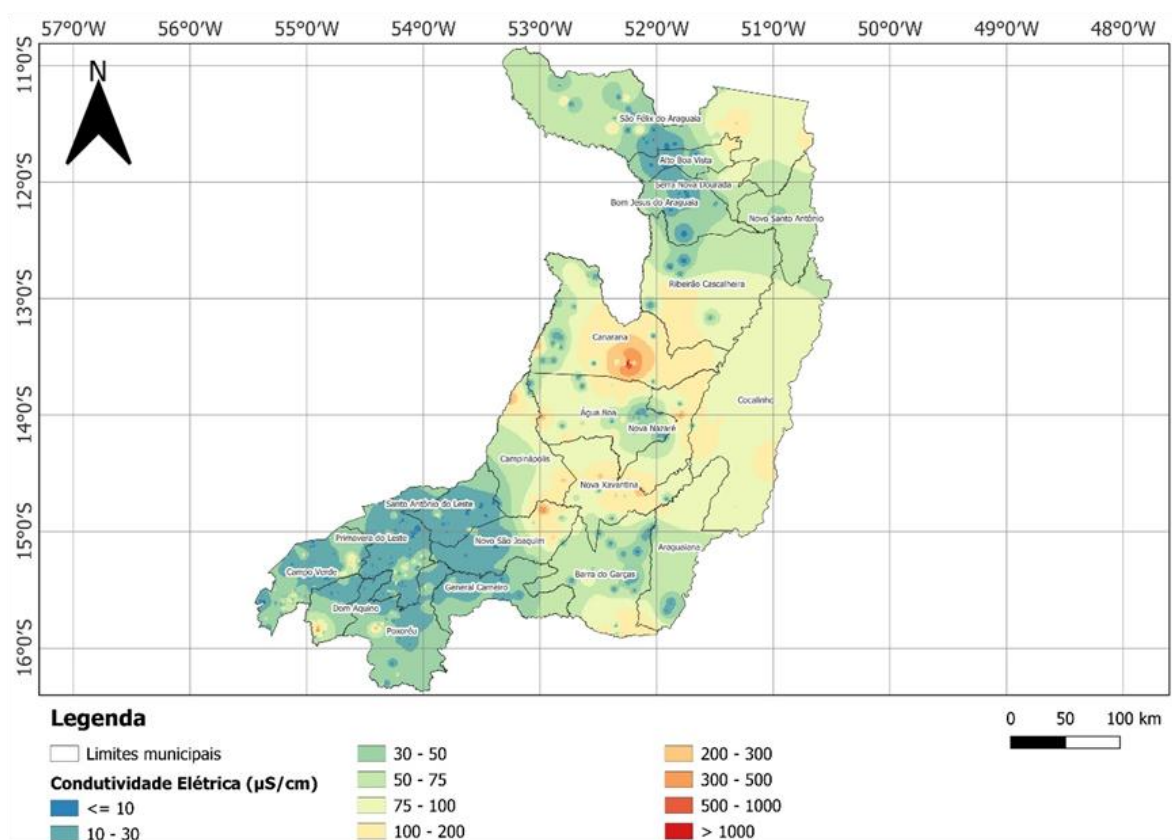


Figura 5.35 - Distribuição dos valores de condutividade elétrica (CE) na área do estudo.

Em relação aos Sólidos Totais Dissolvidos, de modo geral, o parâmetro comporta-se de forma similar à CE, como é o esperado. O parâmetro STD varia entre 0,03 e 380,3 mg/L, com média de 33,3 mg/L e mediana de 16 mg/L. Nota-se uma discrepância entre os valores de CE e STD em alguns poços, o que sugere que pode haver alguns erros de dados.

Observa-se uma grande predominância de águas subterrâneas diluídas na área de estudo, com 92% das amostras apresentando teor de STD inferior a 100 mg/L (Figura 5.36). Contudo, valores maiores que 100 mg/L são observados, associados provavelmente a aquíferos confinados e mais profundos, como explicado anteriormente (Figura 5.37).

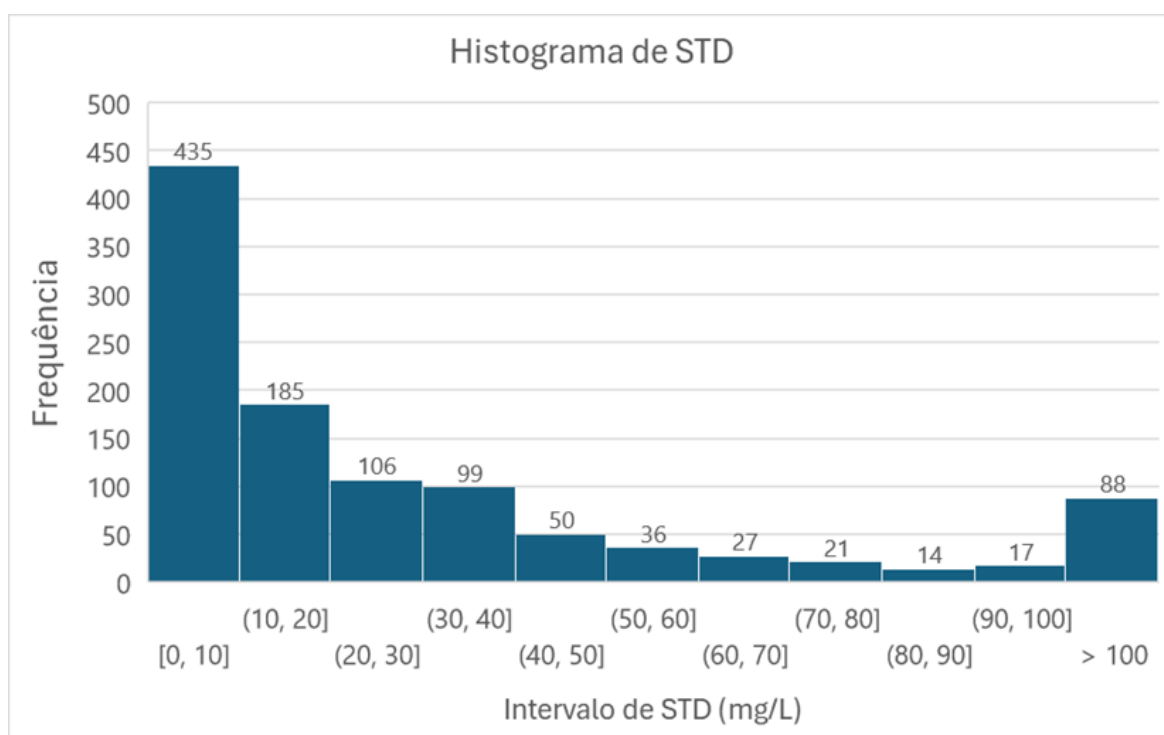


Figura 5.36 – Histograma de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na área de estudo (n = 1078).

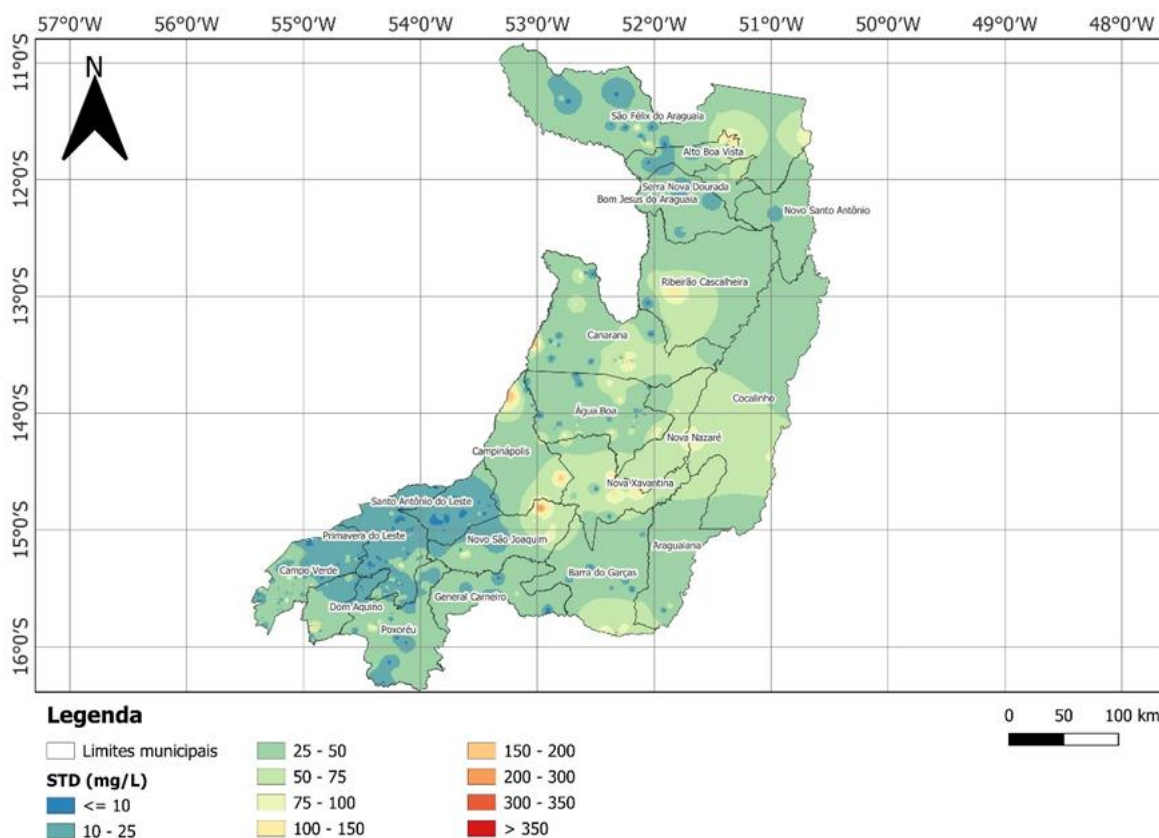


Figura 5.37 - Mapa de variação de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na área de estudo.

Os valores de temperatura das águas foram obtidos em 224 poços, variando de 15,1 a 40 °C, com média de 24,8 °C e mediana de 25,3 °C. Como pode ser observado na Figura 5.38 e na Figura 5.39, a maioria dos resultados encontra-se no intervalo entre 22 e 30 °C, próximos da temperatura atmosférica média da região, conforme esperado.

Contudo, vale destacar alguns valores superiores a 35 °C observados principalmente na borda sudoeste da área, no município de Dom Aquino, bem como na borda oeste, em Primavera do Leste, Campinápolis e Água Boa, sempre associados à presença da Fm. Ponta Grossa (Figura 5.39). Isso sugere a exploração de aquíferos profundos e confinados, com águas de maior temperatura devido à maior profundidade, corroborando o que foi visto anteriormente nesses locais, em parâmetros como o pH e CE.

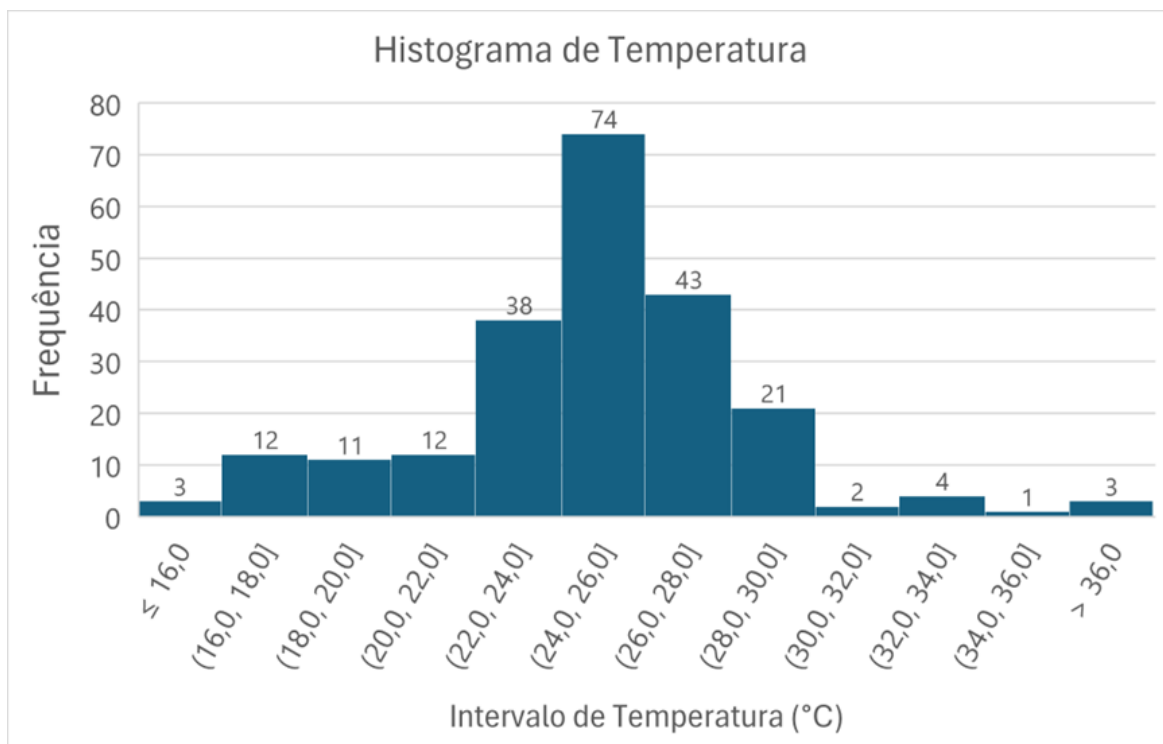


Figura 5.38 - Histograma de Temperatura das águas subterrâneas (n = 224).

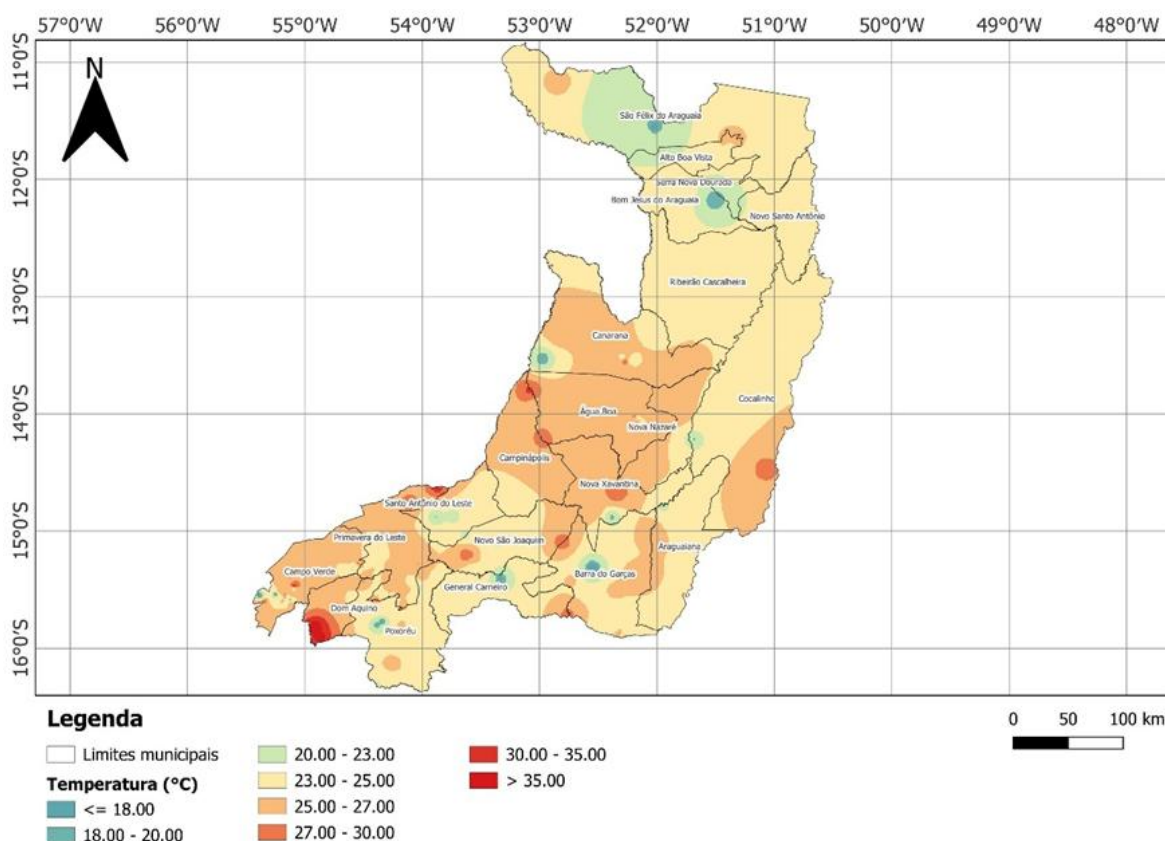


Figura 5.39 - Mapa de variação da temperatura das águas subterrâneas na área de estudo.

Com relação aos íons maiores, foram obtidos 1066 poços com pelo menos algum dado, sendo o cloreto o elemento mais frequentemente disponível. Os dados de cada um dos

íons maiores foram interpolados para gerar os mapas de concentração dos elementos maiores.

Em relação ao bicarbonato, as concentrações variam de 0,01 a 667,61 mg/L, com média de 22,76 mg/L e mediana de 10 mg/L. A maior parte das amostras apresenta baixas concentrações, geralmente inferiores a 50 mg/L (Figura 5.40). Concentrações mais elevadas (> 250 mg/L) são observadas nas áreas centrais (Novo São Joaquim e Nova Xavantina), norte (Serra Nova Dourada e São Félix do Araguaia) e nas bordas oeste (Campinápolis e Canarana) e sudeste do mapa (Barra do Garças), como pode ser observado na Figura 5.40. Tais áreas estão associadas principalmente a regiões de afloramento da Fm. Ponta Grossa, exceto no Norte, em que aflora a Fm. Salto das Nuvens.

As concentrações de cloreto variam de 0,0022 a 297 mg/L, sendo a média de 7,26 mg/L e mediana de 2,74 mg/L. Como pode ser observado na Figura 5.41, predominam baixas concentrações de Cl^- em todos os aquíferos da área de estudo (< 10 mg/L). Alguns poços com concentrações superiores a 250 mg/L são observados principalmente no centro da bacia, nos municípios de Água Boa e Nova Nazaré, associados à Formação Diamantino ou ao Grupo Cuiabá. Trata-se de poços não muito profundos, de 38 a 65 m de profundidade.

Quanto ao sulfato, as concentrações variam de 0,001 a 722 mg/L, com média de 4,22 mg/L e mediana de 1,00 mg/L. Predominam baixas concentrações (< 5 mg/L) em toda a área de estudo, indicando uma baixa mineralização de sulfato nos aquíferos (Figura 5.42). Contudo, observa-se pontualmente uma maior mineralização na porção central da bacia, no município de Água Boa, com concentração de 250 mg/L, em um poço com 38 m de profundidade.

Quanto aos cátions maiores, o sódio apresenta concentrações que variam de 0,001 a 3165 mg/L, com média de 13,58 mg/L e mediana de 1,76 mg/L. De acordo com o mapa, observa-se a predominância de concentrações inferiores a 10 mg/L (Figura 5.43).

Um poço com concentração extremamente elevada de sódio (> 1000 mg/L) é observado pontualmente na região norte da bacia. Essa concentração alterou bastante a interpolação, sendo claramente um “outlier” nessa região. Trata-se de um poço raso, com 35 m de profundidade. Tudo leva a crer que o valor elevado de sódio, bem como de cálcio, registrados nesse poço, é pouco confiável, pois o mesmo poço apresenta um dado de STD de apenas 6,2 mg/L, além de apresentar um erro de balanço iônico de 99%, devido à concentração elevada destes elementos.

Por fim, concentrações superiores a 100 mg/L de sódio são observadas na borda sudoeste da bacia, nos municípios de Dom Aquino (associado à Fm. Ponta Grossa), Poxoréu

e Primavera do Leste (Fm. Cachoeirinha e Gp. Bauru). Apenas em Dom Aquino, as concentrações mais elevadas ocorrem em poços acima de 300 m de profundidade, provavelmente associadas a aquíferos confinados profundos.

As concentrações de potássio variam entre 0,01 e 1351 mg/L, com média de 4,70 mg/L e mediana de 0,53 mg/L. Predominam concentrações muito baixas ao longo de toda a área de estudo, de até 5 mg/L (Figura 5.44). O valor máximo observado (1351 mg/L) no município de Primavera do Leste é atribuído novamente a um erro da base de dados, semelhante ao relatado anteriormente para outros elementos maiores.

O cálcio apresenta concentrações variando de 0,02 a 2700 mg/L, com média de 7,58 mg/L e mediana de 1,04 mg/L. Em toda a bacia hidrográfica predominam baixas concentrações de cálcio. Na porção sudoeste da bacia predominam concentrações menores que 5 mg/L, aumentando para cerca de 10 mg/L na porção central e norte (Figura 5.45). O valor máximo de 2700 mg/L ocorre no já citado poço de São Félix do Araguaia, e considera-se esse valor um outlier, pelo que a área de maior concentração de cálcio a norte não deve ser considerada.

O teor de magnésio varia entre 0,01 e 8815 mg/L, com média de 27,40 mg/L e mediana de 0,71 mg/L. De modo semelhante ao cálcio, predominam baixas concentrações em toda a área de estudo, geralmente inferiores a 10 mg/L. Os valores máximos são registrados na borda sudoeste da bacia, em poços de Primavera do Leste e Santo Antônio do Leste, gerando uma região de concentração maior de magnésio que se destaca no mapa da Figura 5.46.

Contudo, de modo semelhante ao observado com os teores de Na e Ca no poço de São Félix do Araguaia, provavelmente se trata de um outlier, devido ao balanço iônico das amostras apresentar um erro de 98% e o teor de STD registrado nos mesmos poços ser baixo.

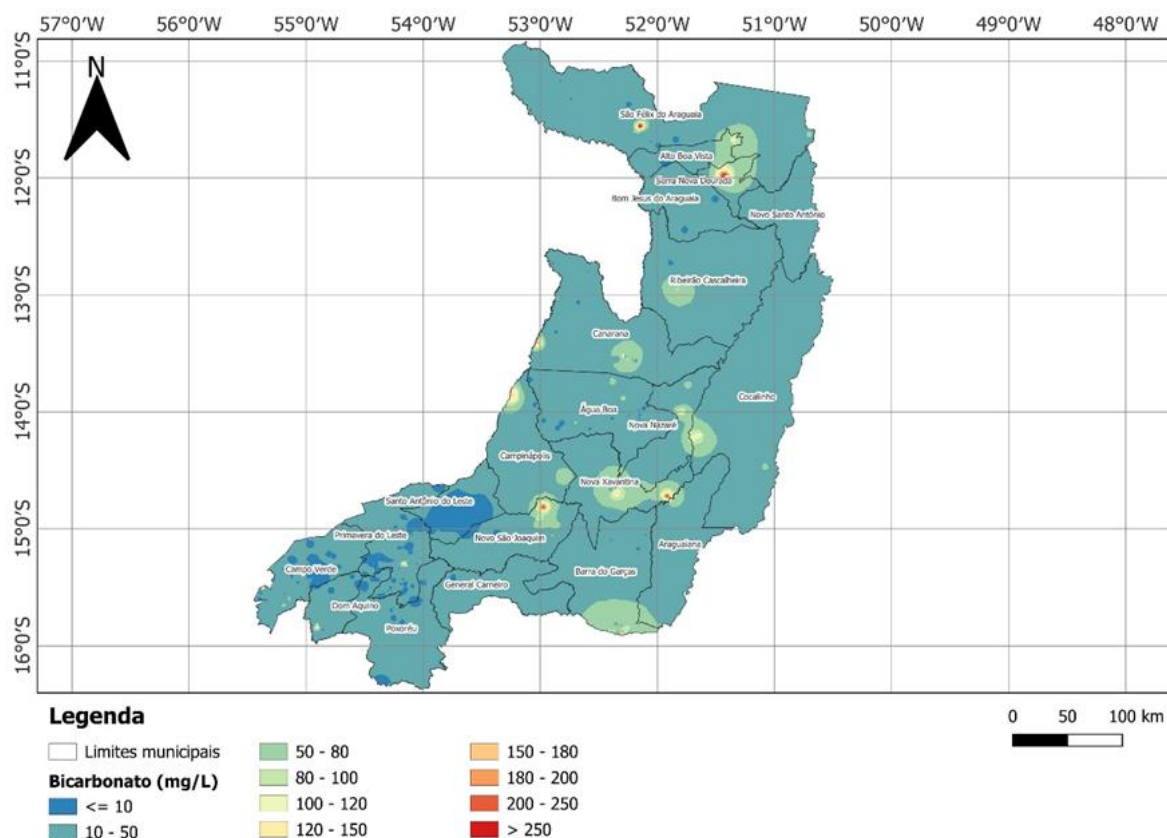


Figura 5.40 - Mapa de variação da concentração de bicarbonato na área de estudo.

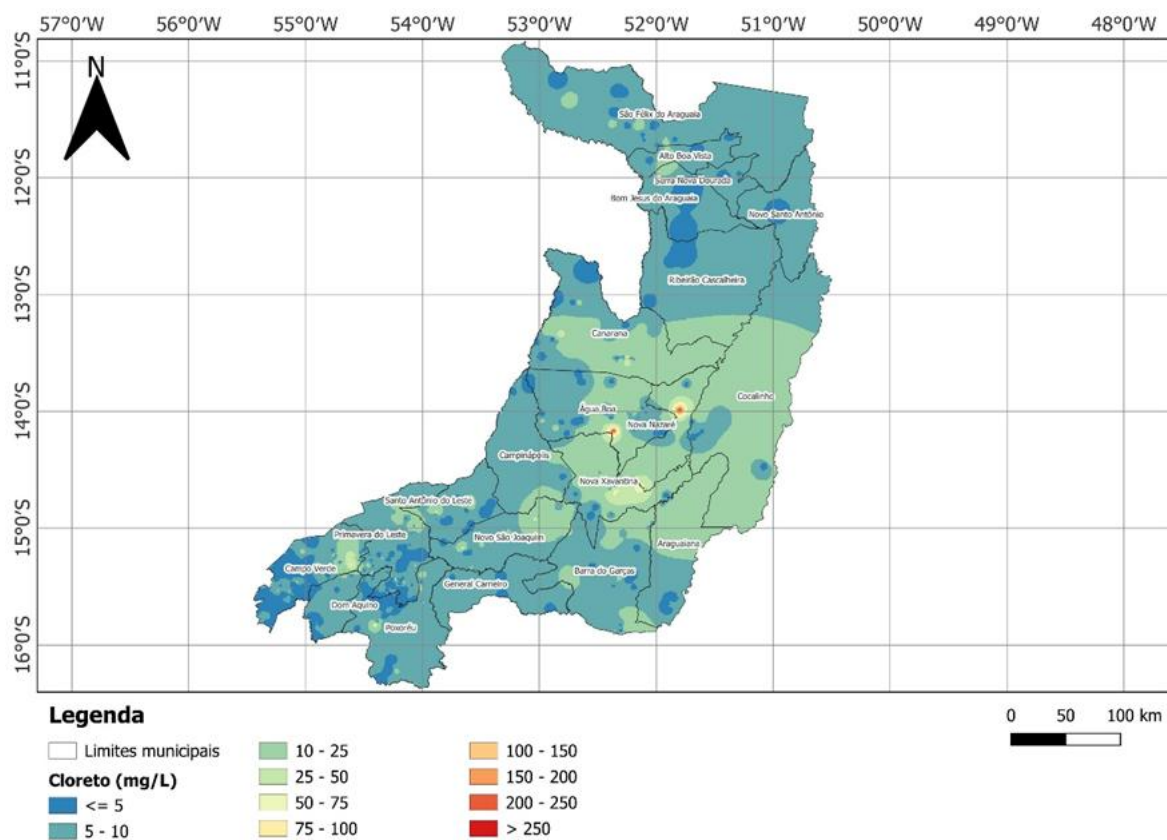


Figura 5.41 - Mapa de variação da concentração de cloreto na área de estudo.

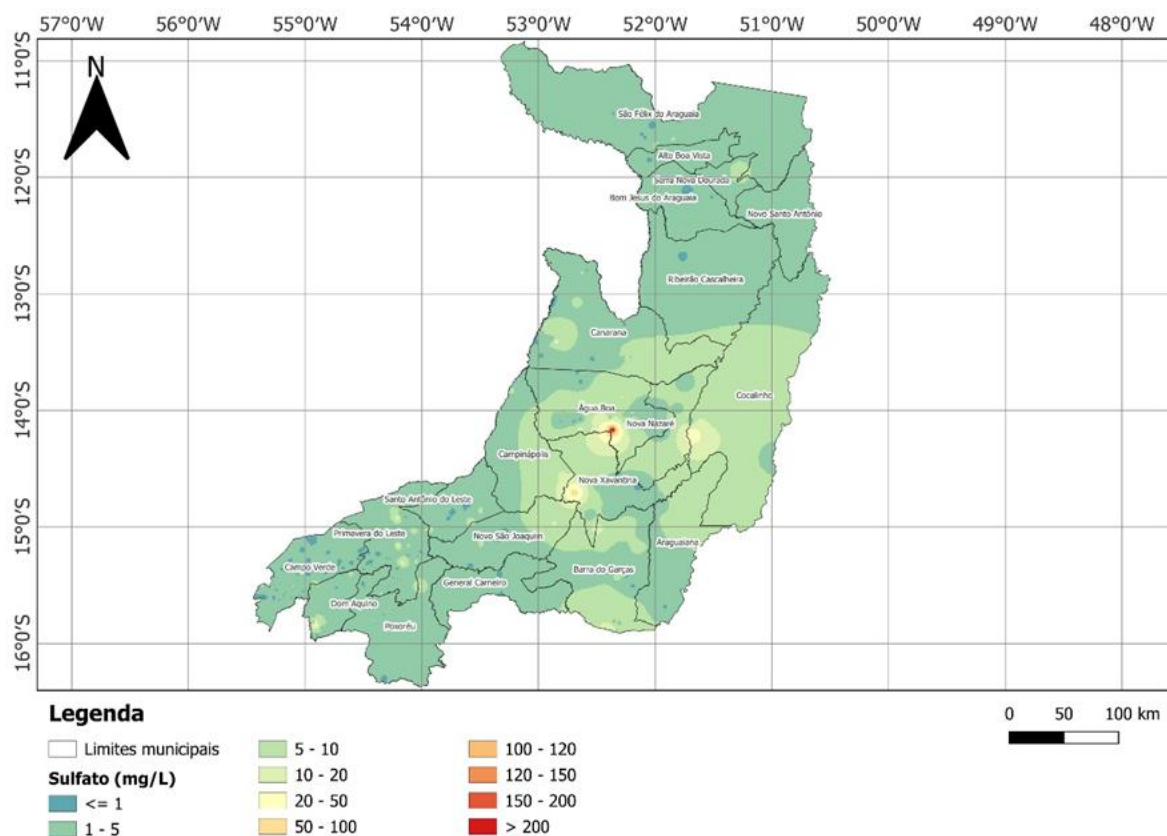


Figura 5.42 - Mapa de variação da concentração de sulfato na área de estudo.

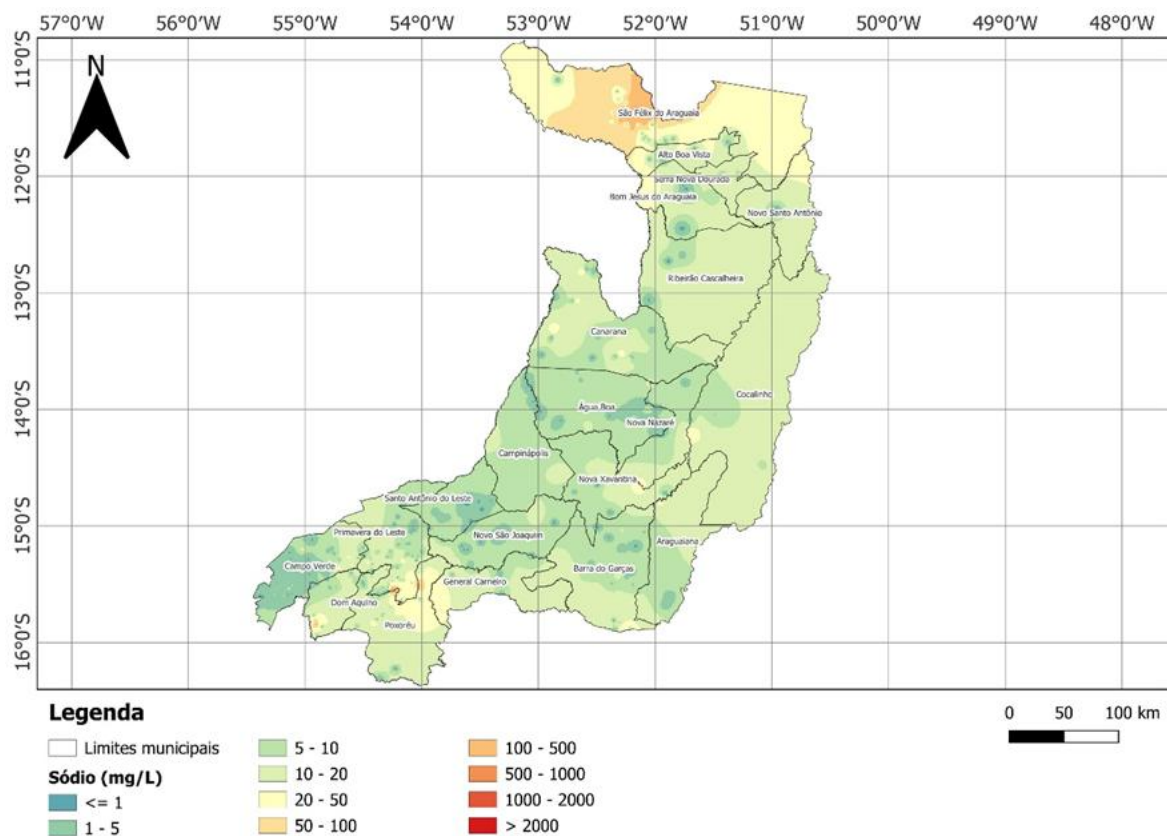


Figura 5.43 - Mapa de variação da concentração de sódio na área de estudo.

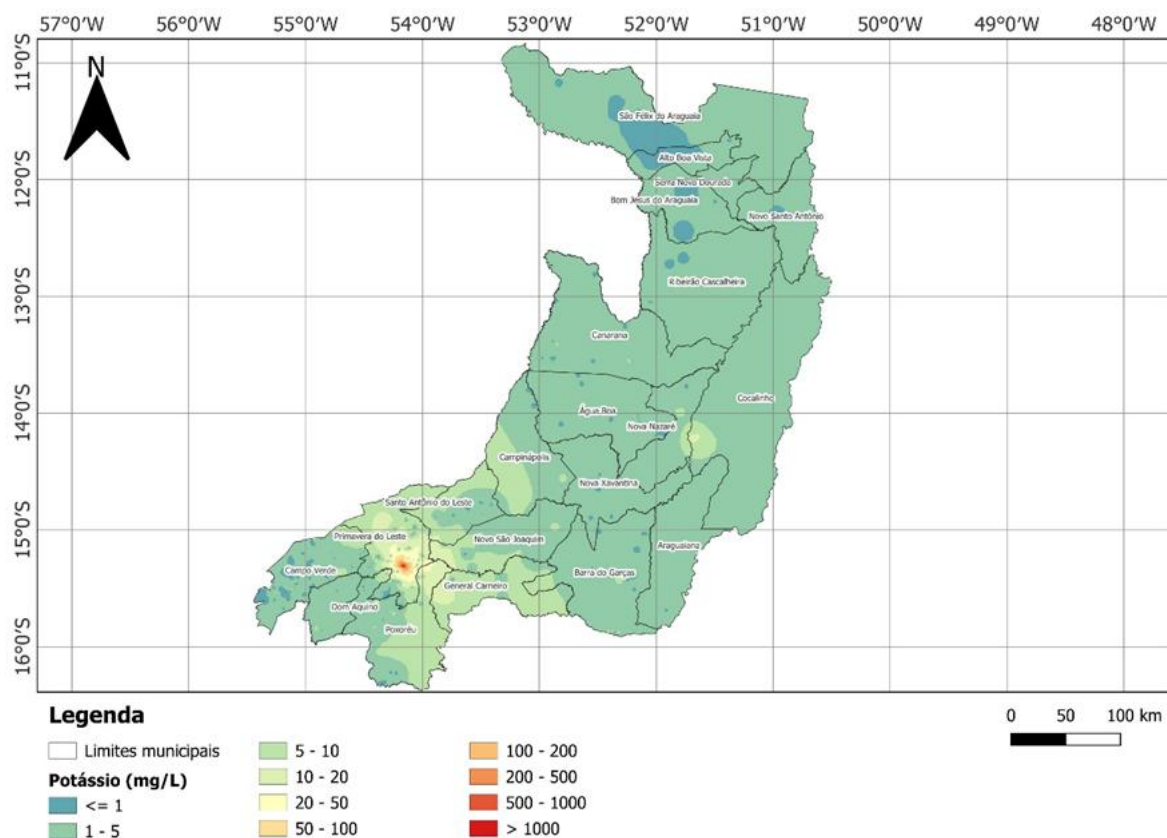


Figura 5.44 - Mapa de variação da concentração de potássio na área de estudo.

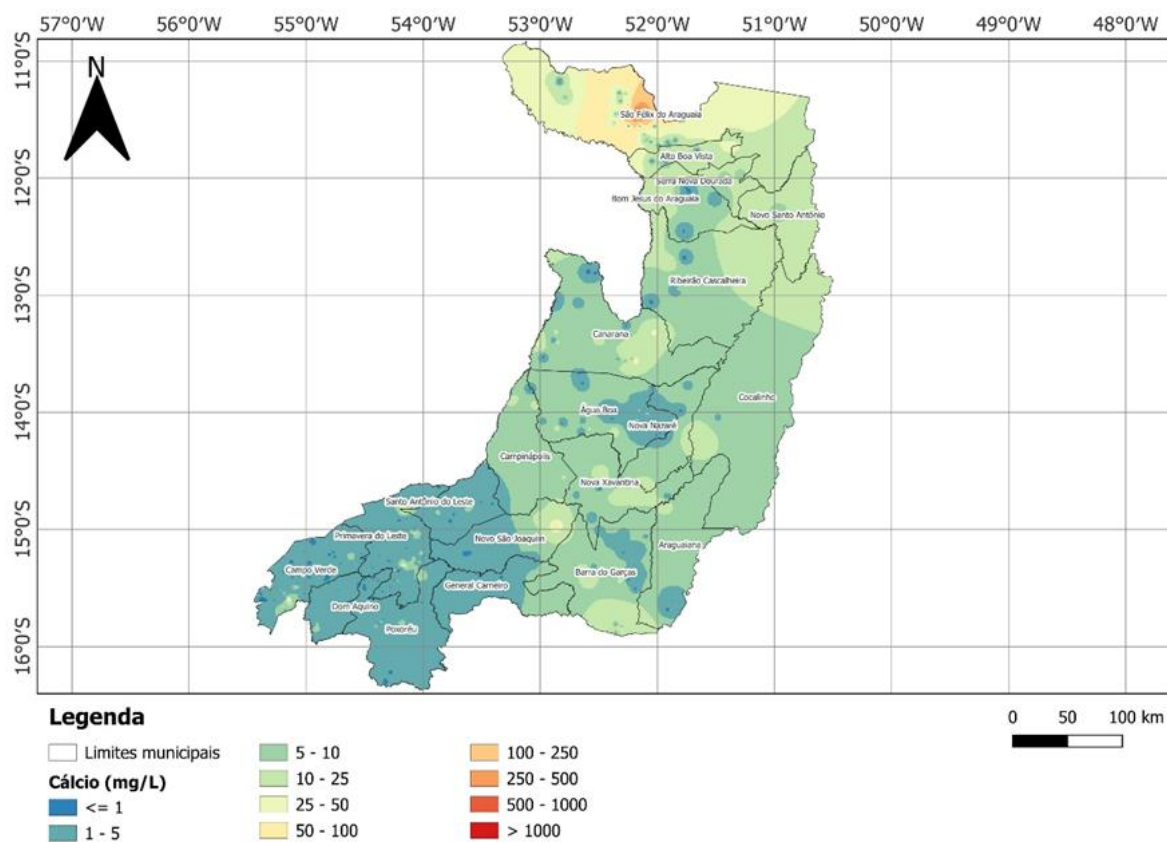


Figura 5.45 - Mapa de variação da concentração de cálcio na área de estudo.

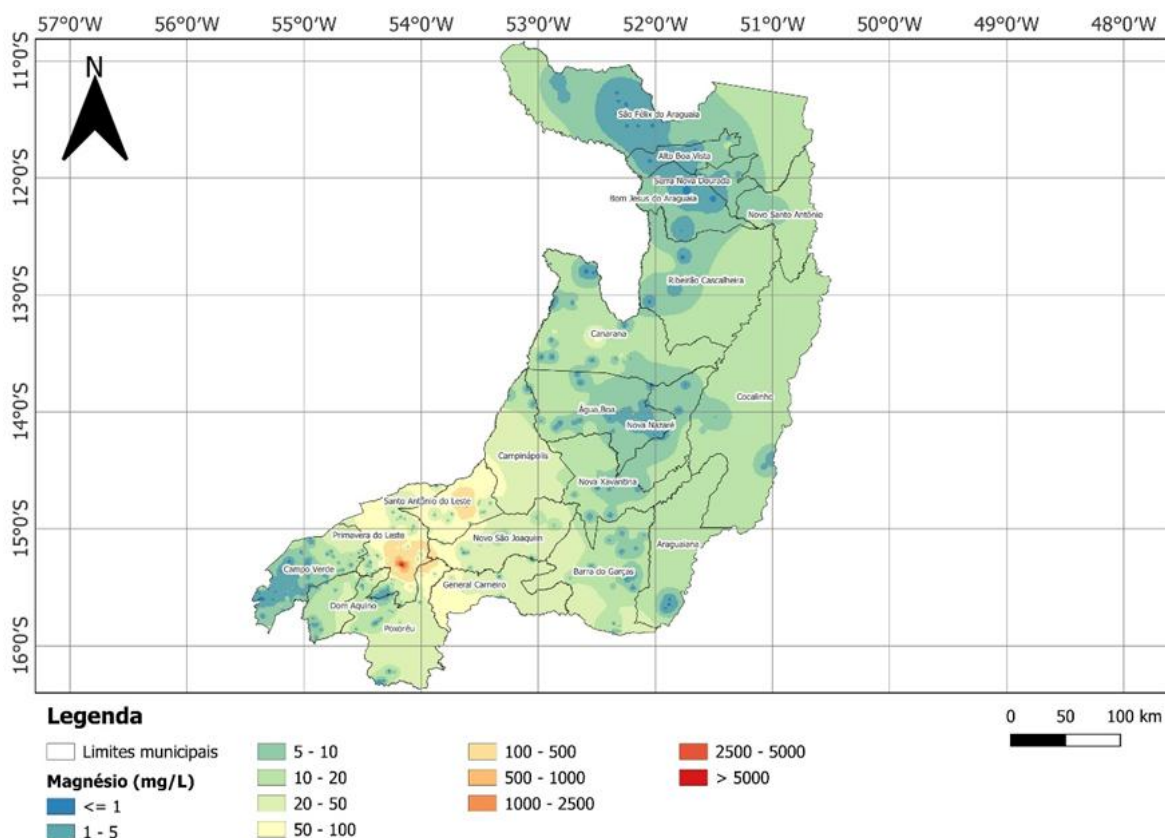


Figura 5.46 - Mapa de variação da concentração de magnésio na área de estudo.

Para a caracterização dos tipos hidroquímicos presentes na área de estudo, foram elaborados diagramas de Piper-Langelier (PIPER, 1944) com amostras que apresentavam análise completa e balanceada dos íons maiores (Figura 5.47). Observa-se a ocorrência de todos os tipos químicos na área de estudo, porém é possível destacar a prevalência de águas bicarbonatadas sódicas a cálcicas (círculos azuis) e mistas (triângulo azul). Também é possível distinguir um pequeno grupo de amostras cloretadas cálcicas e mistas (destacadas com o círculo verde).

Devido à ausência de informação acerca da profundidade dos filtros na maioria dos poços estudados, ou ainda pela presença de filtros em diferentes profundidades, não foi possível a associação do aquífero explotado com os tipos químicos observados.

Portanto, de um modo geral, observam-se águas subterrâneas pouco mineralizadas na área de estudo, de característica predominantemente ácida. Porém, principalmente em regiões associadas ao afloramento da Fm. Ponta Grossa, foram observadas águas subterrâneas mais mineralizadas, por vezes com características termais, especialmente na borda sudoeste da bacia, na região de Dom Aquino. Provavelmente trata-se de águas provenientes de aquíferos regionais confinados e profundos, que produzem águas de maior tempo de residência e circulação regional nos aquíferos.

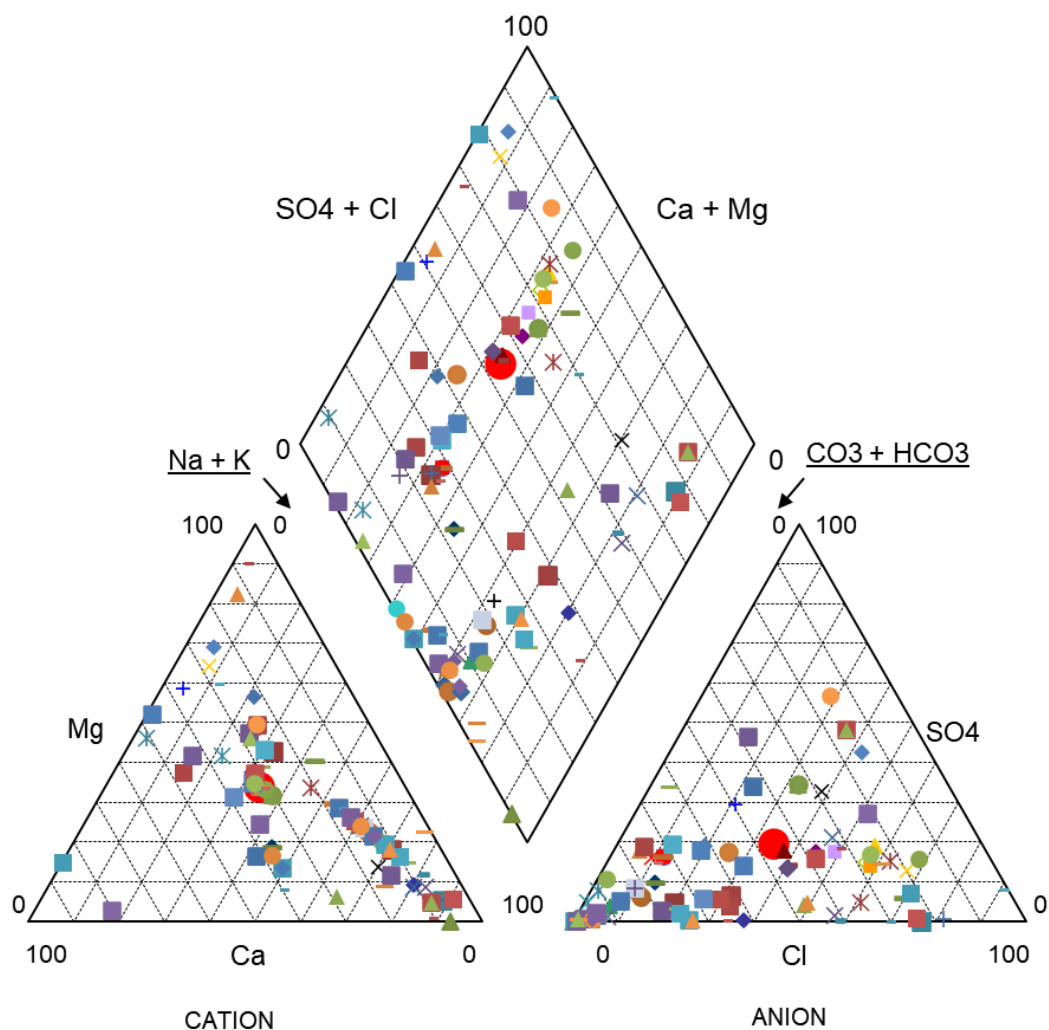


Figura 5.47 - Diagrama de Piper contendo amostras com análises balanceadas na área de estudo (n = 101).

5.2.5 Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação

O único trabalho envolvendo caracterização de vulnerabilidade à contaminação encontrado pela equipe para a bacia do Rio das Mortes foi desenvolvido por Barbosa (2017, APUD CPRM-SGB, 2012) para a cidade de Rondonópolis.

Quanto ao aquífero Furnas, Barbosa (2007) avaliou sua vulnerabilidade na região urbana de Rondonópolis-MT usando o método AVI (índice de vulnerabilidade de aquífero). O índice AVI utiliza somente a condutividade hidráulica e a espessura das camadas dos diferentes materiais que se encontram sobre o nível da água do aquífero.

A partir da determinação da condutividade média, da ordem de 1,3 m/dia, para o aquífero Furnas em sua porção livre, o autor obteve valores de vulnerabilidade à contaminação estipulados como “extremamente altos” para a maior parte da região

investigada, abrangendo o aquífero Furnas livre e uma zona de transição entre Furnas e Ponta Grossa.

5.2.6 Uso da Água Subterrânea

Os tipos de uso declarados para os poços da região foram: abastecimento doméstico, abastecimento industrial, abastecimento urbano, dessedentação animal, sem uso, irrigação, abastecimento industrial e outros (lazer etc.).

5.2.7 Potenciometria

Os dados presentes no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) e na base de dados da SEMA-MT foram utilizados para análise da potenciometria dos aquíferos da Bacia do Rio das Mortes (RDM).

Os dados foram utilizados para uma análise mais regional do fluxo subterrâneo, mostrada no mapa da Figura 5.48, e uma outra, específica para os aquíferos granulares com maior potencial hidrogeológico (Aquífero Bauru/Botucatu e Aquífero Furnas), mostrada na Figura 5.49. As cotas do nível de água subterrânea com relação ao nível médio do mar variam entre 258 m e 809 m. As cotas mais elevadas ocorrem na região dos aquíferos Bauru e Botucatu. O fluxo é predominante na direção de Sul para Norte, acompanhando aproximadamente a direção do fluxo superficial da bacia.

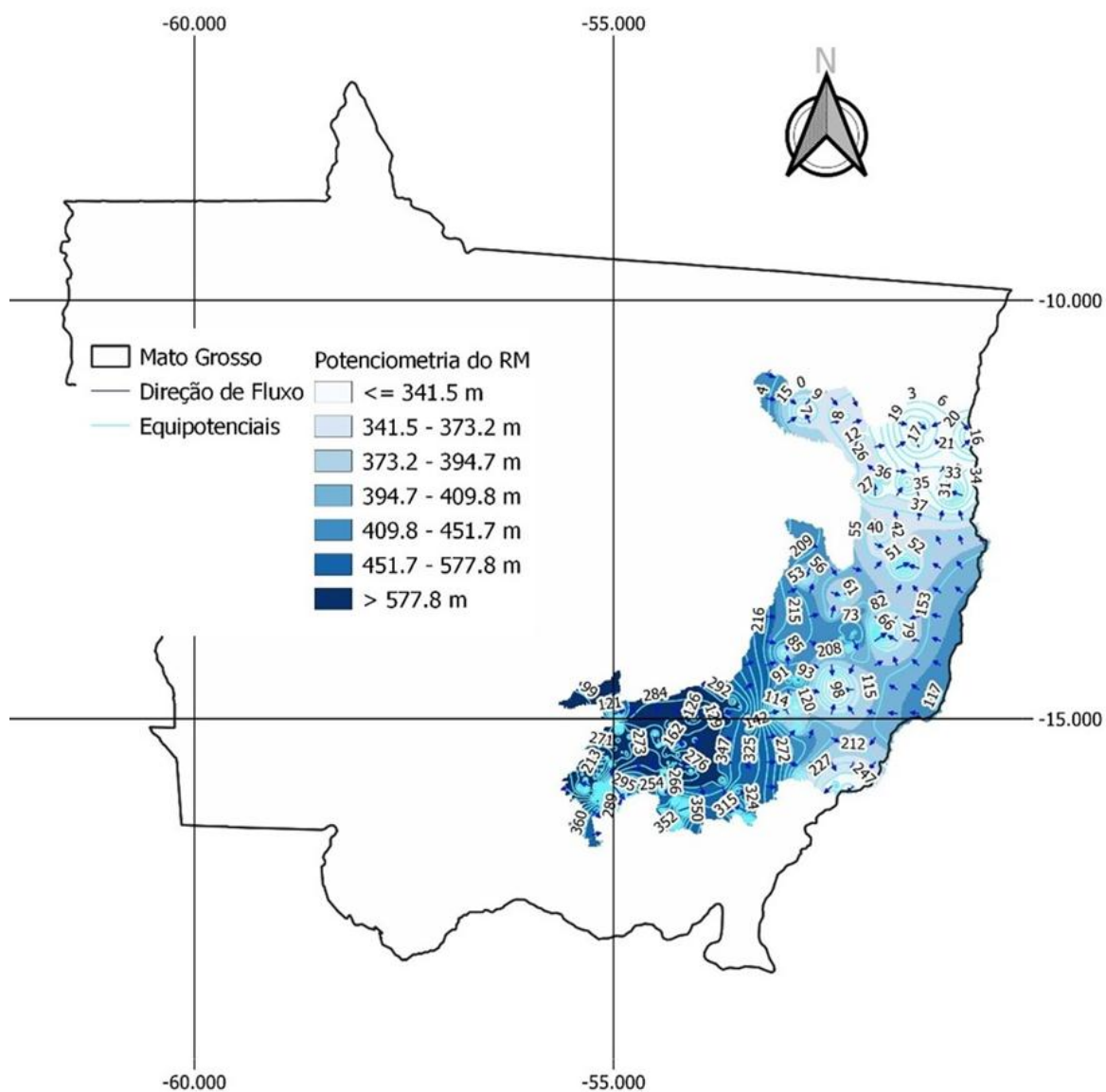


Figura 5.48 - Mapa potenciométrico da bacia do Rio Das Mortes.

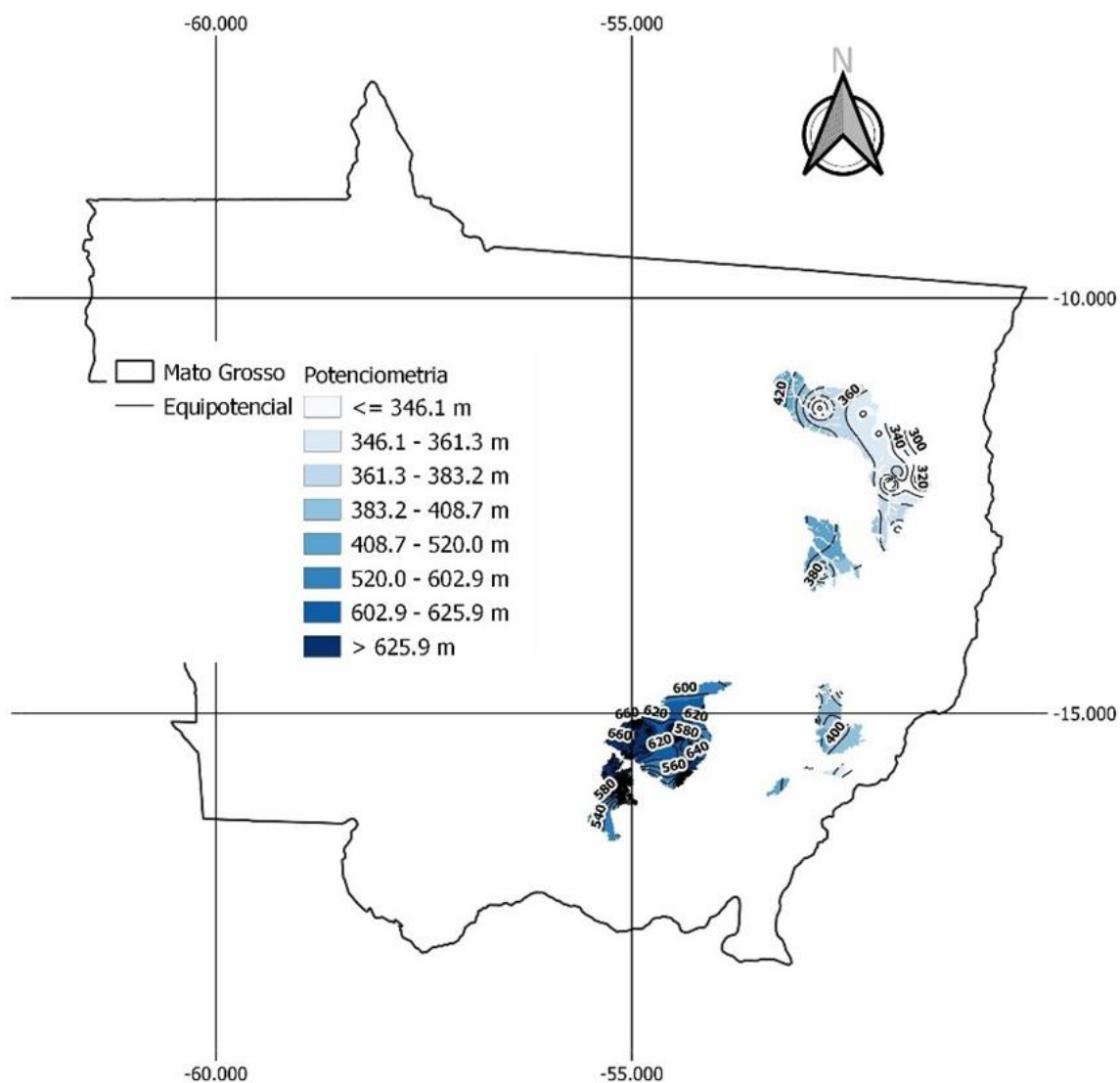


Figura 5.49 - Mapa potenciométrico das unidades granulares da bacia do Rio Das Mortes.

5.2.8 Reservas e Disponibilidade Hídrica Subterrânea

No estudo realizado pela equipe da UFV e da UFRJ para o Polo de Irrigação de Primavera do Leste, portanto em área bem inferior à do atual estudo, obteve-se uma vazão disponível anual de 3,138 x 10⁹ m³.

Neste mesmo estudo, realizou-se um cálculo do balanço hídrico pela planilha Easy Bal (SERRANO e VÁZQUEZ-SUÑE, 2013), também para a área do Polo de Irrigação de Primavera do Leste, considerando dados entre 2006 e 2022. Na Tabela 5.4 apresenta-se o resultado da recarga calculada pelo método, enquanto na Figura 5.50 apresentam-se as recargas por área das estações fluviométricas consideradas.

Tabela 5.4 - Cálculo da recarga (mm/ano) com base nos dados de cada estação pluviométrica presente na área do polo de irrigação de Primavera do Leste.

Recarga (mm/ano)				
Ano	Poxoréu	Primavera do Leste	Campo Verde	Santo Antônio do Leste
2006	544.40		38.48	
2007	580.70		39.12	
2008	604.20		40.78	44.33
2009	784.30		35.66	50.08
2010	535.60		1.67	29.74
2011	541.10		43.97	54.48
2012	690.40	0	44.52	26.08
2013	550.50	2.16	55.67	27.69
2014	684.80	32.34	53.93	43.95
2015	649.10	45.96	14.01	4.58
2016	722.40	41.63	14.86	9.98
2017	634.50	43.66	34.58	7.51
2018	547.00	43.1	42.37	36.61
2019	583.10	102.59	45.4	29.02
2020	629.60	67.34	32.09	7.97
2021	361.60	76.66	42.76	1.08
2022		128.02	0	0

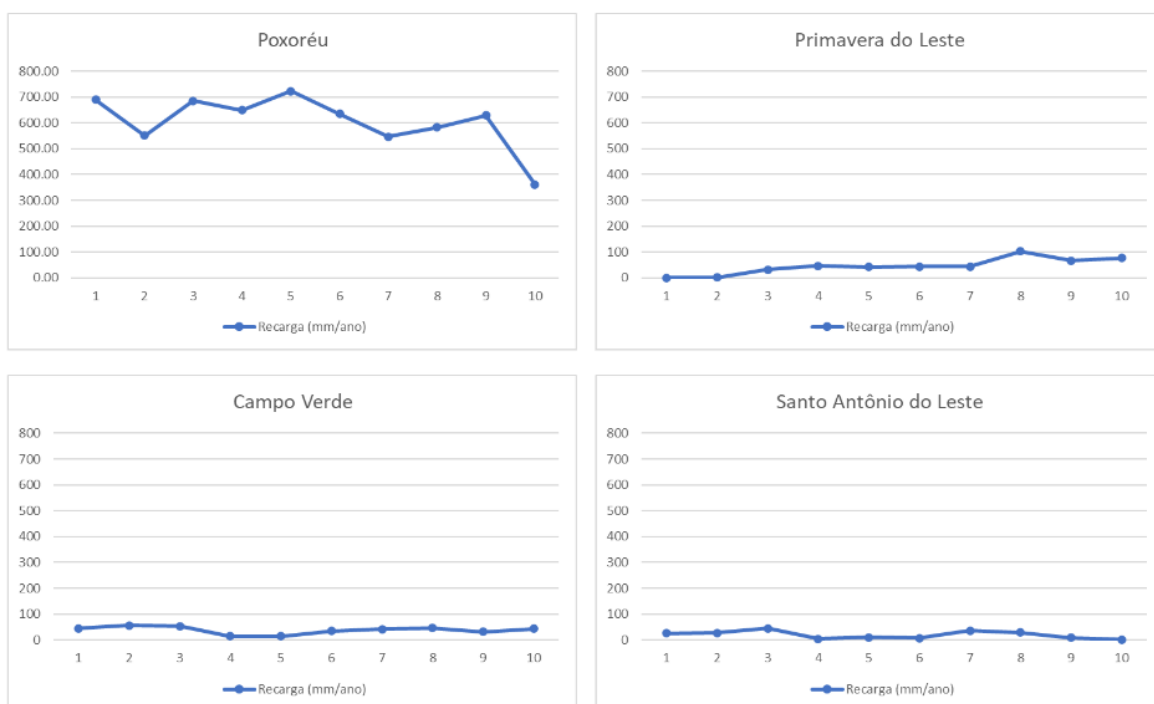


Figura 5.50 - Gráficos de distribuição da recarga ao longo do período 2013/2022.

5.2.9 Rede de Monitoramento

A rede de monitoramento da RIMAS-SBG no estado de Mato grosso é composta por 26 poços de monitoramento, conforme se apresenta no mapa da Figura 5.51.

Desses, na região do estudo foi identificado apenas um ponto de monitoramento na RIMAS, marcado em vermelho na Figura 5.51, de código 5200007036, o qual apresenta informações completas e monitoramento do nível de água. Este poço foi instalado no município de Primavera do Leste em junho de 2012, tem 60 m de profundidade e o filtro está instalado em sedimentos do Grupo Bauru, sendo a zona de captação sobreposta por coberturas detrito-lateríticas (Figura 5.52).

Durante o período entre 2012 e 2022, a altitude do nível de água no poço 5200007036 variou entre o máximo de 649,5 m e o mínimo de 643 m, uma diferença de nível de 6,5 m no período (Figura 5.53). De acordo com os dados do monitoramento, o pico da cheia ocorre usualmente no mês de abril e o fim da estiagem entre os meses de novembro e dezembro. Foi possível verificar uma queda progressiva nos picos de cheias, que pode estar associada a uma redução dos índices pluviométricos nos últimos anos. Porém, estudos complementares são necessários para uma confirmação.

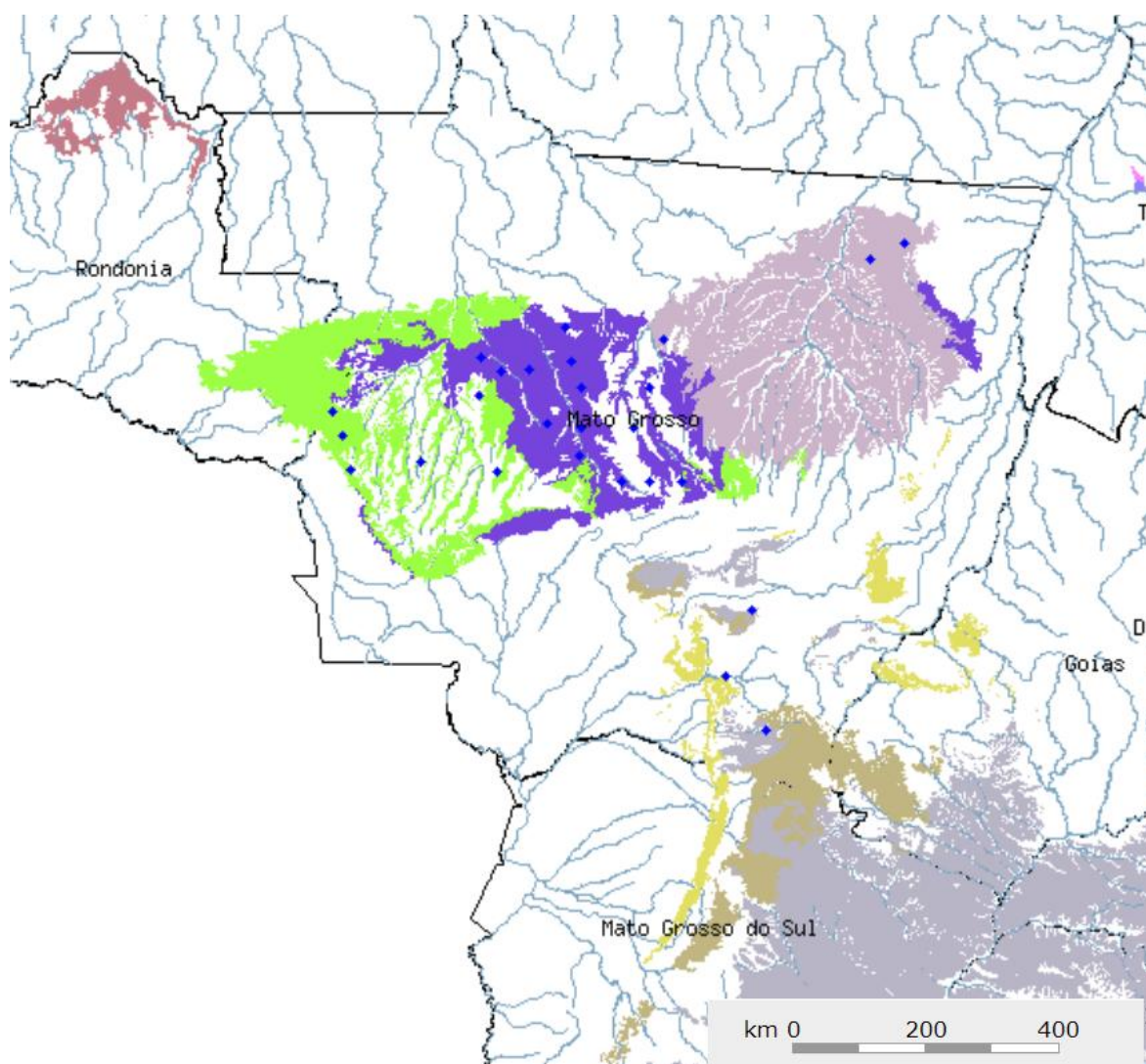


Figura 5.51 - Poços de monitoramento da rede RIMAS no estado de Mato Grosso. Em vermelho, poço localizado na bacia do rio das Mortes (CPRM-SBG, 2024).



Figura 5.52 - Poço de monitoramento (5200007036) da RIMAS/SGB/CPRM instalado em Primavera do Leste (MT) e seu perfil geológico/construtivo (à esquerda), onde se observa: o poço tubular com as zonas de filtros situadas entre 32-36 m, 44-48 m e de 52-60 m de profundidade; o pré-filtro, que ocorre em toda a extensão do poço; as litologias de arenito – mais claro - e arenito argiloso – castanho escuro; e a posição do sensor de dados, em verde.

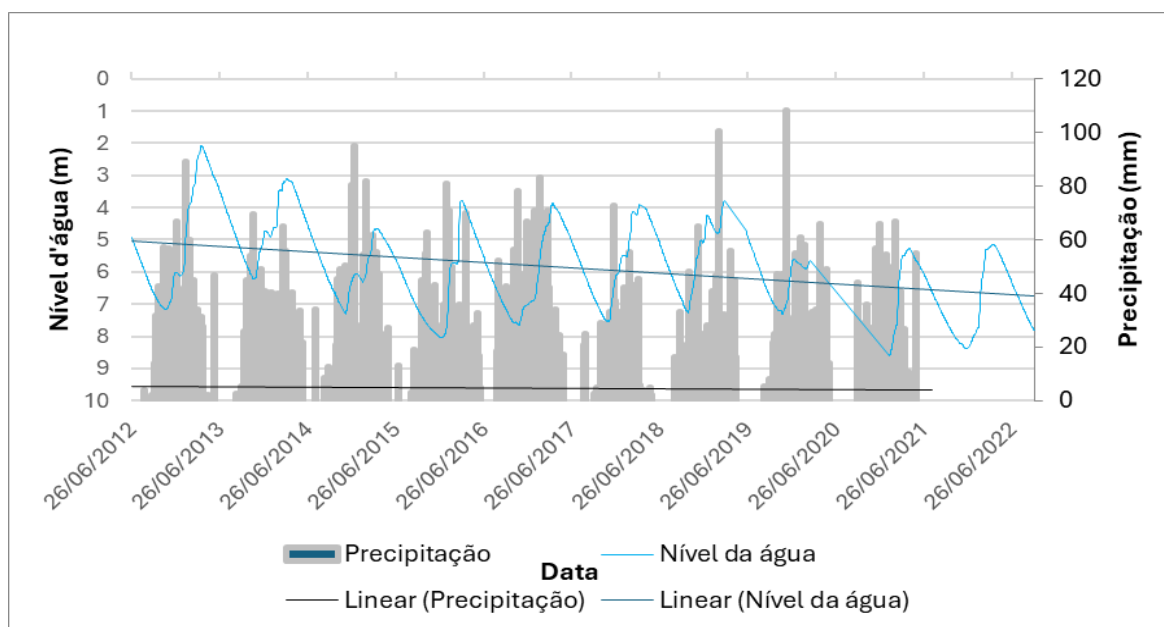


Figura 5.53 - Gráfico do monitoramento do NA no poço (5200007036) da RIMAS/SGB/CPRM em Primavera do Leste (MT), em comparação com a precipitação da Estação Poxoréu (histograma cinza).

Ressalta-se que, de acordo com a CPRM-SBG (2022), já foi realizada a licitação para a instalação de no 15 (quinze) novos poços para monitoramento do aquífero Parecis.

5.3 CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA E HIDROQUÍMICA DOS AQUÍFEROS - BACIA DO ALTO TELES PIRES

5.3.1 Introdução

Neste relatório apresentam-se, após a introdução (capítulo 1) e a descrição geológica da área de estudo (capítulo 2), os dados levantados, tratados e analisados referentes à Atividade 5.2 – Caracterização hidrodinâmica e hidroquímica dos aquíferos existentes na bacia do Alto Teles Pires (respectivamente capítulos 3 e 4). Em relação à atividade 5.3 – Elaboração do modelo hidrogeológico conceitual regional, o presente documento apresenta as informações coletadas, tratadas e analisadas desde o início de junho até o momento, e que compõem parte do arcabouço necessário à elaboração do modelo hidrogeológico conceitual, cujo prazo de encerramento é 28 de fevereiro de 2025.

O território brasileiro apresenta diversas bacias intracratônicas de extensão regional. As bacias intracratônicas são bacias sedimentares de grande extensão, localizadas em áreas de crosta continental relativamente estáveis e espessas, de grande extensão, e distantes dos limites de placas tectônicas. Geralmente sua formação está associada à separação de continentes em processos de subsidência termal (KLEIN e HASUI, 1987; ALLEN e ARMITAGE, 2012). A bacia do Parecis é uma das maiores bacias intracratônicas brasileiras. Está localizada a sudeste do cráton amazônico e tem idade Neoproterozoica, cobrindo uma área de cerca de 355.000 km² (ANP, 2022). Abrange os estados de Rondônia e principalmente Mato Grosso, no qual se localiza a sua maior extensão territorial (Figura 5.54).



Figura 5.54 - Mapa de bacias intracratônicas brasileiras, mostrando a localização da Bacia dos Parecis (Fonte: BAHIA et al. 2007).

Geomorfologicamente, a região é caracterizada pela presença de dois sistemas de aplainamento que se desenvolveram sobre rochas da bacia sedimentar dos Parecis e que correspondem à Chapada dos Parecis e ao Planalto dissecado dos Parecis. (SANTOS, 2000). O planalto e chapada dos Parecis abrangem a porção centro-oeste do Mato Grosso até o sudeste de Rondônia, com altitudes em torno de 800 m na chapada. A Chapada representa o divisor de águas entre as bacias do Amazonas e do Prata e constitui uma cuesta, mergulhando suavemente para o norte, sendo fortemente dissecada, de modo que as cabeceiras das duas maiores bacias hidrográficas da América do Sul estão, às vezes, separadas por distâncias de menos de 3 km. Trata-se de um modelado de topos planos e arredondados esculpidos em rochas sedimentares cretáceas e sedimentos finos do Terciário.

As serras do Roncador, Daniel e Tapirapuã constituem degraus de escarpas cuestiformes à leste e ao sul (PETRI e FÚLFARO, 1981). Os basaltos eocretáceos ocupam

a chamada Serra de Tapirapuã, que forma o degrau frontal do flanco sul da cuesta dos Parecis. Sedimentos neocretáceos dispõem-se acima dos basaltos em outro degrau. A geomorfologia da região reflete, portanto, a estrutura geológica. O topo da chapada é plano e ocupado por vegetação secundária do tipo de cerrado que contrasta com a vegetação mais densa da área basáltica e de áreas ao norte, pertencentes ao sistema de drenagem do Amazonas. A floresta é provavelmente relict, desenvolvida durante condições climáticas diferentes das vigentes hoje.

5.3.2 Aspectos Geológicos

A seguir, apresentam-se informações sobre aspectos geológicos gerais da região do estudo (ver o mapa da Figura 5.55), que considera as áreas dos municípios localizados na região da chapada dos Parecis. Esta coincide com parte da bacia hidrográfica do Alto rio Teles Pires, objeto deste capítulo, e também da bacia do rio das Mortes, considerada em outro capítulo do presente relatório. É preciso salientar que as definições da estratigrafia regional da Bacia dos Parecis têm mudado bastante nos últimos anos, em função de novos estudos e revisão da história geológica regional. Assim, as definições vão sendo apresentadas ao longo do capítulo.

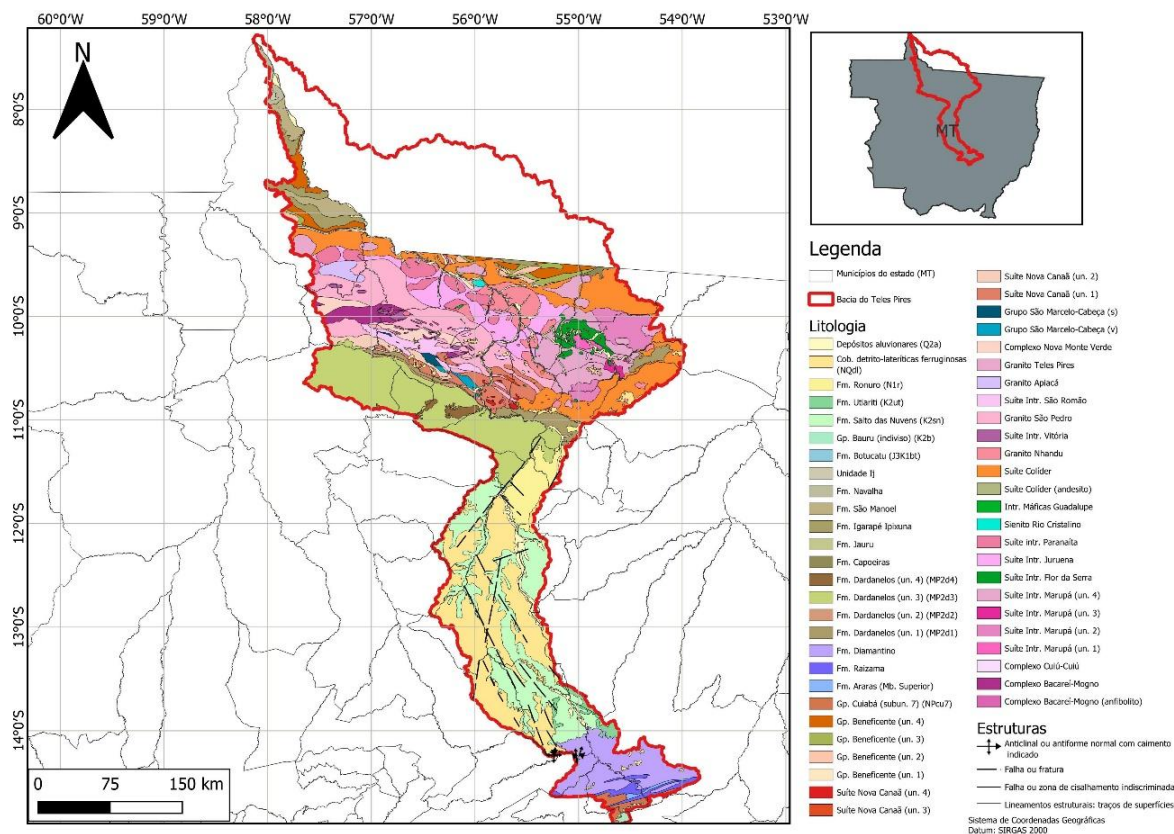


Figura 5.55 - Mapa geológico da região de interesse, compreendendo a bacia hidrográfica do Alto rio Telles Pires, ambas abrangidas pelo presente estudo em desenvolvimento (Referência: Mapa geológico do estado do Mato Grosso, CPRM/SGB, 2004. Base de dados utilizada: GeoSGB, 2024 <https://geosgb.sgb.gov.br/geosgb>).

O mapa geológico da Figura 5.56, resultado de trabalhos realizados por diversos autores (PETRI e FÚLFARO, 1981; SIQUEIRA, 1989; BAHIA e PEDREIRA, 1996; SCHOBENHAUS et al. 2003; BAHIA et al. 2006), mostra as principais unidades litoestratigráficas que formam a bacia e uma seção geológica esquemática NW-SE, podendo-se observar as unidades que afloram no estado de Mato Grosso que compõem a região de interesse ao projeto. É importante observar que essa definição das características geológicas da Bacia foi posteriormente reestudada e novos trabalhos aportaram modificações na estratigrafia que resultaram em novas terminologias das unidades geológicas. Esse desenvolvimento do conhecimento será apresentado ao longo do capítulo.

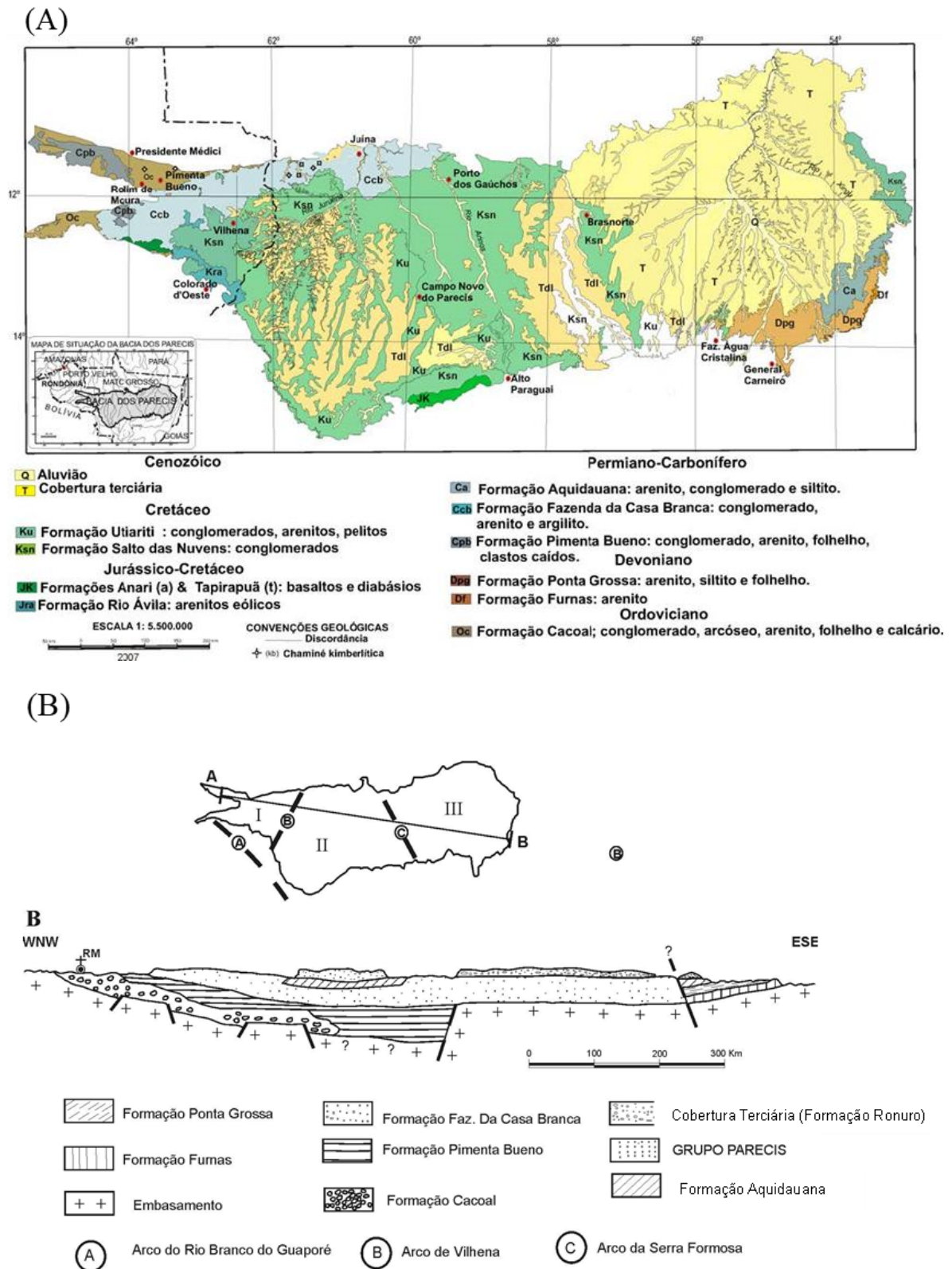


Figura 5.56 - Mapa (A), seção geológica esquemática NW-SE (B) (Fonte: BAHIA et al., 2007). Convenções: I - Fossa Tectônica de Rondônia; II - Baixo Gravimétrico dos Parecis; III - Depressão do Alto Xingu (modificado de BAHIA et al., 2007).

Segundo a CPRM-SGB (2012), a bacia apresenta uma espessura de mais de 6000 m de sedimentos, de idades paleozoica, mesozoica e cenozoica, cujos limites sudeste e sudoeste são, respectivamente, os arcos de Xingu e Rio Guaporé (ANP, 2022). A bacia é dividida, de oeste para leste, em três domínios tectonossedimentares, separados respectivamente pelos arcos de Vilhena e Serra Formosa (SIQUEIRA et al., 1989; SIQUEIRA e TEIXEIRA, 1993; apud ANP, 2022): no extremo oeste, a Fossa Tectônica de Rondônia (Sub-Bacia de Rondônia); na porção central, um baixo gravimétrico (Sub-Bacia de Juruená – denominado também de baixo gravimétrico dos Parecis) e no extremo leste uma bacia interior, a denominada Sub-Bacia (ou depressão) do Alto Xingu (Figura 5.56B). A profundidade estimada do embasamento econômico pela integração de métodos sísmicos e gravimétricos é de cerca de 6 km (LOUREIRO et al., 2017; FONTES et al., 2019; apud ANP, 2022).

A origem da Bacia dos Parecis está ligada a um evento extensional de idade paleozoica na região amazônica, na qual se implantaram riftes intracontinentais em zonas de fraqueza prévias. Nas depressões desenvolvidas nestes riftes depositaram-se, do Devoniano ao Cretáceo, as formações Furnas, Ponta Grossa, Pimenta Bueno (restrita à Rondônia) Fazenda Casa Branca (apenas na porção noroeste da bacia) Rio Ávila e Parecis (SILVA, 2003; apud CPRM, 2012). O embasamento da Bacia dos Parecis é o Cráton Amazônico, que compreende rochas metamórficas de alto e médio grau, bem como rochas intrusivas.

Dentro dos limites da área de estudo, a norte da Bacia dos Parecis, ocorrem diversas rochas ígneas compostas por suítes intrusivas, suítes vulcânicas, corpos alcalinos e corpos graníticos e tonalíticos que compõem aquíferos fraturados. Essas rochas, a despeito de poderem eventualmente terem algum potencial aquífero, não são adequadas para fornecer água para irrigação mecanizada, que é o foco principal do estudo, por não apresentarem produtividades muito elevadas.

Na porção do território mato-grossense localizada entre a região de ocorrência das rochas intrusivas descritas acima e a Bacia dos Parecis, ocorrem rochas da Formação Dardanelos, de idade mesoproterozoica, que constitui aquífero poroso e fissurado, composto por arenitos e conglomerados, com estratificações cruzadas e plano paralelas e, portanto, com potencial para fornecer maiores vazões de captação. Segundo Ribeiro (2008), no perfil estratigráfico da cidade de Sinop encontram-se rochas da Formação Dardanelos (arenito arcoseano), do Grupo Caiabis; Formações Salto das Nuvens (arenitos e conglomerados polimíticos) e Utiariti (arenitos finos a médios), do Grupo Parecis; e da Formação Ronuro (areia, silte, argila, cascalho e lateritas).

5.3.2.1 Estratigrafia e Domínios Tectono-Sedimentares

Diversos autores pesquisaram e descreveram a estratigrafia da Bacia dos Parecis, admitindo geralmente uma contribuição majoritariamente paleozoica para as rochas que compõem seu pacote sedimentar (SIQUEIRA, 1989; BAHIA et al., 2007). Em termos litoestratigráficos, a Bacia dos Parecis está segmentada em nove unidades (Figura 5.57), depositadas entre o Ordoviciano e o Cenozoico (BAHIA, 2007; BAHIA et al., 2006).

Estas interpretações estão em grande parte ancoradas em rochas e afloramentos descritos na Sub-Bacia de Rondônia, porém não se adequam completamente aos novos dados sísmicos adquiridos pela ANP, nos quais grande espessura de sedimentos paleozoicos estaria encaixada em grábens proterozoicos.

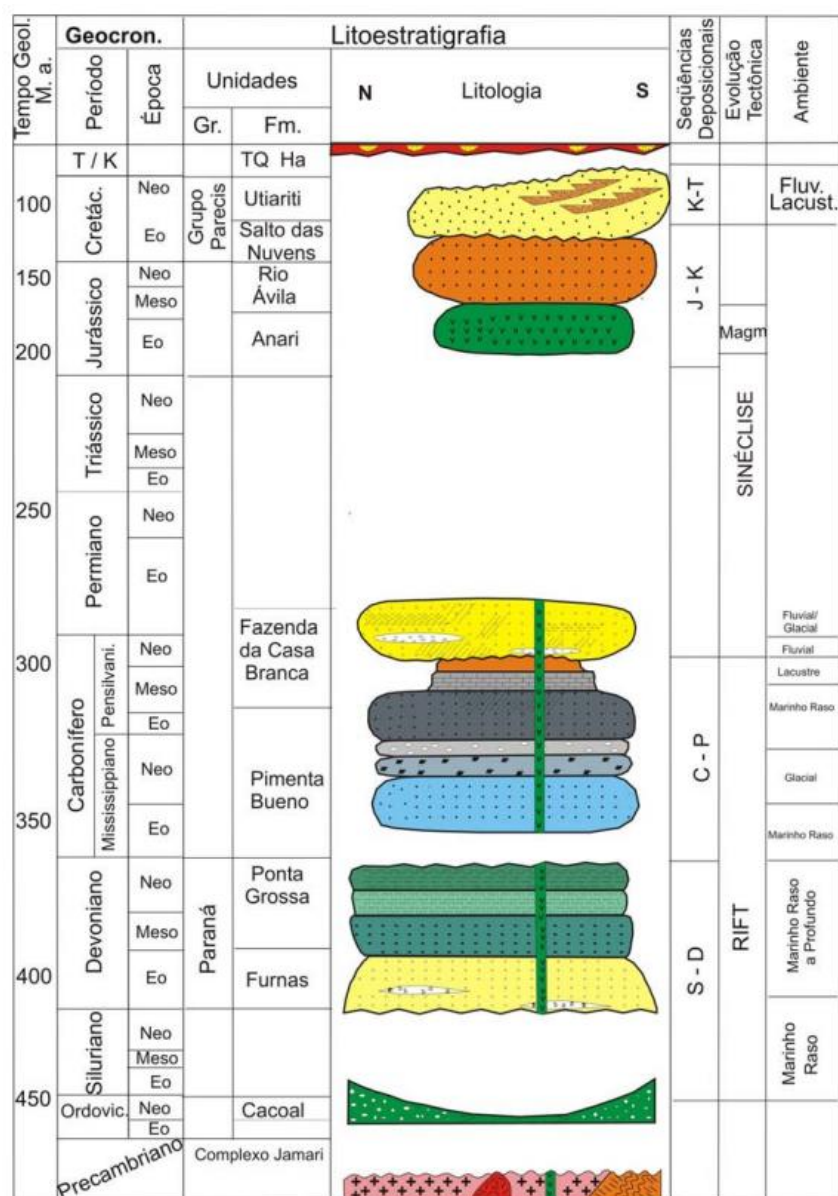


Figura 5.57 - Coluna estratigráfica da Bacia dos Parecis (CPRM, 2008).

Com base nestes trabalhos e nas linhas sísmicas adquiridas pela ANP, as rochas dos poços 2-FI-1-MT e 2-SM-1-MT foram reposicionadas estratigraficamente. Assim, foi elaborada, em caráter preliminar, uma nova coluna estratigráfica, mostrada na Figura 5.58, para a porção central da Bacia dos Parecis – Sub-Bacia de Juruena (baixo gravimétrico dos Parecis), de maneira a incorporar as novas interpretações.

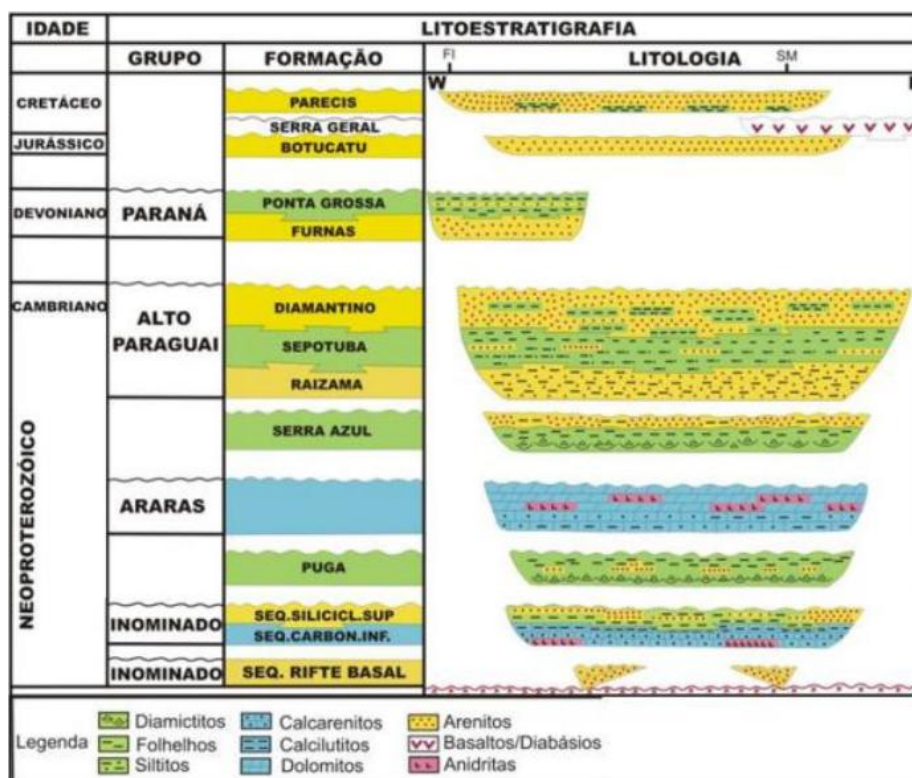


Figura 5.58 - Coluna estratigráfica preliminar da Bacia dos Parecis – Sub-bacia de Juruena (HAESER et al., 2014)

Sotoposto à seção paleozoica descrita no poço Salto Magessi-1 (arenitos e folhelhos da Formação Parecis, vulcanismo da Fm. Serra Geral e arenitos da Formação Botucatu), foram amostradas pelo poço Fazenda Itamarati-1 rochas que podem ser correlacionadas àquelas do Grupo Paraná (folhelhos da Formação Ponta Grossa e arenitos da Formação Furnas) (HAESER et al., 2014). Vasconcelos; Morales; Figueiredo (2014; Apud ANP, 2022) também promoveram uma outra revisão estratigráfica na qual estes autores renomearam a Formação Parecis para Utiariti e a Formação Botucatu para Salto das Nuvens, mantendo ambas como Grupo Parecis.

Haeser et al. (2014) reinterpretaram as rochas anteriormente definidas como pertencentes à Formação Fazenda Casa Branca no poço Salto Magessi-1 como pertencentes ao Grupo Alto Paraguai, subdividindo-as em três formações: a Formação Diamantino no topo,

dominada por arenitos; a Formação Sepotuba dominada por folhelhos e siltitos na porção intermediária; e a Formação Raizama na porção basal, dominada por intercalações de arenitos e siltitos. Os diamictitos da base desta sequência foram interpretados como pertencentes à Formação Serra Azul, separados por uma discordância de uma espessa unidade carbonática, originalmente descrita como Formação Pimenta Bueno, porém reinterpretada como Grupo Araras, com uma unidade dolomítica no topo e calcarenitos e calcilutitos na base e níveis de anidrita (HAESER et al., 2014). As rochas do Grupo Araras (ou Formação Pimenta Bueno) não ocorrem no estado de Mato Grosso, enquanto as rochas da Formação Casa Branca, denominadas como Grupo Alto Paraguai por Haeser et al. (2014) ocorrem apenas na porção noroeste da bacia do Parecis no estado de Mato Grosso (Figura 5.56).

Os folhelhos cinza-esverdeados e diamictitos sotopostos compõem a Formação Puga, que se sobrepõe discordantemente a uma unidade composta por duas sequências ainda inominadas: a Sequência Siliciclástica Superior, dominada por siltitos com níveis de areia e folhelho e a Sequência Carbonática Inferior, composta principalmente por calcilutitos e calcarenitos, com níveis de arenito, siltito, dolomito e anidrita. Esta unidade sem denominação formal limita-se discordantemente da Sequência Rifte Basal, que por sua vez é composta por arenitos e siltitos (HAESER et al., 2014).

Outra revisão estratigráfica, realizada por Vasconcelos; Morales; Figueiredo (2014) renomeou as Sequências Siliciclástica e Carbonática com os nomes Formação Bauxi e Salto Magessi, respectivamente. Ambas as formações pertencem ao Grupo Alto Paraguai.

A Bacia dos Parecis, classificada como bacia do tipo rifte-sag (BAHIA et al., 2007) foi dividida por Siqueira (1989), conforme já comentado Figura 5.56, em três domínios tectono-sedimentares (a Fossa Tectônica de Rondônia (Sub-bacia de Rondônia), no oeste da bacia; o Baixo Gravimétrico dos Parecis (Sub-bacia do Juruena), sudoeste da bacia; e a Depressão do Alto Xingu (Sub-bacia do Alto Xingu), no limite leste da bacia. Essas três feições maiores contêm subdivisões que constituem grábens e altos estruturais grosso modo transversais àquelas feições principais (Figura 5.59).

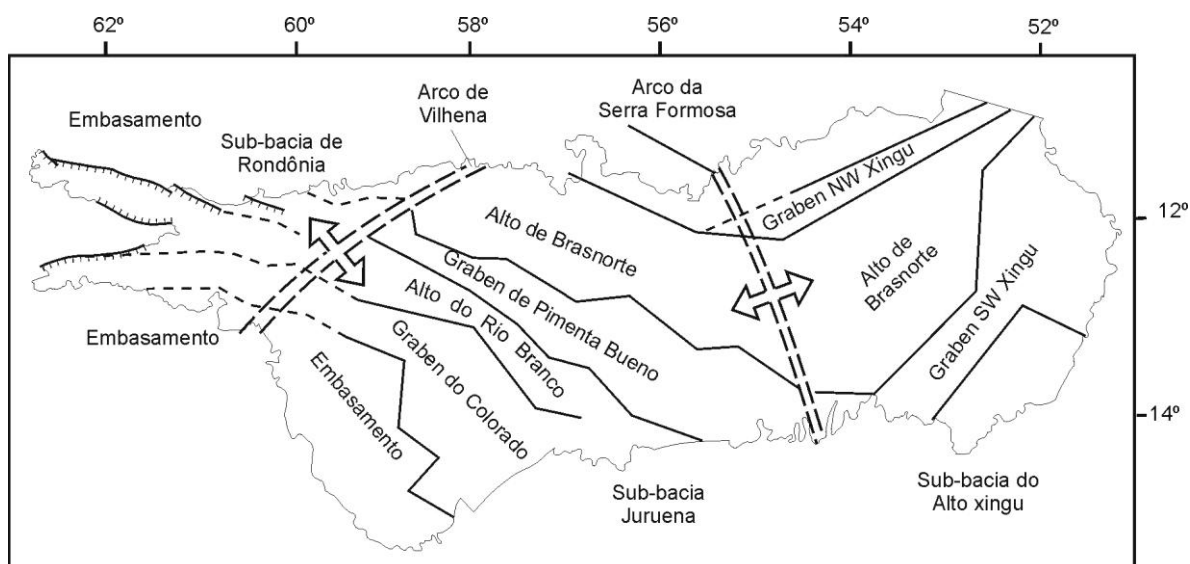


Figura 5.59 - Domínios tectônicos da Bacia dos Parecis (BAHIA et al., 2007; modificado de SIQUEIRA, 1989).

Em resumo, o conhecimento estratigráfico e tectônico da Bacia dos Parecis tem sofrido atualizações em função da realização de novos estudos e investigações, incluindo estudos geofísicos (ver item 4.3.2.3 a seguir) o que tem levado a modificações significativas da estratigrafia da bacia nos últimos 10 anos.

5.3.2.2 Espessura dos Estratos e Unidades Sedimentares

A Bacia dos Parecis não conta com muitos furos estratigráficos profundos disponíveis, conforme citado por Dardene et al. (2006). De acordo com a ANP (2022), em 1992 foram realizados os primeiros levantamentos de sísmica bidimensional na bacia pela Petrobras, que culminaram com a aquisição de cerca de 490 km lineares de dados sísmicos. Em 1993, foi perfurado o primeiro poço para prospecção petrolífera na bacia, o poço Fazenda Itamarati-1 (2-FI-1-MT), que atingiu o embasamento em 2386 m. Em 1995 foi perfurado o poço Salto Magessi-1 (2-SM-1-MT) com profundidade total de 5777 metros, mesmo assim esse poço não atingiu o embasamento. Em 2002, o Observatório Nacional concluiu um perfil de 500 km de sondagens pelo método magnetotelúrico constatando uma profundidade sedimentar de cerca de 7500 metros na Bacia (FLEXOR et al., 2003).

No âmbito dos Planos Plurianuais de 2007-2014 e 2015-2018, a ANP realizou diversas campanhas de aquisição de dados. Foram realizadas duas aquisições sísmicas bidimensionais de caráter regional na Bacia dos Parecis: 1489 km de sísmica com explosivos

em 2012 e 5322 km com vibroseis em 2016. Também foram adquiridos 958,50 km de perfis de dados magnetotelúricos em 2016 (ANP, 2022).

Além da sísmica, foram perfurados dois poços estratigráficos: o poço 2- ANP-0004-MT, que alcançou 3200 m de profundidade, e o poço 2-ANP0006-MT, que atingiu 4485 m, sendo que ambos encontraram o embasamento cristalino (ANP, 2022). Mais recentemente, estudos realizados pela ANP (2022) permitiram elaborar um mapa de profundidades do embasamento cristalino (Formação Bauxi) em uma parte da Bacia dos Parecis, conforme mostrado na Figura 5.60.

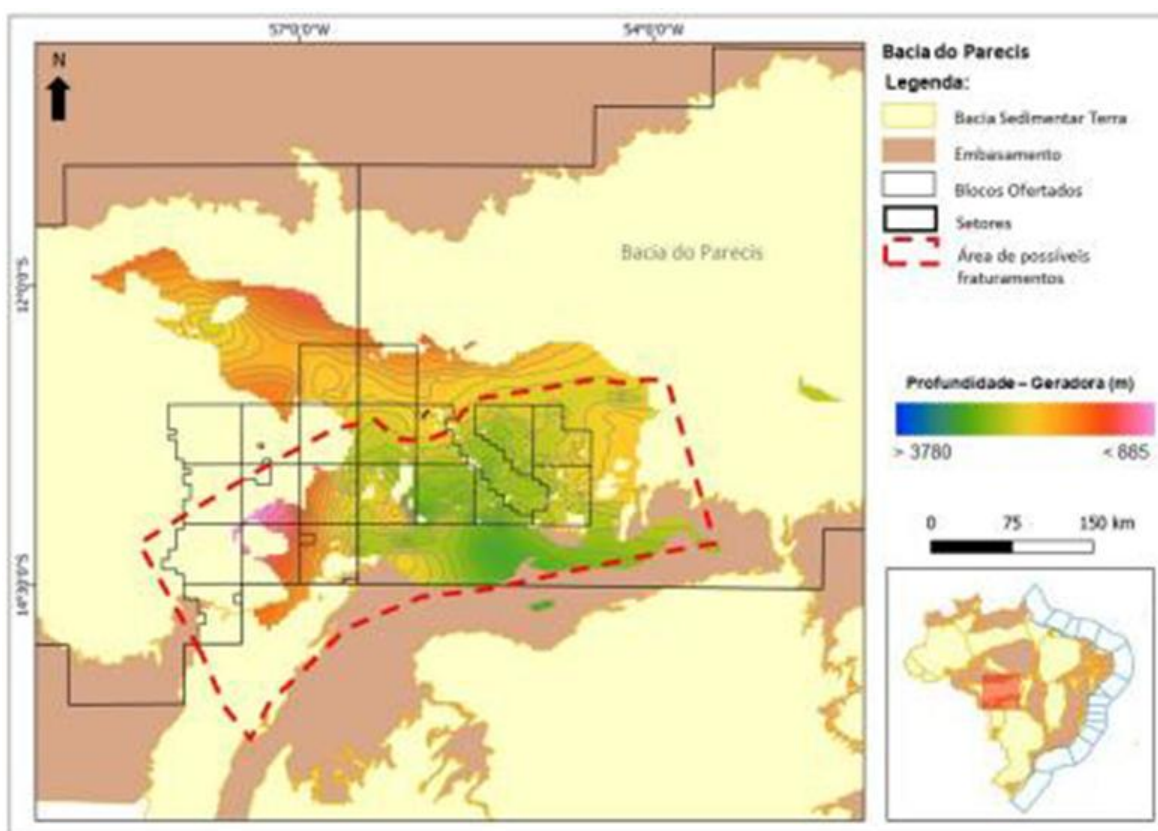


Figura 5.60 - Mapa de profundidade do topo da Formação Bauxi interpretada (ANP, 2022).

De acordo com Lussi (2013), na cidade de Sinop, a Formação Salto das Nuvens tem espessura entre 59 e 350 m e profundidade de topo entre 50 e 129 m; enquanto a Formação Utiariti tem espessuras entre 45 e 110 m, com profundidade de topo entre 1,6 e 8,3 m. Migliorini et al. (2021), em estudo mais recente, afirmam que a espessura do Aquífero Salto das Nuvens varia entre 80 e 550 m.

Cutrim et al. (2021) com base em sondagens elétricas verticais (SEV) realizadas no perímetro urbano de Lucas do Rio Verde definiram as espessuras das camadas investigadas na pesquisa: cobertura pedológica, com espessura entre 11,5 e 15,6 m; Formação Utiariti,

com espessura entre 75 e 106 m. Entretanto, os autores afirmam que a espessura da Formação Utuariiti não considerou os últimos 30 m, compostos por arenitos argilosos intercalados com finas camadas de arenito de textura grossa. Na Figura 5.61 apresenta-se o mapa de isoespessura obtido pelos autores.

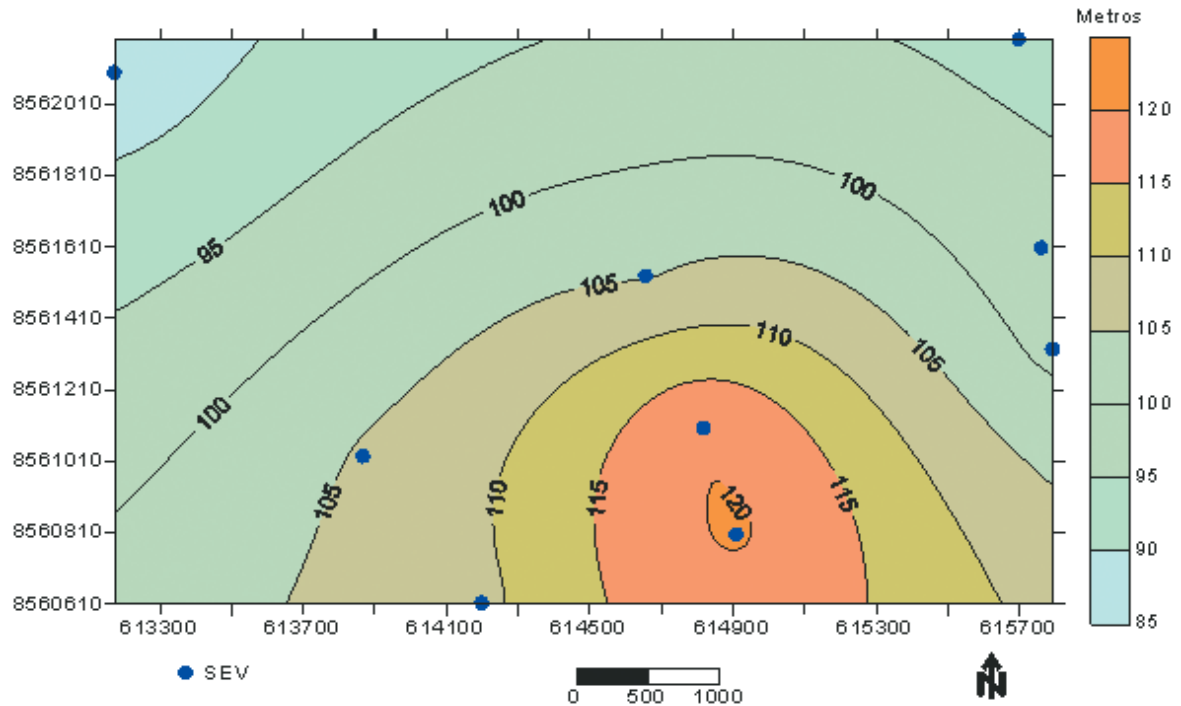


Figura 5.61 - Mapa de isoespessura do Aquífero Utuariiti com base em SEVs realizadas na área urbana de Lucas do Rio Verde (MT) (CUTRIM et al. 2021).

5.3.2.3 Levantamentos Geofísicos

A Bacia dos Parecis encontra-se bem coberta por levantamentos regionais geofísicos por métodos potenciais, realizados pela Petrobrás, CPRM e IBGE (Bahia et al., 2007), cuja localização é mostrada na Figura 5.62.

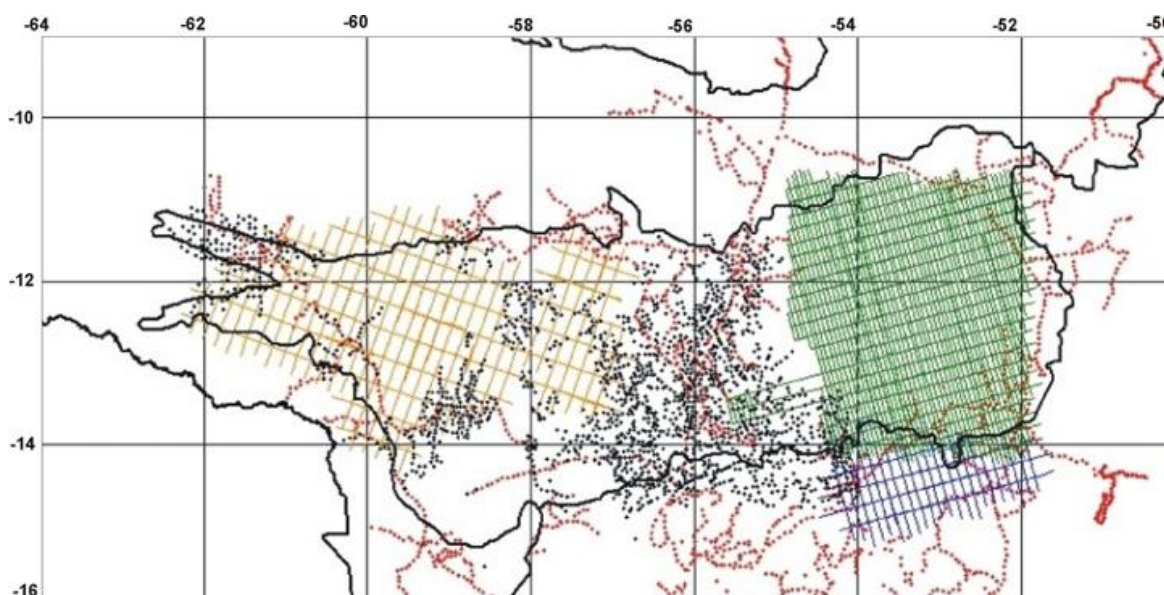


Figura 5.62 - Mapa com localização dos levantamentos gravimétricos e magnéticos realizados na Bacia dos Parecis (BAHIA et al. 2007).

Os levantamentos gravimétricos na bacia do Parecis foram realizados por dois órgãos – IBGE (terrestre) e Petrobrás (aéreo), com objetivos, técnicas e espaçamentos distintos. O mapa resultante, resultado da interpolação desses levantamentos, apresentado na Figura 5.63, mostra que a região é a única grande anomalia Bouguer negativa do Cráton Amazônico – daí a origem do nome “Baixo Gravimétrico Parecis”.

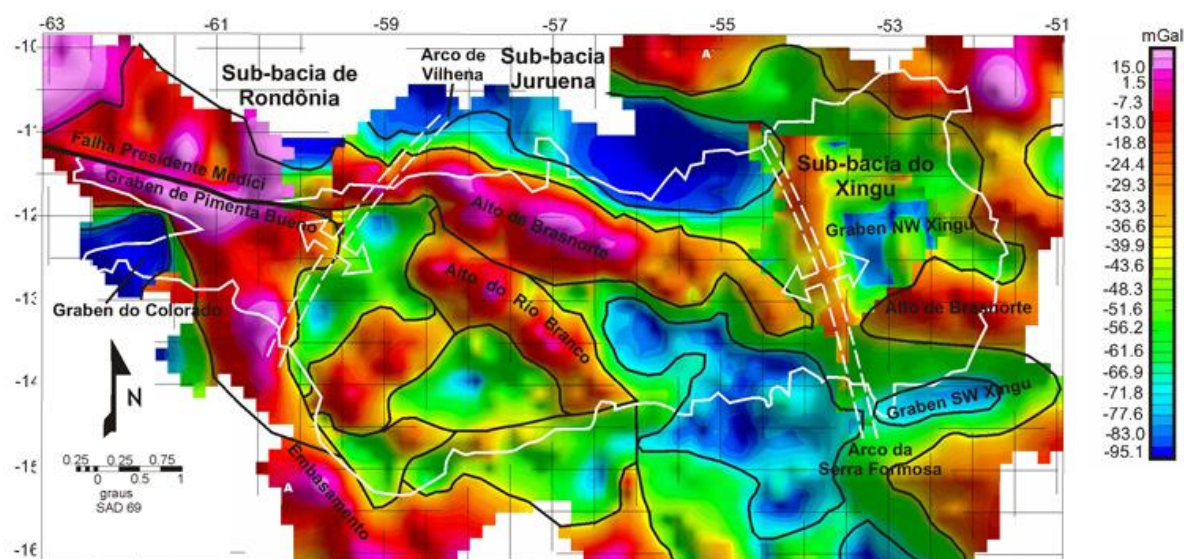


Figura 5.63 - Mapa gravimétrico Bouguer da Bacia dos Parecis (BAHIA et al. 2007).

No mapa da Figura 5.63 estão indicados a assinatura geométrica das principais falhas da bacia, a estrutura dos domínios geológicos e a localização dos principais depocentros da bacia. Observam-se nitidamente dois baixos gravimétricos a norte e no centro-oeste da bacia,

separados por um alto estrutural com direção Leste-Oeste, confirmando o trend regional das estruturas. Estes baixos gravimétricos são coincidentes com o prosseguimento dos grábens de Pimenta Bueno e Colorado, por baixo da sequência mesozoica, relacionados com a fase rifte, precursora da bacia (BAHIA et al. 2007).

Dados magnéticos estão disponíveis apenas para a porção oeste da Bacia dos Parecis, mais precisamente para a Sub-bacia Juruena (BAHIA et al. 2007) e são mostrados na Figura 5.64, no qual estão apresentadas as maiores anomalias magnéticas negativas da Bacia dos Parecis, associadas aos lineamentos magnéticos e gravimétricos, que evidenciam o prosseguimento dos grábens de Pimenta Bueno e Colorado por mais de 700 km na direção leste, separados por um alto estrutural denominado de Alto do Rio Branco do Guaporé (SOEIRO et al., 1981, apud BAHIA et al., 2007), correspondendo à Fossa Tectônica de Rondônia de Siqueira (1989). Esta megaestrutura representa a fase rifte da evolução da Bacia dos Parecis que, juntamente com as sub-bacias do Juruena e do Alto Xingu, separadas pelo Arco da Serra Formosa, correspondem aos principais depocentros da bacia.

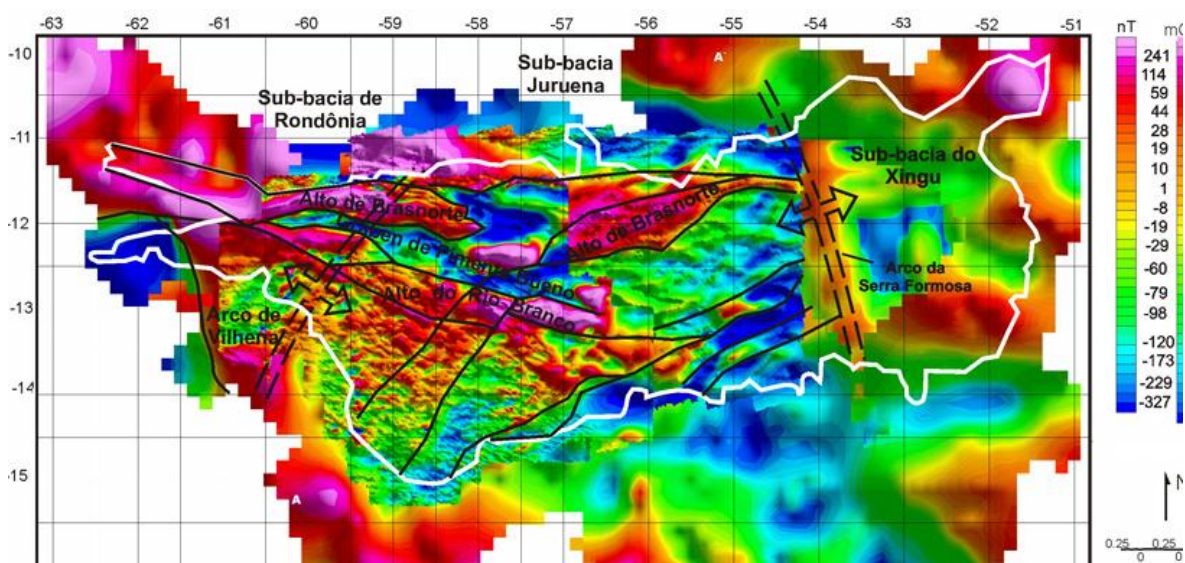


Figura 5.64 - Mapa magnético com integração dos lineamentos magnéticos e gravimétricos da Bacia dos Parecis (BAHIA et al., 2007).

5.3.2.4 Grupo Parecis e Formação Ronuro

O Grupo Parecis aflora entre as cidades de Vilhena-RO (oeste), Brasnorte-MT (leste) e Alto Paraguai-MT (centro sul). No estado do Mato Grosso ocupa uma área aproximada de 160.201 km², correspondendo a aproximadamente 17,7% da área total do estado (Figura 4.65). Foi formado no Cretáceo Superior e é constituído essencialmente por conglomerados

e arenitos depositados em ambiente continental e marinho raso (Bahia et al., 2007). É composto por duas formações: Salto das Nuvens, inferior e Utiariti, superior.

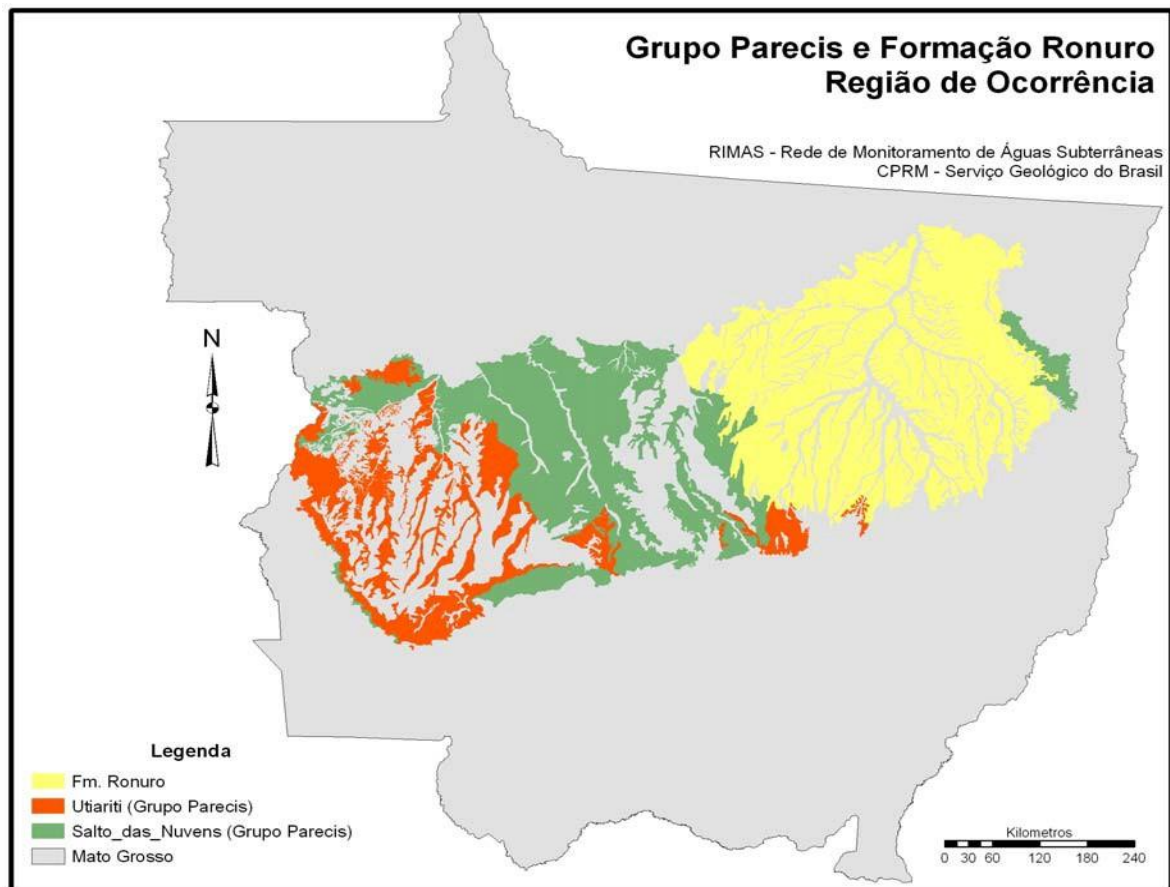


Figura 5.65 - Região de ocorrência do Grupo Parecis e da Formação Ronuro no estado de Mato Grosso (CPRM, 2012).

A Bacia dos Parecis (Figura 5.65) é tratada como um sistema aquífero poroso e livre (ANA, 2005) mas, localmente, podem ocorrer porções confinadas a semiconfinadas em função da presença de níveis de arenitos silicificados, de origem diagenética, exemplificados na Figura 5.66 (SILVA, 2013).

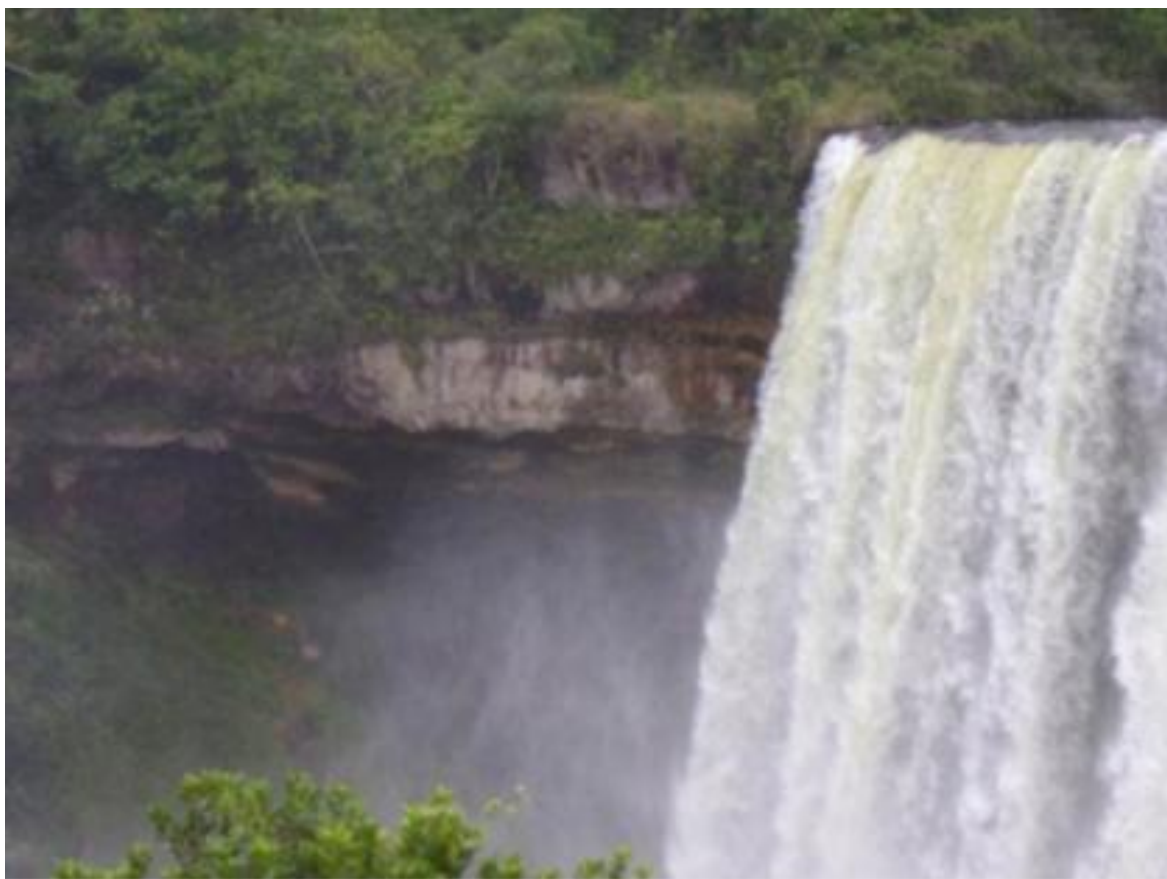


Figura 5.66 - Detalhe de nível de arenito silicificado no topo da cachoeira que suporta queda d'água (SILVA, 2013).

A Formação Utiriti (Figura 5.65), porção superior do Grupo Parecis, ocorre nas cotas mais elevadas do Planalto dos Parecis, é composta por arenitos com cores variadas - desde amarela, roxa a vermelha, compostos essencialmente de quartzo e feldspato; conglomerados e folhelhos. São maciços, mas podem localmente apresentar estratificação plano-paralela ou cruzada de pequeno porte. A granulometria é fina a média, com seixos de quartzo arredondados e de boa esfericidade nas porções basais (BAHIA et al., 2006). Tem origem interpretada como eólica (CPRM, 2008) e seu contato é gradacional com a Formação Salto das Nuvens.

A Formação Salto das Nuvens, do Cretáceo Médio a Superior, cuja seção tipo situa-se na cachoeira Salto das Nuvens, no rio Sepotuba, nas proximidades de Tangará da Serra (MT), compreende conglomerados polimíticos, mal selecionados, com clastos de gnaiss, quartzito, arenito, folhelho e ardósia; intercalados com lentes de arenito vermelho e arenitos bimodais, com esterificação cruzada de grande porte (Figura 5.67). Os sedimentos foram depositados em ambientes de leque aluvial e canal fluvial, com contribuição eólica.



Figura 5.67 - Litotipos da Formação Salto das Nuvens. À esquerda, nível de conglomerado mal selecionado com clastos de basalto alterado e, à direita, arenito bimodal com estratificação cruzada de grande porte (SILVA, 2013).

Na Figura 5.68 apresenta-se a coluna estratigráfica do Grupo Parecis, de acordo com a interpretação de BAHIA et al. (2007).

Metros	Litologia	Descrição	Interpretação
150 m	Formação Utirariti	Arenito bimodal com estratificação cruzada acanalada cuneiforme, interestratificado com argilito	Lagos interdunas invadidos por dunas migrantes.
		Arenito bimodal com estratificação cruzada tabular de grande porte.	Dunas tipo <i>seif</i> ou partes de dunas tipo barcanas ou estrelas.
		Arenito com estratificação cruzada acanalada com níveis de seixos na base e lentes de argilito.	Fácies fluvial; avulsão do canal indica baixa subsidência.
		Arenito bimodal com estratificação cruzada tabular de grande porte.	Dunas eólicas tipo <i>seif</i>
		Arenito fino com níveis de chert e marcas onduladas	Lagos interdunas
	Formação Salto das Nuvens	Conglomerado com seixos de arenito e quartzo, interacamadado com arenito fino.	Seqüência fluvial de alto gradiente. Os conglomerados representam depósitos de abandono
		Arenito fino a médio com intercalações de argilito e conglomerado.	Ambiente desértico: lagos, rasos e planícies de areia e cascalho
		Arenito fino com estratificação plano-paralela	Barras transversais e antidunas
		Conglomerado polimítico, mal selecionado com seixos de gnaiss, arenito e ardósia, intercalado com arenito fino.	Planície de areia e cascalho ou <i>wadis</i> .

Figura 5.68 - Coluna estratigráfica do Grupo Parecis (BAHIA et al., 2007).

A Formação Ronuro, originalmente considerada como de idade quaternária por Araújo & Carneiro (1977, apud SILVA, 2013) e correlacionada à Formação Araguaia, aflora continuamente na porção leste da Bacia dos Parecis, no domínio tectono-sedimentar “Depressão do Alto Xingu”. Foi depositada em uma depressão tipo sinéclise, a partir da intensa erosão no Plioceno, que dismantelou a crosta laterítica formada no início do Terciário. São aproximadamente 140.300 km² de sedimentos pouco consolidados, representados por areia, silte, argila e cascalho, além de lateritas que capeiam discordantemente as demais formações da bacia do Parecis (LACERDA FILHO, 2004; apud CPRM, 2012). Apresentam espessuras de até 48 m.

5.3.3 Aspectos Hidrodinâmicos

A despeito do aumento de estudos desenvolvidos na Bacia dos Parecis em anos recentes, a bacia, como um todo, ainda é carente de dados hidrogeológicos.

A Bacia dos Parecis faz parte da província hidrogeológica do centro oeste, onde predominam aquíferos fraturados em terrenos granito-gnáissicos (Complexo Xingu), em coberturas metassedimentares e em rochas vulcânicas ácidas (vulcanismo Uatumã) (MMA/SRH, 2007). Segundo o mapa de domínios e subdomínios (Bomfim, 2006) a bacia pertence ao subdomínio das bacias sedimentares, o qual é representado por aquíferos de altas vazões, com produções entre 100 e 200 m³/h e com águas de boa qualidade química.

A pesquisa na base de dados do SIAGAS – CPRM retornou um total de 109 poços cadastrados no aquífero Parecis, 23 poços no Aquífero Salto das Nuvens e 45 poços na Formação Ronuro. Não foram encontrados poços vinculados à Formação Utariti. Já a pesquisa realizada na base de dados do CNARH, com base em dados de 2023, mostrou a seguinte distribuição de poços por unidade aquífera: 29 na Formação Ronuro, 703 em coberturas indiferenciadas, 706 no Parecis, 65 na Formação Salto das Nuvens e 101 na Formação Utariti, totalizando 1604 poços na bacia do Parecis.

O trabalho realizado pela CPRM (2012) na base do SIAGAS contabilizou um número bem inferior (270 no total) de poços tubulares instalados na Formação Ronuro e no Grupo Parecis. A Formação Salto das Nuvens é a que possui maior número de poços cadastrados, com 46,5% do total, seguido do Aquífero Ronuro, com 44,7%. A maior parte dos poços é voltada para abastecimento doméstico, visto que 47,6% são de propriedade particular, abrangendo cooperativas agropecuárias e comerciantes.

De acordo com Backles & Migliorini (2022), os principais usos da água captada nestes poços são: abastecimento público (31%), consumo humano ou doméstico (27%), criação de animais (26%) e industrial (10%), com vazões médias de 19 m³/h. No entanto, as maiores vazões médias, 66 m³/h são utilizadas na irrigação, em 36 poços na maioria (90%) instalados no Aquífero Utariti.

Pereira et al. (2014) afirmam que no Sistema Aquífero Parecis ocorrem poços com vazões de até 300 m³/h e com capacidades específicas de até 15 m³/h/m.

5.3.3.1 Aquífero Utariti

Esta unidade distribui-se pela porção centro oeste do estado de Mato Grosso, entre os municípios de Juína, Brasnorte, Sapezal, Campos de Júlio, Comodoro, Tangará da Serra, Campo Novo do Parecis, Nova Lacerda, Barra dos Bugres e Pontes e Lacerda. Registram-se ainda ocorrências na porção leste do estado, nos municípios de São Jose do Rio Claro, Diamantino e até Paranatinga, este já mais próximo das cabeceiras do rio Xingu (CPRM 2012).

Considerando-se a base de dados do SIAGAS utilizada pela CPRM em 2012, composta por um total de 270 poços, 24 poços tubulares foram perfurados no Aquífero Utariti, com profundidades entre 55 e 180 m. As vazões de exploração variam desde 2,28 a 158,4 m³/h, com média de 20,95 m³/h. A capacidade específica regional média dos poços encontra-se em torno de 1,77 m³/h/m. As maiores vazões se concentram na região sudoeste da Formação (Campos de Júlio), enquanto as menores estão nas regiões de São José do Rio Claro e Campo Novo do Parecis. Os níveis estáticos variam entre 6 e 78 m, com média de 31 m. Na Tabela 5.5 apresenta-se um resumo dos dados referentes aos poços do Utariti.

Tabela 5.5 - Síntese dos dados dos poços cadastrados para o Aquífero Utariti (CPRM, 2012).

Parâmetro	Intervalo	Média Aritmética
Profundidade (m)	55 – 180	91,26
Vazão (m ³ /h)	2,28 – 158,4	20,95
Vazão específica (m ³ /h/m)	0,033 – 13,71	1,77
Nível Estático (m)	6,12 – 78 (5,7 a 8,7)	31,04

Obs.: os valores em parêntesis indicam o nível estático de acordo com os dados levantados por Cutrim et al. (2021) para a área urbana de Sinop (MT).

Cutrim et al. (2021), estudando a área urbana de Sinop (MT), encontraram valores de transmissividade entre $2,65 \times 10^{-2}$ m²/s, condutividade hidráulica de $3,49 \times 10^{-4}$ m/s e coeficiente de armazenamento de $3,54 \times 10^{-3}$. As vazões explotadas atingem os 100 m³/h com rebaixamento médio de 25 m. O nível estático varia de 0,7 a 12,7 m. As reservas permanente, renovável e explotável foram estimadas por Lussi (2013) em $226,9 \times 10^8$ m³, $18,58 \times 10^7$ m³ e $4,6 \times 10^7$ m³, respectivamente.

Backles & Migliorini (2022), com base em dados de 2570 poços na base de dados da SEMA-MT, da SEPLAN-MT e dos SIAGAS (de 1980 a fevereiro de 2017), determinaram algumas características, incluindo parâmetros hidrodinâmicos, do Aquífero Utiariti, cujos dados estão sintetizados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Síntese dos parâmetros dos poços tubulares profundos do Aquífero Utiariti (Backles & Migliorini, 2022).

Características Hidrogeológicas	Registros com Informação	Aquífero Utiariti	
		Min-Max	Média
Quantidade Poços	2570	1538	-
Profundidade (m)	2533	7 a 350	64
Vazão (m ³ /h)	2570	0,1 a 240	16
Nível Estático (m)	2570	0 a 116	17
Nível Dinâmico (m)	2570	2,2 a 136	29
Capacidade Específica (m ³ /h/m)	2570	0,01 a 114	2
Transmissividade (m ² /dia)	435	1 a 1500	178
Declividade do terreno (%)	2570	0 a 26	3
Recarga Potencial (mm/ano)	2570	1372 a 2027	1810
Espessura do Solo (m)	40	2 a 30	12

5.3.3.2 Aquífero Salto das Nuvens

Esse aquífero estende-se pela porção central do estado de Mato Grosso, que é uma região que tem sido objeto de intensa atividade agropecuária em anos recentes e, portanto, com elevada demanda por água, em especial subterrânea. O município de Nova Mutum detém a maioria dos poços instalados, com 29,6%, seguido por Feliz Natal, com 14,0% (CPRM, 2012).

Em torno de 128 poços tubulares foram perfurados na unidade aquífera Salto das Nuvens, segundo informações consideradas pela CPRM a partir do banco de dados SIAGAS. Estes poços apresentam profundidades desde 10 a 152 m e vazões que variam entre 0,77 e 110,97 m³/h, com média de 20,48 m³/h. A capacidade específica regional é de cerca de 2,0 m³/h/m. As maiores vazões concentram-se nos municípios de São José do Rio Claro e Tapurah, e as menores, em Sorriso. Os níveis estáticos variam entre 2 e 51 m, com média regional de 17 m (Tabela 5.7).

Tabela 5.7 - Síntese dos dados dos poços cadastrados para o Aquífero Salto das Nuvens (CPRM, 2012).

Parâmetro	Intervalo	Média Aritmética
Profundidade (m)	10 – 152	69,02
Vazão (m ³ /h)	0,77 – 110,97	20,48
Vazão específica (m ³ /h/m)	0,155 – 11,44	2,01
Nível Estático (m)	2,04 – 51,8	17,63

As vazões dos poços instalados no Aquífero Salto das Nuvens produzem, na área urbana de Sinop (CUTRIM et al. 2021) variam de 15 a 50 m³/h, com rebaixamento médio de 25 m.

Backles & Migliorini (2022), com base em dados de 2570 poços na base de dados da SEMA-MT, da SEPLAN-MT e dos SIAGAS (de 1980 a fevereiro de 2017), determinaram algumas características, incluindo parâmetros hidrodinâmicos, do Aquífero Salto das Nuvens, cujos dados estão sintetizados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Síntese dos parâmetros dos poços tubulares profundos do Aquífero Salto das Nuvens (BACKLES & MIGLIORINI, 2022).

Características Hidrogeológicas	Registros com Informação	Aquífero Salto das Nuvens	
		Min-Max	Média
Quantidade Poços	2570	769	-
Profundidade (m)	2533	10 a 198	61
Vazão (m ³ /h)	2570	0,4 a 113	11
Nível Estático (m)	2570	1 a 83	17
Nível Dinâmico (m)	2570	6,4 a 118	29
Capacidade Específica (m ³ /h/m)	2570	0 a 19	2
Transmissividade (m ² /dia)	435	1 a 570	78
Declividade do terreno (%)	2570	1 a 18	5
Recarga Potencial (mm/ano)	2570	1667 a 1943	1775
Espessura do Solo (m)	40	2 a 18	12

5.3.3.3 Aquífero Ronuro

A posição estratigráfica da unidade aquífera Ronuro garante a importante função de recarga dos aquíferos subjacentes, além da alimentação do sistema hidrológico do alto Xingu. Pela visualização do mapa mostrado na Figura 5.65, pode-se observar que o Aquífero Ronuro recobre extensas porções do Aquífero Salto das Nuvens e, portanto, devem promover importantes volumes de recarga para este aquífero. Mais de uma centena de poços tubulares exploram atualmente as águas subterrâneas que circulam pelo Aquífero Ronuro, segundo informações do banco de dados do SIAGAS utilizadas pela CPRM (2012). Estes poços apresentam profundidades variando entre 18 e 140 m, totalizando mais de 6000 m perfurados no aquífero.

As vazões de exploração variam entre 1 e 105 m³/h com média de 10,42 m³/h. A capacidade específica regional gira torno de 1,5 m³/h/m. O valor médio reduzido para a vazão é explicado pelo fato de que a maior parte dos poços (78%) não alcançam 10 m³/h. As maiores vazões concentram-se na região de Sinop e as menores concentram-se nas regiões dos municípios de Querência e Cláudia. Os níveis estáticos variam entre 1 e 32 m, com média por volta de 13 m de profundidade.

Do total de 123 poços cadastrados no SIAGAS (banco atualizado em maio de 2010) que estão dentro da área do aquífero, 59,3% estão voltados ao abastecimento doméstico, 18,6% ao abastecimento urbano, e 17,0% ao abastecimento industrial (CPRM, 2012).

Ressalte-se que, tendo em vista a indefinição das espessuras do Aquífero Ronuro, não é possível afirmar que todos os poços posicionados na área de ocorrência deste realmente aproveitam suas águas. É provável que poços com profundidades acima de 100 m tenham interceptado outras unidades aquíferas, como aquelas associadas ao Sistema Aquífero Parecis.

Tabela 5.9 - Síntese dos dados dos poços cadastrados para o Aquífero Ronuro (CPRM, 2012).

Parâmetro	Intervalo	Média Aritmética
Profundidade (m)	18 – 140	50,08
Vazão (m ³ /h)	0,6 – 105	10,51
Vazão específica (m ³ /h/m)	0,053 – 8,8	1,52
Nível Estático (m)	0,85 – 32	13,13

Backles & Migliorini (2022), com base em dados de 2570 poços na base de dados da SEMA-MT, da SEPLAN-MT e dos SIAGAS (de 1980 a fevereiro de 2017), determinaram algumas características, incluindo parâmetros hidrodinâmicos, do Aquífero Ronuro, cujos dados estão sintetizados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Síntese dos parâmetros dos poços tubulares profundos do Aquífero Ronuro (BACLKES & MIGLIORINI, 2022).

Características Hidrogeológicas	Registros com Informação	Aquífero Ronuro	
		Min-Max	Média
Quantidade Poços	2570	263	-
Profundidade (m)	2533	14 a 218	56
Vazão (m ³ /h)	2570	0,1 a 88	10
Nível Estático (m)	2570	1 a 64	15
Nível Dinâmico (m)	2570	2,6 a 116	24
Capacidade Específica (m ³ /h/m)	2570	0,02 a 31	2
Transmissividade (m ² /dia)	435	4 a 540	149
Declividade do terreno (%)	2570	1 a 12	3
Recarga Potencial (mm/ano)	2570	1570 a 2072	1859
Espessura do Solo (m)	40	8 a 22	13

5.3.3.4 Aquífero Parecis Indiviso

Silva (2013), em seu estudo sobre a caracterização do Sistema Aquífero Parecis (SAP) avaliou 24 resultados de ensaios de bombeamento realizados em poços tubulares profundos, com espessura de até 113 m. Considerando-se a espessura do aquífero mais superficial, Utiriti (até 106 m), determinada em estudos realizados na região de Sinop e mostrada no item 4.3.2.2 deste relatório, pode atingir pouco mais de 100 m, tem-se que os resultados dos testes de bombeamento considerados por Silva (2013) devem ter captado água tanto da Formação Utiriti quanto da Formação Serra das Nuvens. Na Tabela 5.11 apresentam-se os valores obtidos com base nos testes analisados. Dentre os poços analisados, Silva (2013) encontrou que cerca de 66% dos ensaios resultaram em valores de condutividade hidráulica da ordem de 10^{-6} e 10^{-7} m/s.

Tabela 5.11 - Resultados obtidos nos testes de bombeamento dos poços localizados no Aquífero Parecis (SILVA, 2013).

Ens.	Poços	Parâmetros Hidráulicos e Dimensionais do Sistema Aquífero Parecis (SAP)						
		T (m ² /s)	S	K (m/s)	b (m)	NE (m)	Vazão (m ³ /s)	Cs (m ³ /h/m)
1	PT 7 Sorriso	2,33x10 ⁻⁴	3,42x10 ⁻⁴	2,55x10 ⁻⁶	91,2	6,77	56,57	2,11
2	PT 3 Sorriso	1,94 x10 ⁻⁵	1,31 x10 ⁻⁴	2,13 x10 ⁻⁷	91	5	44	0,84
3	PT 1 Sorriso	2,20 x10 ⁻⁴	3,80 x10 ⁻²	1,88 x10 ⁻⁶	117	3	20,43	1,36
4	PT 2 Sorriso	3,27 x10 ⁻⁵	1,28 x10 ⁻⁴	3,40 x10 ⁻⁷	96,2	3,8	28,29	1,57
5	PM Sinop	1,85	7,79 x10 ⁻²	1,66 x10 ⁻³	46,9	5,15	7,25	1,77
6	PT 1 Vale do Rio do Ferro	2,58 x10 ⁻⁵	3,00 x10 ⁻²	2,24 x10 ⁻⁷	115	5,8	14,93	0,31
7	PT 1 SJRC	1,75 x10 ⁻⁴	2,33 x10 ⁻²	2,50 x10 ⁻⁶	70	16	17,6	1,76
8	PT 4 SJRC	2,75 x10 ⁻⁴	4,61 x10 ⁻¹	4,23 x10 ⁻⁶	65	15	17	3,4
9	PT 5 SJRC	5,20 x10 ⁻⁴	7,88 x10 ⁻⁷	8,125 x10 ⁻⁶	64	19	15,23	1,38
10	PT 7 SJRC	2,27 x10 ⁻⁵	7,88 x10 ⁻³	4,32 x10 ⁻⁷	52,5	11,5	19,7	0,66
11	PT 8 SJRC	5,81 x10 ⁻⁴	2,02 x10 ⁻⁶	1,584 x10 ⁻⁸	128	17	61	3,388
12	PT 11 SJRC	1,09 x10 ⁻⁴	2,36 x10 ⁻²	1,29 x10 ⁻⁶	84	17	31,68	2,16
13	PT 1 Tapurah	1,14 x10 ⁻⁵	3,04 x10 ⁻³	1,51 x10 ⁻⁷	75,7	27,3	20,3	0,97
14	PT 1 Ana Terra	1,25	1,02 x10 ⁻³	1,73 x10 ⁻²	72	8	61	8,71
15	PT 1 Gaúcha	3,26 x10 ⁻⁵	4,06 x10 ⁻³	4,41 x10 ⁻⁷	74	14	27,3	2,12
16	Gaúcha	7,47	2,05 x10 ⁻⁵	1,245 x10 ⁻¹	60	14	27,3	2,12
17	PT 1 Nova Ubitatã	3,38 x10 ⁻²	3,01 x10 ⁻⁴	5,19 x10 ⁻⁶	58	14	4,95	19,15
18	PMLRV Lucas	6,55 x10 ⁻⁵	5,12 x10 ⁻⁴	1,47 x10 ⁻⁶	44,7	6,34	7,48	0,92
19	SAAEMUT	1 x10 ⁻¹	5,00 x10 ⁻¹	1,02 x10 ⁻¹	97,5	32,5	113,2	11,35
20	PT 1 Campo Novo do Parecis	3,78 x10 ⁻⁵	1,41 x10 ⁻²	5,878 x10 ⁻⁷	64,3	35,7	6	0,18
21	PM Sapezal	4 x10 ⁻⁴	4,02 x10 ⁻⁵	1,14 x10 ⁻⁵	35,2	29,64	9,22	2,49
22	Comodoro	4,12 x10 ⁻⁶	3,98 x10 ⁻⁴	4,406 x10 ⁻⁸	93,5	6,5	3,9	0,07
23	PT 1 Novo Diamantino	5,97 x10 ⁻⁵	1,06 x10 ⁻⁶	6,595 x10 ⁻⁷	136	14	6,15	0,26
24	PT 2 Novo Diamantino	1,61 x10 ⁻¹	2,24 x10 ⁻⁵	1,417 x10 ⁻³	115	35	4,8	0,18
Média		9,44 x10⁻¹	4,94 x10⁻²	1,63 x10⁻²	81,1	15,08	26,01	3,46
Mediana		1,75 x10⁻⁴	7,66 x10⁻⁴	4,71 x10⁻⁶	74,9	14	18,65	1,48
Máxima		1 x10	5,00 x10⁻¹	1,25 x10⁻¹	136	35,7	113,2	19,15
Mínima		4,12 x10⁻⁶	7,88 x10⁻⁷	1,58 x10⁻⁸	35,2	3	3,9	0,07
Moda		10/mai	10⁻² e 10⁻⁴	10⁻⁶ e 10⁻⁷	-	-	-	-

Obs.: b é espessura da camada saturada, NE é o nível estático e Cs é a capacidade específica.

Os maiores valores de condutividade hidráulica foram observados nos poços das regiões de Sinop (ensaios 3 e 14), Gaúcha do Norte (ensaio 16), Nova Mutum (ensaio 19) e do Distrito de Novo Diamantino (ensaio 23). Os menores revelam-se nas regiões de Sorriso (ensaios 2 e 4), Sinop (ensaio 6), São José do Rio Claro (ensaios 10 e 11), Tapurah (ensaios 13), Gaúcha do Norte (ensaio 15), Campo Novo do Parecis (ensaio 20), Comodoro (ensaio 22) e distrito de Novo Diamantino (ensaio 23).

A vazão dos poços apresentou grande variação de valores, entre 3,9 e 113,24 m³/h. Contudo, o valor médio (26,01 m³/h) e da mediana (18,65 m³/h) mostram predominância de vazões relativamente altas.

Os maiores valores de capacidade específica (Qe) foram determinados nas regiões de Nova Ubiratã (ensaio 17) e Nova Mutum (ensaio 19). Os valores mais baixos de Qe foram levantados nos poços de Sorriso (ensaio 2), Sinop (ensaio 6), São José do Rio Claro (ensaio 10), Tapurah (ensaio 13), Lucas do Rio Verde (ensaio 18), Campo Novo do Parecis (ensaio 20) e Distrito de Nova Diamantina (ensaios 23 e 24).

O poço com menor espessura da camada saturada localiza-se em Sapezal (ensaio 21) e o com a maior, situa-se no distrito de Novo Diamantino (ensaio 23).

De acordo com Silva (2013), os valores do coeficiente de armazenamento (S) apresentaram características de bimodalidade para os dados analisados. As grandezas dos valores estabeleceram duas ordens de importância, a primeira de 10⁻² e a segunda de 10⁻⁴. Entretanto, associando a análise dos valores bimodais ao grupo de valores de máxima (5 x 10⁻¹) e mínima (7,88 x 10⁻⁷) e aos litotipos descritos nos perfis de perfuração é possível considerar a existência de dois subtipos de aquíferos dentro do SAP. O primeiro com valores típicos de aquífero livre (10⁻¹) e o segundo com grau de confinamento variável, desde feições de confinamento com drenança (para valores na ordem de 10⁻² e 10⁻³), até situações de maior confinamento (10⁻⁵, 10⁻⁶ e 10⁻⁷). Assim, considerando-se as variações faciológicas, é possível definir dois subsistemas aquíferos, cujos parâmetros hidrodinâmicos são apresentados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 - Valores médios dos parâmetros hidrogeológicos dos subtipos aquíferos livre e confinado (SILVA, 2013).

Aquíferos	Parâmetros dimensionais e hidráulicos					
	K (m/s)	T (m ² /s)	S	NE (m)	Vazão média (m ³ /h)	Espessura média da camada (m)
Livre	3,54 x 10 ⁻²	3,33	3,33 x 10 ⁻¹	17,00	50,00	93,00
Confinado	1,37 x 10 ⁻²	5,67 x 10 ⁻¹	1,17 x 10 ⁻²	15,00	23,00	80,00

O aquífero livre é representado pelo menor conjunto de poços analisados por Silva (2013), constituindo cerca de 13% do total. É explorado tanto por poços rasos (cacimbas, poços amazonas, poços caipira etc.) quanto por poços tubulares. É caracterizado por perfis litológicos homogêneos, constituído principalmente por areias e arenitos com textura fina, média e grossa com colorações variadas. Níveis silicificados também são comuns em profundidades maiores que 40 metros. O nível estático destes poços varia desde 3 até 33 metros de profundidade. Os poços que compõem este subtipo localizam nas regiões de Nova Mutum, São José do Rio Claro e Sorriso. As características hidrogeológicas médias estão apresentadas na Tabela 5.12.

A maioria dos poços tubulares analisados por Silva (2013) possui características hidrogeológicas correspondentes ao subsistema confinado. A situação de confinamento mais comum neste subtipo é provocada pela presença de camadas de arenitos silicificados, níveis pelíticos e horizontes lateritizados. Dentre as feições que imputam o caráter de confinamento neste subsistema, os níveis de arenitos silicificados aparecem na maioria dos perfis geológicos e ocorrem em diferentes profundidades. As sucessões de níveis pelíticos também constituem uma feição comumente identificada nos perfis geológicos dos poços.

CUTRIM (2010) realizou uma caracterização hidrogeológica do SAP na área do município de Lucas do Rio Verde (MT), com base em dados de 18 testes de bombeamento, mostrados na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 - Dados dos poços utilizados por Cutrim (2010) na área de Lucas do Rio Verde.

Poço	Coordenada UTM		Profundidade (m)	NE (m)	Vazão (m ³ /h)
	N	E			
P1	8561588	615621	150	10,38	100,0
P2	8560908	614878	150	11,03	100,0
P3	8561200	615150	150	11,00	100,0
P4	8560700	614650	150	11,30	100,0
P5	8560475	613716	40	7,45	5,0
P6	8562177	613223	40	7,76	5,0
P7	8561760	613468	33	8,26	5,5
P8	8561323	613822	40	8,11	6,0
P9	8563414	616350	45	8,60	6,0
P10	8563414	616360	45	8,60	6,0
P11	8558703	614732	40	7,58	5,0
P12	8558693	614714	40	7,58	5,0
P13	8559401	614753	40	7,20	6,0
P14	8559491	614690	40	7,40	6,0
P15	8550390	614186	45	6,80	5,0
P16	8560140	612616	40	5,75	7,0
P17	8562564	614584	80	7,73	15,0
P18	8559952	614503	70	7,20	12,0

Com base nos testes de bombeamento dos poços P1 e P2 Cutrim (2010) calculou os coeficientes de transmissividade, condutividade hidráulica e a capacidade específica para o Sistema Aquífero Parecis (SAP), visto que P1 e P2 exploram simultaneamente os aquíferos Utiariti e Salto das Nuvens. A condutividade hidráulica de $7,20 \times 10^{-1}$ m/dia a $6,73 \times 10^{-1}$ m/dia e a capacidade específica de 2,63 m³/h/m a 2,27 m³/h/m.

5.3.3.5 Potenciometria Regional

Os dados presentes no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), foram utilizados para análise da potenciometria dos aquíferos granulares da Bacia do Rio Teles Pires (RTP). Neste primeiro momento foi realizada uma análise regional do fluxo subterrâneo.

A Figura 5.69 apresenta o mapa potenciométrico dos aquíferos granulares ((Parecis, Ronuro e Dardanelos) gerado a partir do SIAGAS. As cotas do nível de água subterrânea com relação ao nível médio do mar variam entre 245 m e 693 m. As cotas mais elevadas ocorrem na região dos aquíferos Parecis e Ronuro. O fluxo é predominante na direção de Sul para Norte, acompanhando o fluxo superficial da bacia. Os maiores gradientes hidráulicos são observados próximos à cabeceira do RTP.

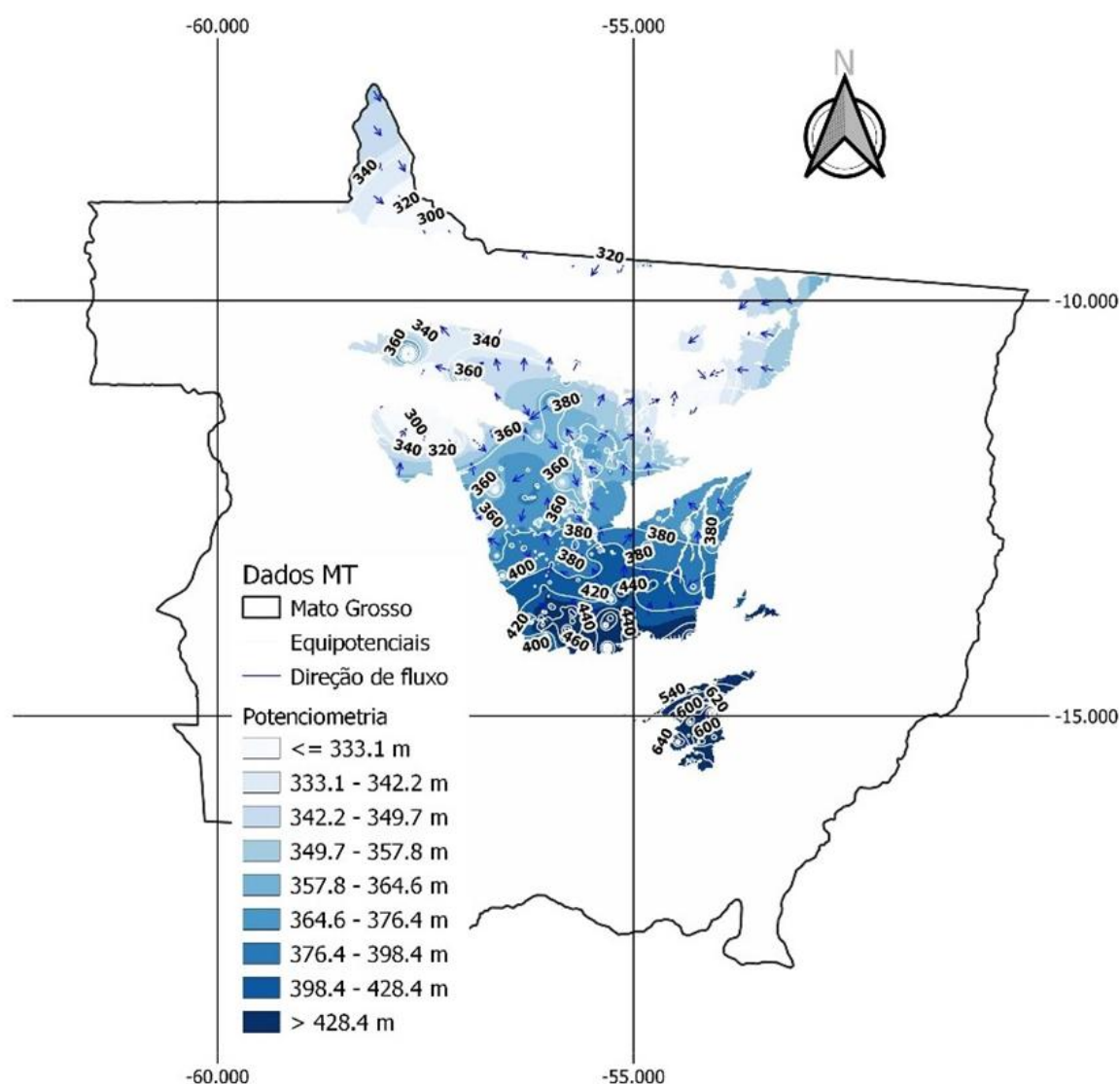


Figura 5.69 - Mapa potenciométrico dos aquíferos granulares da bacia do Rio Teles Pires.

5.3.3.6 Análise de dados secundários

A partir de dados secundários, presentes no SIAGAS/SGB, foi realizada uma análise dos parâmetros hidrodinâmicos para os aquíferos da Bacia do Rio Teles Pires.

Foram analisados 1138 pontos cadastrados no SIAGAS, para os quais realizou-se uma análise dos parâmetros Transmissividade e Capacidade Específica. A Figura 5.70 apresenta o mapa hidrogeológico do Mato Grosso, para fins de comparação. A Figura 5.71 apresenta o mapa de distribuição da transmissividade nos municípios da bacia do rio Teles Pires e a Figura 5.72 apresenta a distribuição da capacidade específica.

Com base no mapa de unidades hidrogeológicas, observa-se que na bacia do rio Teles Pires e nos municípios do entorno ocorrem predominantemente aquíferos granulares,

representados principalmente pelo Aquífero Parecis e Ronuro. Para o norte, ocorre uma transição para aquíferos fraturados.

A transmissividade observada na bacia do rio Teles Pires variou de 2 m²/dia a 391 m²/dia. No caso da capacidade específica, foram observados valores que variam entre 1 e 14 m/m³/h. Em ambos os parâmetros, observou-se que os valores mais expressivos estão localizados na região do Grupo Parecis, caracterizados pelos aquíferos Parecis e Ronuro. Esses dados corroboram as informações supramencionadas, as quais caracterizam estes aquíferos como os de maior potencial hídrico na bacia.

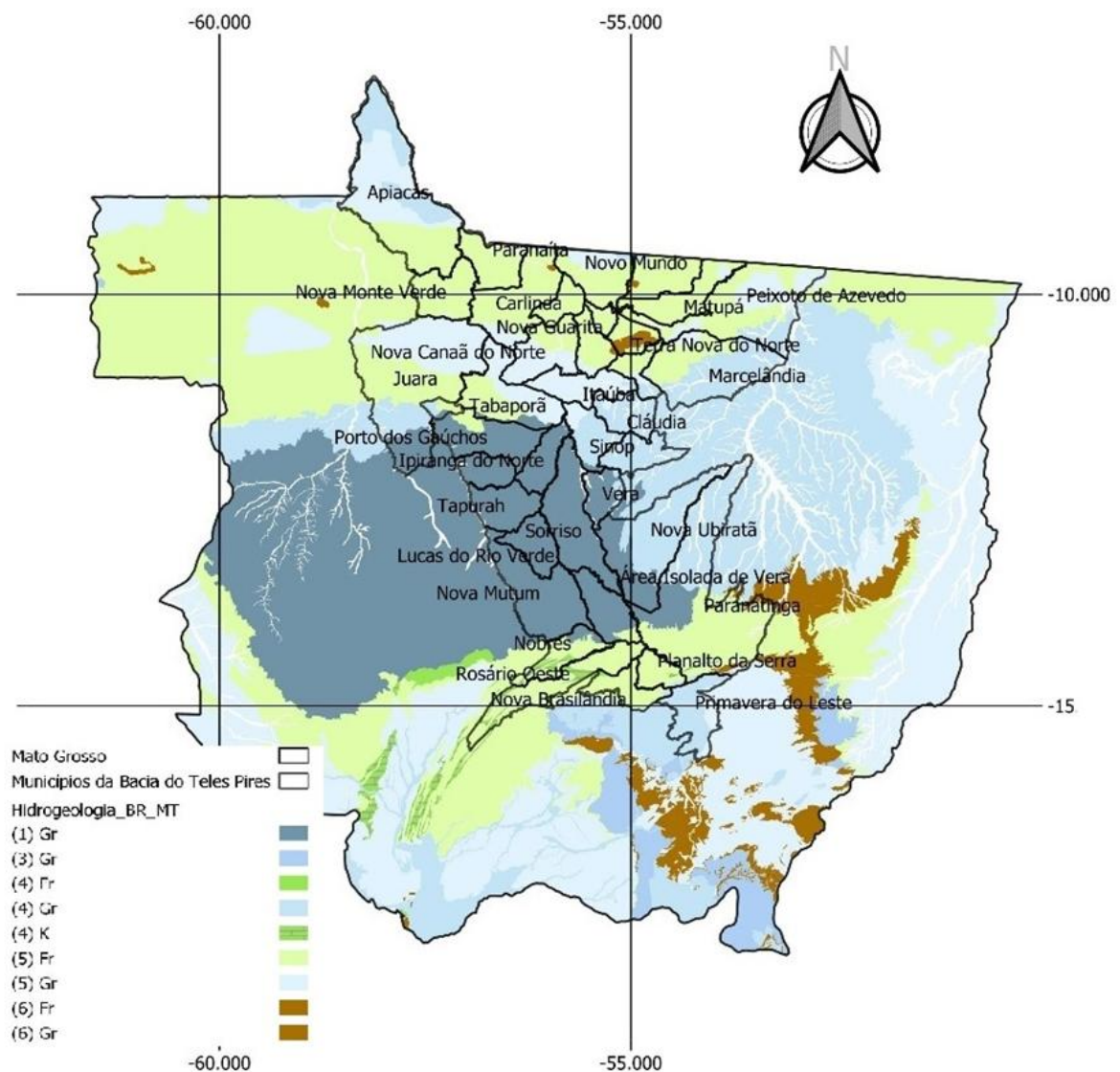


Figura 5.70 - Mapa de Unidades Hidrogeológicas do Mato Grosso (SGB). Gr: Aquífero Granular e Fr: Aquífero Fraturado.

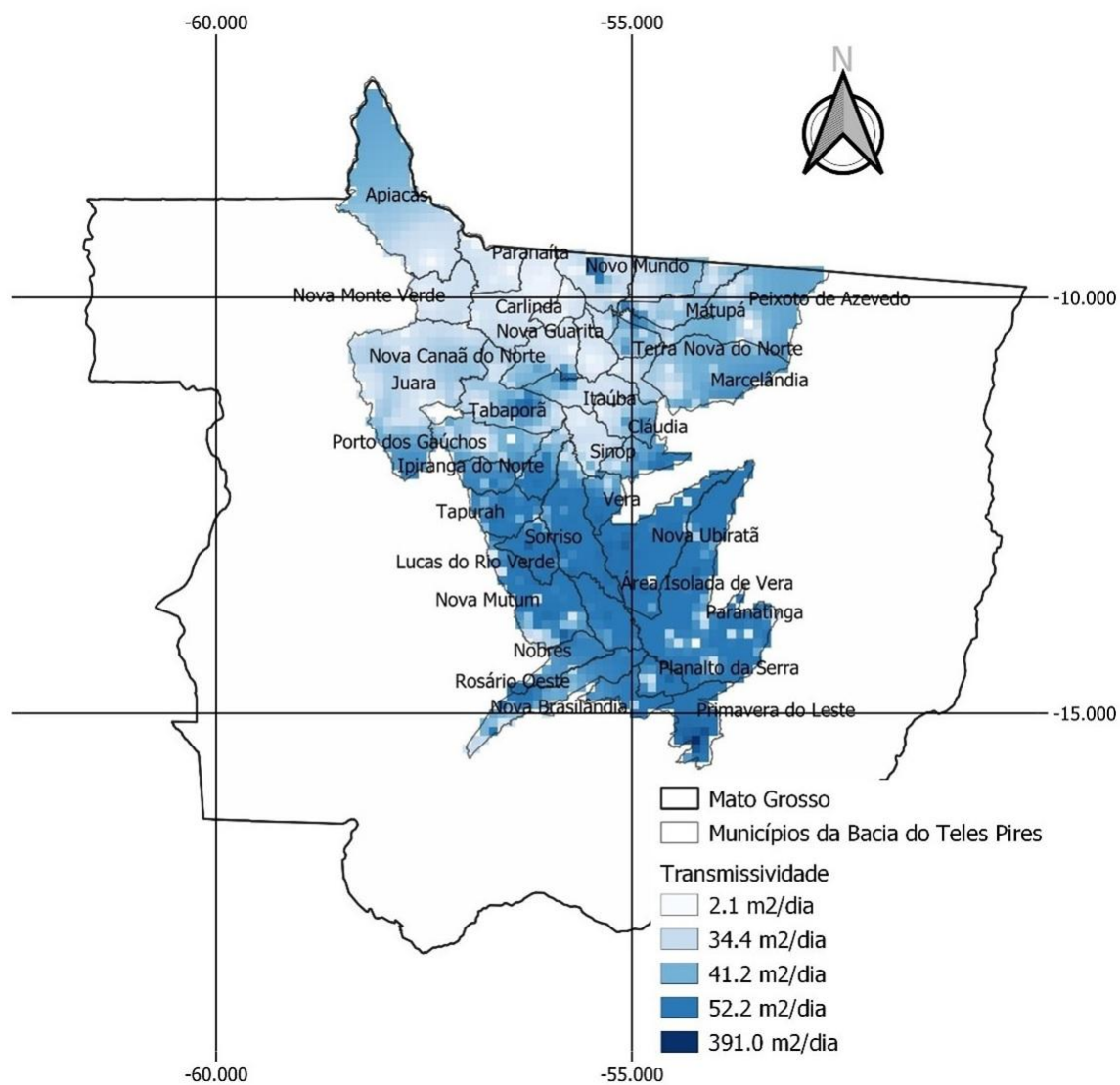


Figura 5.71 - Mapa de distribuição da transmissividade com base em dados do SIAGAS-SGB.

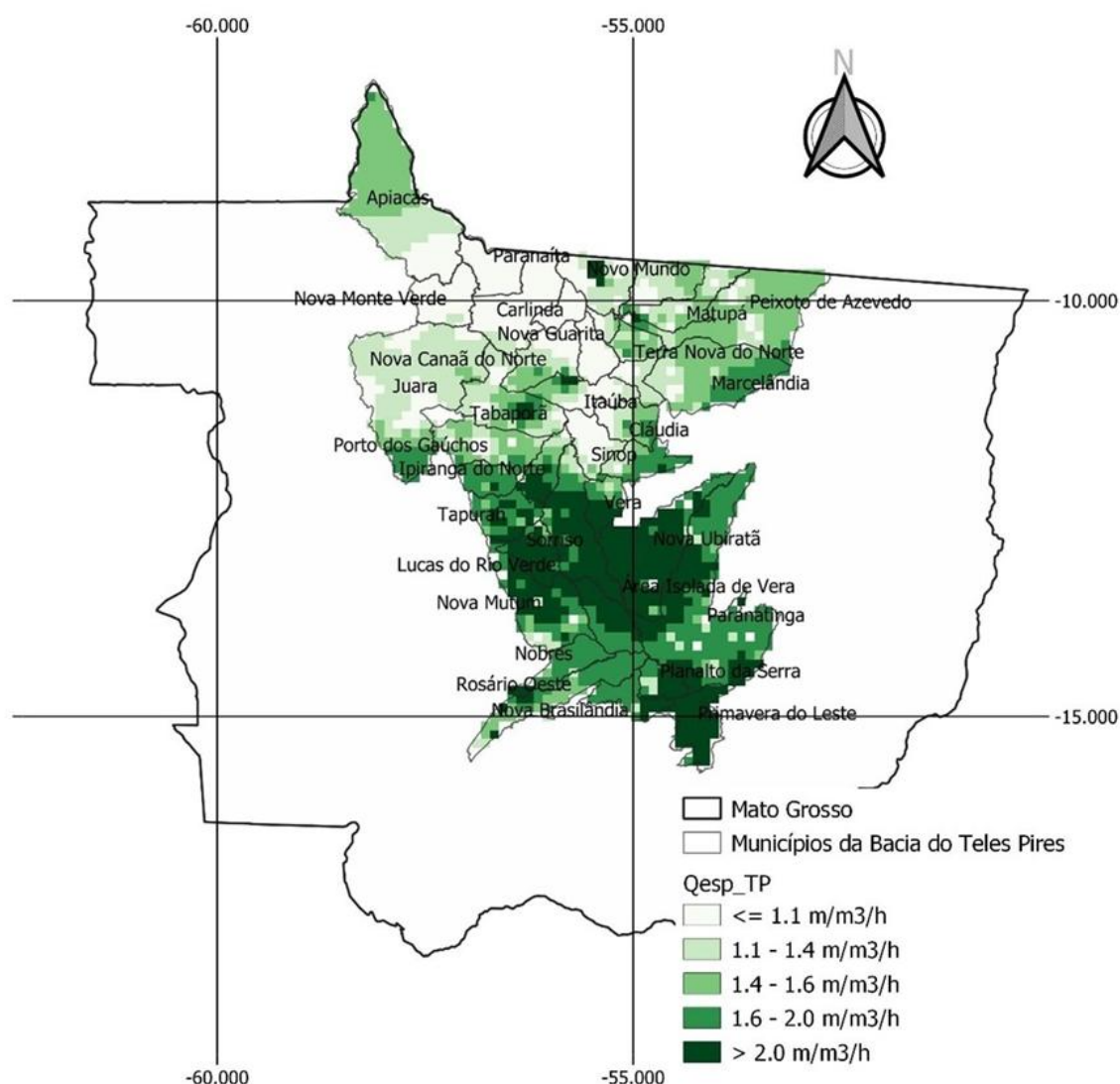


Figura 5.72 - Mapa de distribuição da capacidade específica com base em dados do SIAGAS-SGB.

5.3.4 Características Químicas

Para a caracterização hidroquímica da área de estudo, foi utilizado um banco de dados secundário de poços, de duas fontes, já que na base de dados de dados primários coletados não há informações hidroquímicas. Assim, considerou-se:

- Plataforma SIAGAS do Serviço Geológico do Brasil; e
- Cadastro CNARH da Agência Nacional de Águas (ANA).

As bases de dados foram pesquisadas inicialmente para o estado do Mato Grosso e os dados foram armazenados em planilhas Excel. Posteriormente, foi feito um filtro para identificar os poços que se encontram na área de interesse do projeto, nesse caso, a bacia hidrográfica do Alto Teles Pires. Como os municípios foram definidos como a unidade fundamental dos estudos, considerou-se, para o levantamento, a área total dos municípios

que se encontram nas bacias hidrográficas de interesse, em áreas de afloramento dos aquíferos pertencentes à Bacia do Parecis, ainda que excedam em alguma medida a bacia hidrográfica propriamente dita.

No filtro realizado, foram identificados 3572 poços nas bacias do rio Teles Pires, sendo 2938 provenientes da base de dados CNARH/ANA e 634 provenientes da plataforma SIAGAS/SGB. Na Tabela 5.14 é apresentado o número de poços levantados em cada município, em cada base de dados consultada.

Tabela 5.14 - Quantidade de dados obtidos na área de estudo, por fonte de informação.

Fonte	Nº de Poços	Dados de pH	Dados de CE	Dados de STD	Dados de Temperatura	Análises Completas	Análises Balanceadas
CNARH	2938	2087	2050	1982	452	1161	181
SIAGAS	634	578	496	262	70	2	1
Total	3572	2665	2546	2244	522	1163	182

Após a triagem para definir os dados pertencentes à área de estudo, foi realizado um filtro de qualidade dos dados e parâmetros hidroquímicos disponíveis nos bancos de dados. Foram excluídos valores quantificados como zero e, além disso, foram desconsiderados alguns parâmetros errôneos ou extremamente duvidosos como valores de pH elevados (por vezes superiores a 14) ou resultados inferiores a 3, alguns deles inferiores a 1, considerados improváveis de ocorrer em águas naturais na região de estudo.

Com isso, foram identificados 2665 poços apresentando alguma informação físico-química das águas subterrâneas. Com esses dados foram elaborados mapas de parâmetros físico-químicos, utilizando o método de interpolação do inverso do quadrado da distância (IDW) com o software QGIS 3.3.38. Foram elaborados mapas de pH, Condutividade elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Temperatura e dos elementos maiores dissolvidos: bicarbonato, cloreto, sulfato, sódio, cálcio, magnésio e potássio.

Na sequência, foram levantados poços que apresentavam análises químicas balanceadas de íons maiores completas na área de estudo, tendo sido identificados 1165 poços com esses dados. Para filtrar a qualidade dessas análises, foi realizado o cálculo do balanço iônico, tendo sido considerados aceitáveis os erros inferiores a 10%. Assim, foram identificadas 184 amostras dentro do erro aceitável, sendo que apenas uma amostra veio da base de dados SIAGAS e as demais vieram da base de dados do CNARH.

Com as análises balanceadas foi elaborado o diagrama de Piper para a bacia hidrográfica e as amostras foram classificadas de acordo com seu tipo químico. A seguir serão apresentados os resultados e discussões.

5.3.4.1 Parâmetros Físico-químicos da Área de Estudo

Como citado anteriormente, dos 3572 poços levantados na área de estudo, 2665 apresentavam alguma informação físico-química das águas subterrâneas, sendo o pH o dado mais frequentemente disponível.

Sendo assim, com dados de 2665 amostras disponíveis, o pH variou de 3,0 a 9,69, na área do Alto Teles Pires, com uma média de 5,47 e mediana de 5,30. A maior frequência de valores de pH encontra-se no intervalo de 4,5 a 5,5 (52% das amostras), ou seja, águas com algum caráter ácido. Já o intervalo de 4,5 a 6,5 abrange 80% das amostras (Figura 5.73). Esses resultados indicam águas subterrâneas predominantemente ácidas na área de estudo e abrangem os Aquíferos Salto das Nuvens e Utiariti, aflorantes na maior parte da área analisada. Esses resultados estão de acordo com estudos da CPRM (2012) para estes dois sistemas aquíferos.

Na Figura 5.74 é possível observar o mapa de variação do pH na área de estudo. Observa-se que predominam valores algo ácidos, entre 5 e 6, em toda a bacia. Pontualmente são observados valores fortemente ácidos, inferiores a 4 em todos os municípios, sem um padrão claro de distribuição.

Valores de pH alcalinos, superiores a 7, também são observados pontualmente, em poços localizados principalmente nos municípios de Nova Mutum, Tapurah e Lucas do Rio Verde, na região oeste da área de estudo. Trata-se de poços com profundidades entre 30 e 70 m predominantemente. O estudo da CPRM (2012), também registra um poço com pH bastante alcalino (9,16) na cidade de Nova Mutum.

Os valores de pH alcalino estão associados principalmente ao Aquífero Salto das Nuvens e às Coberturas Detrito-lateríticas Ferruginosas, que recobrem esta camada aquífera. Contudo, tanto no Aquífero Utiariti, quanto no Aquífero Salto das Nuvens, em sua maior parte, predominam valores de pH ácido, na faixa entre 5 e 6.

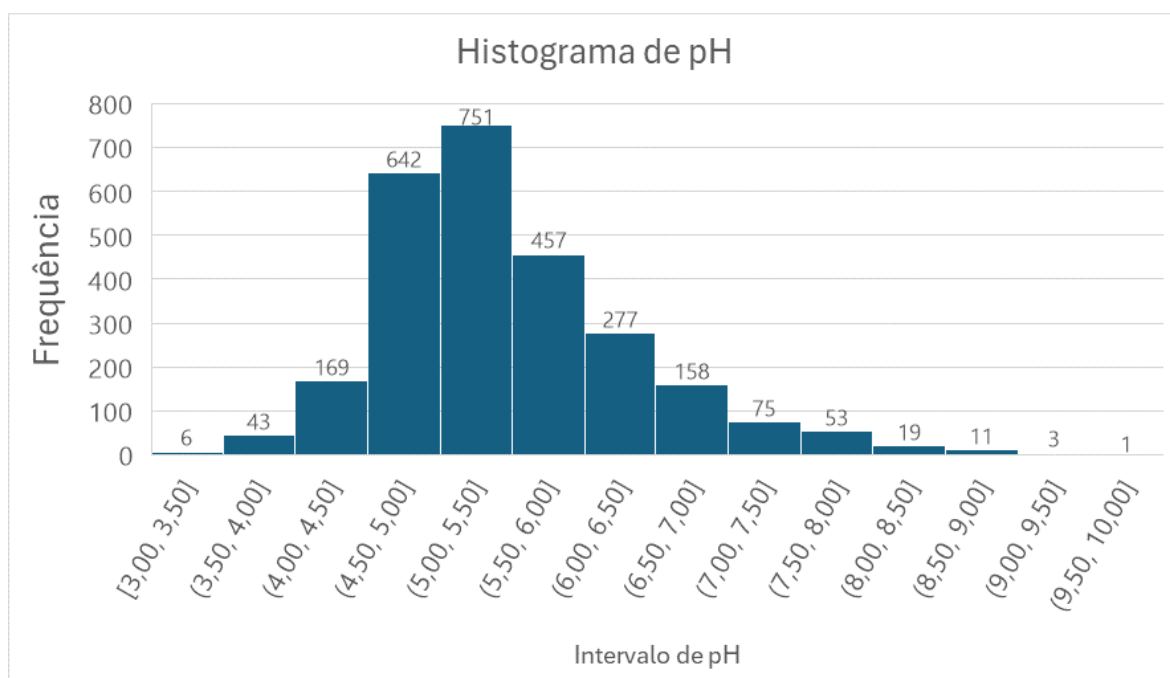


Figura 5.73 - Frequência dos valores de pH das amostras de água subterrânea na área de estudo (n = 2665).

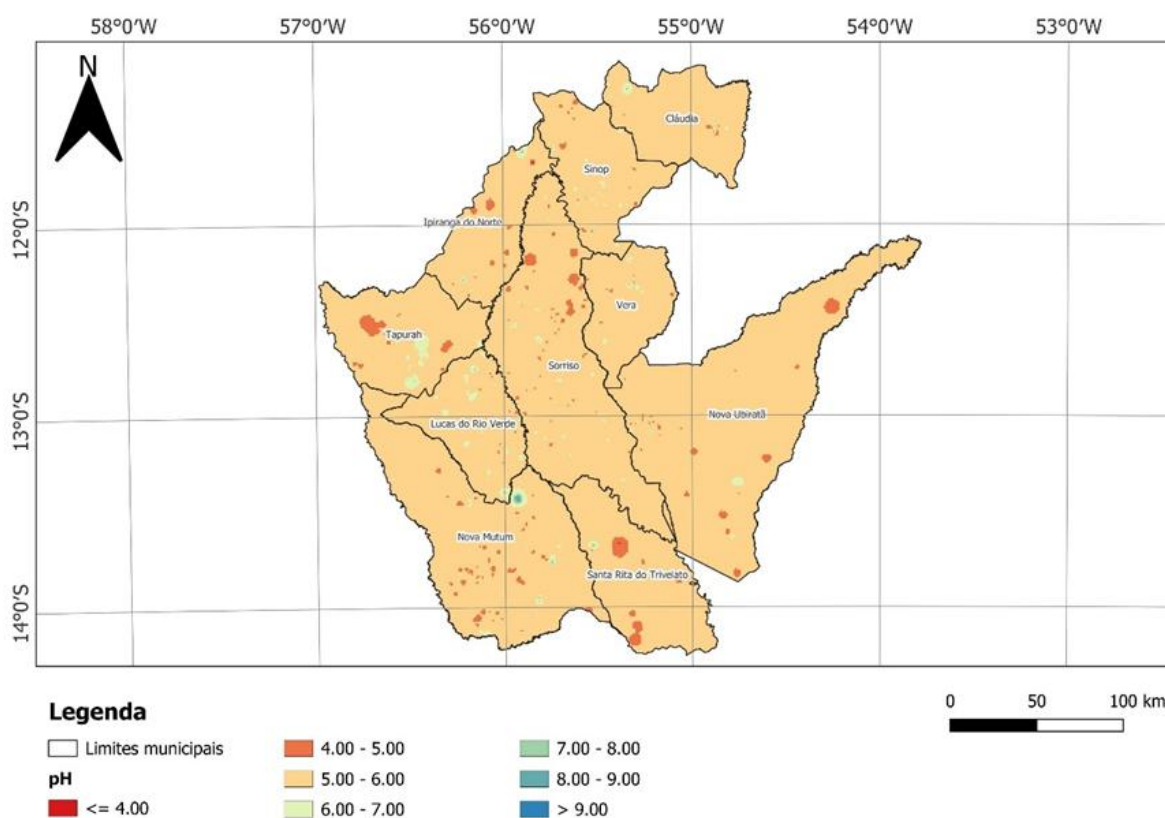


Figura 5.74 - Mapa de distribuição de pH na área de estudo.

Valores de condutividade elétrica (CE) estão disponíveis em 2546 amostras, variando de 0,01 a 840,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com média de 22 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e mediana de 8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mais de metade das

amostras (57%) apresenta CE abaixo de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e 90% das amostras encontra-se abaixo de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 5.75). Esse padrão está de acordo com o que foi reportado pela CPRM (2012), em estudos nos Aquíferos Salto das Nuvens e Utariti. Esses valores juntamente com os de pH indicam águas de circulação rápida, em ambientes oxidantes.

Apenas 4% das amostras apresentam CE superior a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 5.75). Isso indica a predominância de águas subterrâneas extremamente diluídas em toda a área de estudo, associadas principalmente às Formações Salto das Nuvens, Utariti e Ronuro.

A Figura 5.76 mostra a interpolação dos valores de CE na área de estudo. Verifica-se a predominância de águas muito pouco mineralizadas, com valores de CE inferiores a 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ predominando em toda a bacia hidrográfica.

Valores mais elevados de CE ($> 100 \mu\text{S}/\text{cm}$) são observados pontualmente na área de estudo sem um padrão espacial ou geológico definido. Também não é observada uma relação entre a profundidade dos poços e uma maior CE, já que os valores mais elevados ocorreram em poços que variam de 28 a 180 m de profundidade.

É importante destacar que em diversos poços com valores de CE elevados (superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$), o valor de STD para o mesmo poço é baixo (inferior a 100 mg/L).

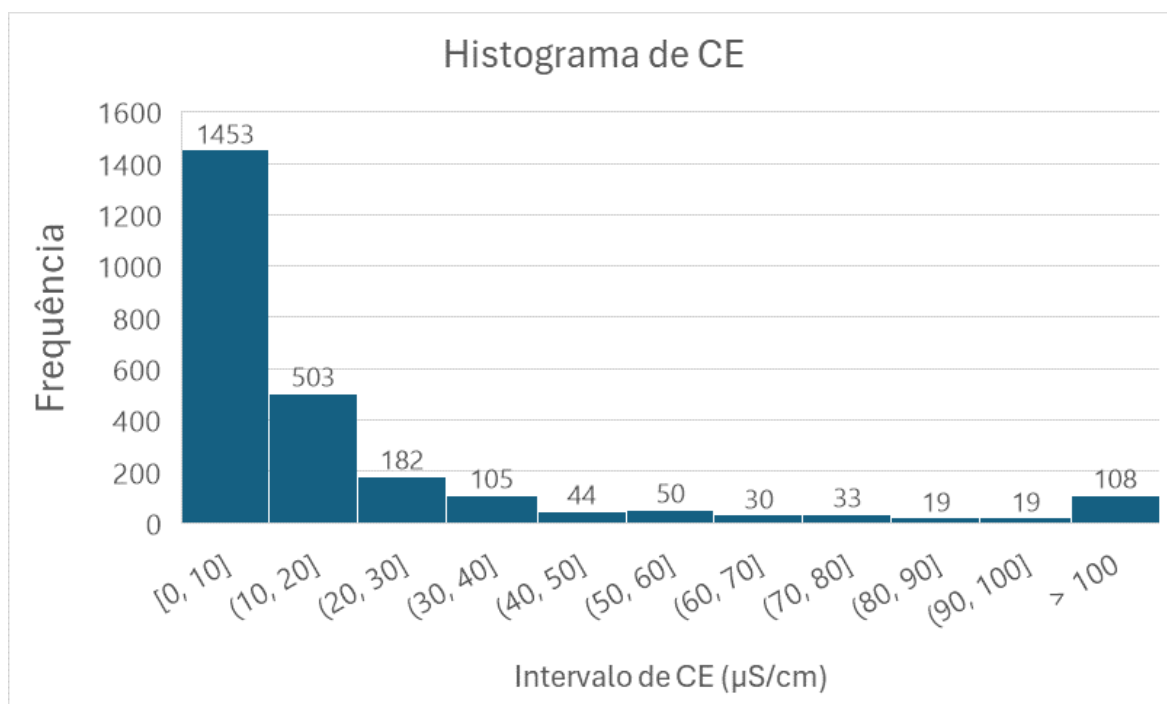


Figura 5.75 - Histograma da Condutividade Elétrica (CE) na área de estudo (n = 2546).

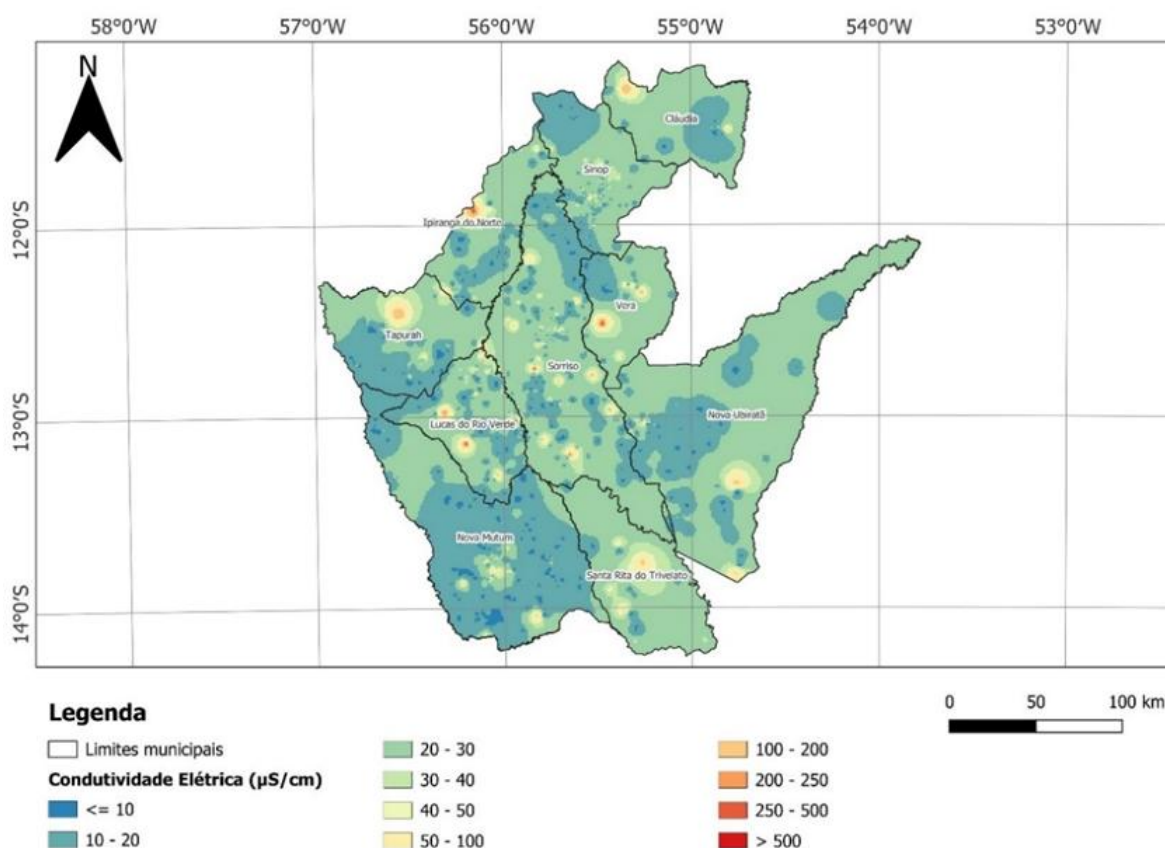


Figura 5.76 - Mapa de distribuição da Condutividade Elétrica na área de estudo.

Em relação aos Sólidos Totais Dissolvidos (STD), 2244 poços apresentaram dados, variando entre 0,01 e 1086 mg/L, com média de 28,4 mg/L e mediana de 10,6 mg/L. De forma similar aos resultados de CE, cerca de metade das amostras apresentaram valor de STD inferior a 10 mg/L, com 84% das amostras apresentando valores de até 50 mg/L (Figura 5.77). Apenas 6% das amostras apresentam teores de STD superiores a 100 mg/L. Os dados corroboram a conclusão de que predominam águas subterrâneas muito pouco mineralizadas na área de estudo, em todos os aquíferos presentes e explorados pelos poços considerados na análise, sugerindo tratar-se de águas de origem predominantemente meteórica, de recarga recente e rápida infiltração nos aquíferos.

Na Figura 5.78 é possível observar o mapa de variação de STD na área de estudo. Observa-se a predominância de valores baixos em toda a bacia (geralmente < 50 mg/L), porém em alguns locais é possível observar a presença de águas mais mineralizadas, caracterizadas por valores de STD superiores a 100 mg/L, por vezes superando 500 mg/L, com destaque para a região norte da área de estudo, nos municípios de Sinop e Cláudia, associadas à Formação Dardanelos. Além disso, vale ressaltar que, nessas localidades, os valores de STD mais elevados estão em discordância com os valores de CE, que foram baixos para os mesmos poços.

Outra região a ser destacada ocorre no município de Nova Ubiratã, no centro-leste da área de estudo. Nessa área, alguns poços com maior profundidade (150 a 180 m), apresentam valores de STD superiores a 500 mg/L. Esses poços estão associados aos Aquíferos Ronuro e Salto das Nuvens, pelo que se especula que a maior mineralização possa advir de horizontes aquíferos mais profundos. Porém a ausência de perfis construtivos e litológicos destes poços dificulta a interpretação.

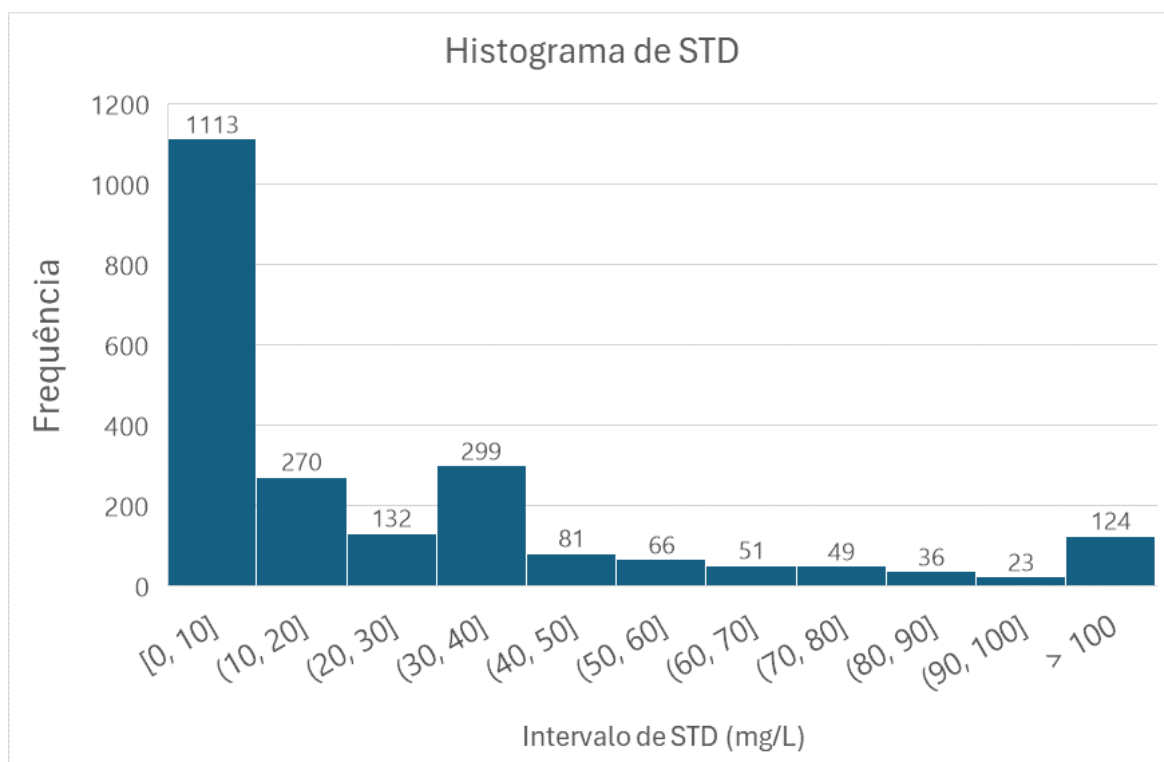


Figura 5.77 - Histograma de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na área de interesse (n = 2244).

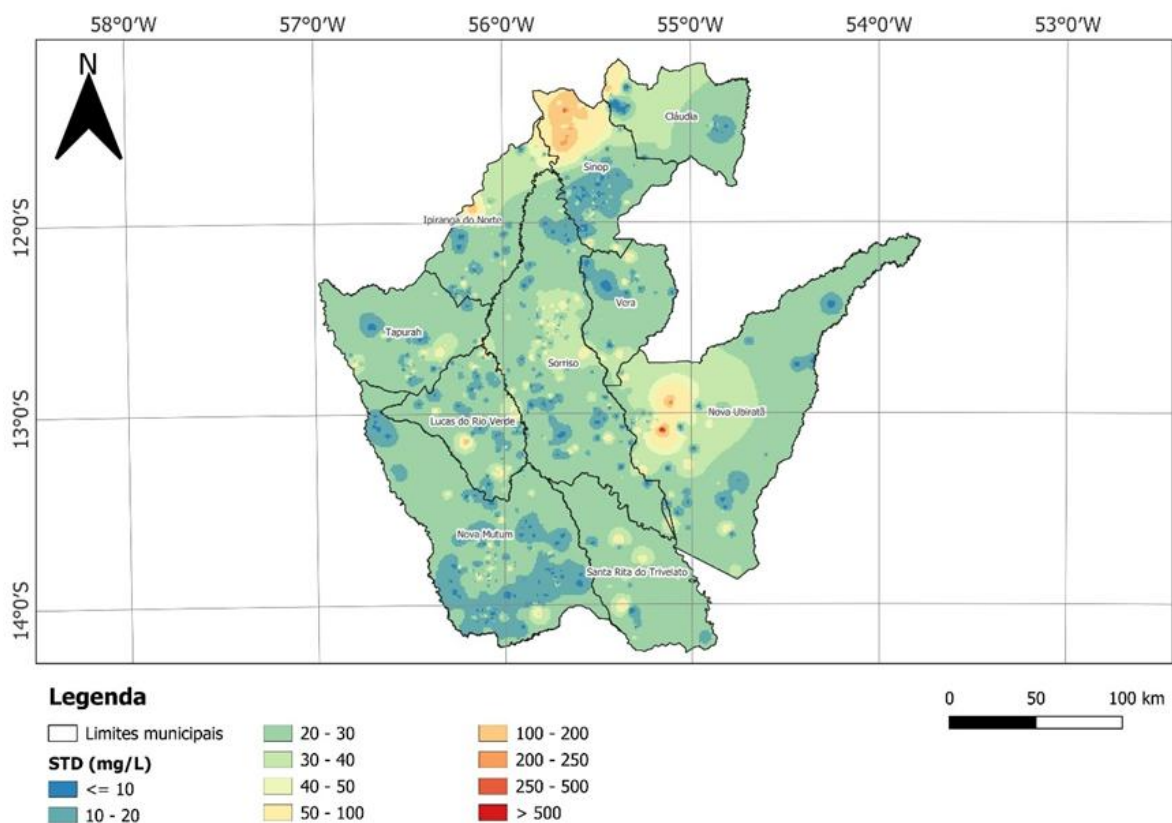


Figura 5.78 - Mapa de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na bacia hidrográfica do Alto Teles Pires.

Os valores de temperatura foram obtidos em 522 poços, tendo variado de 15,2 a 37,4 °C, com média de 27,0 e mediana de 26,5 °C. A maior parte das amostras apresenta temperatura no intervalo entre 24 e 32 °C (76% do total), como pode ser observado na Figura 5.79. Os resultados encontram-se próximos da temperatura atmosférica média da região, conforme esperado.

Valores menores que 20 °C (cerca de 5% das amostras) são observados principalmente na área oeste da região de estudo, no município de Nova Mutum (Figura 5.80).

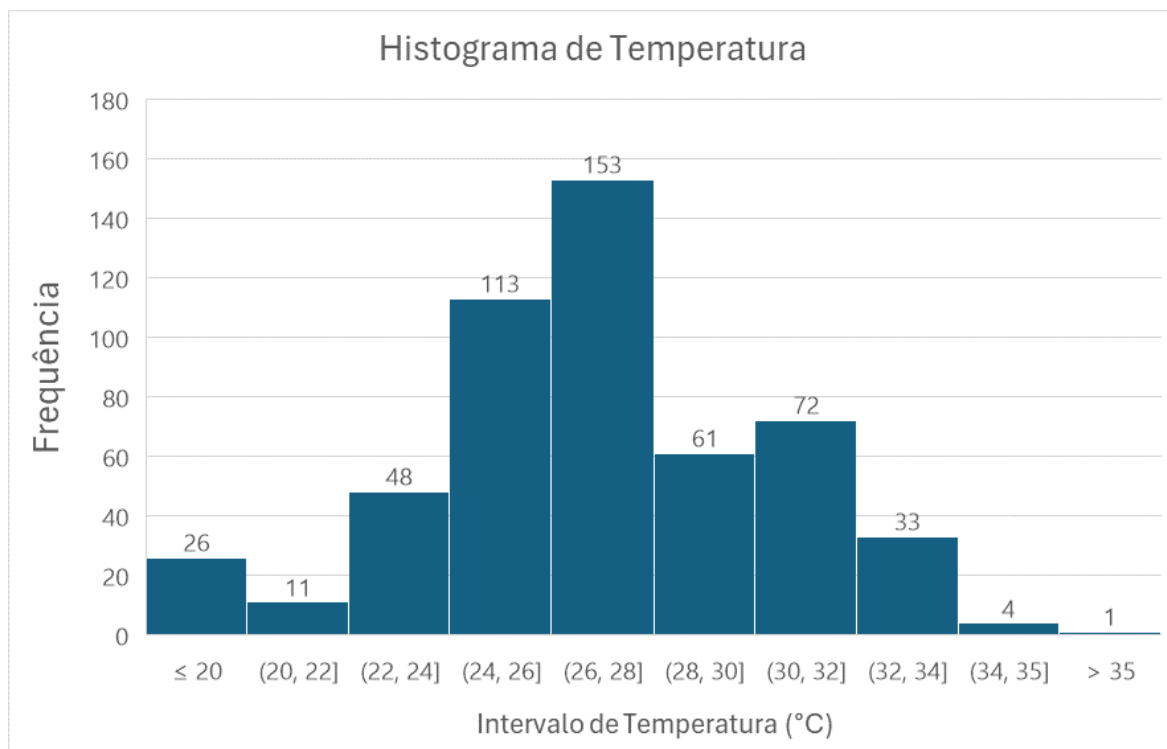


Figura 5.79 - Histograma dos dados de temperatura das águas subterrâneas na área de estudo.

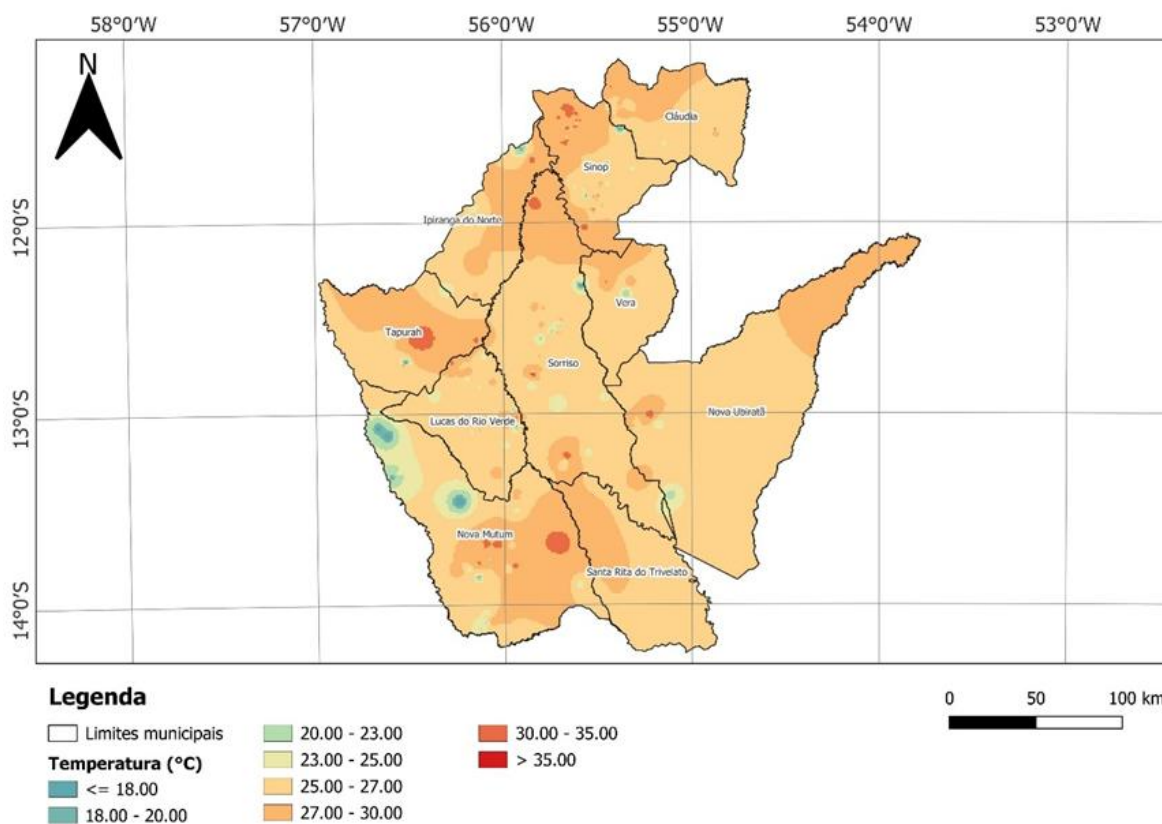


Figura 5.80 - Mapa de variação da Temperatura na área de estudo.

5.3.4.2 Características hidroquímicas dos íons maiores

Com relação aos íons maiores, foram obtidos 2206 poços com pelo menos algum dado, sendo o bicarbonato o elemento mais frequentemente disponível. Os dados de cada um dos íons maiores foram interpolados para gerar os mapas de concentração dos elementos maiores apresentados a seguir.

Em relação ao bicarbonato, as concentrações variam de 0,01 a 2094 mg/L, com média de 11,85 mg/L e mediana de 8,0 mg/L. Observa-se que a maior parte das amostras apresenta baixas concentrações, geralmente inferiores a 50 mg/L. Alguns poços com concentrações mais elevadas são observados pontualmente nos municípios de Sinop e Lucas do Rio Verde, principalmente (Figura 5.81). O valor mais elevado, no município de Sinop, encontra-se associado ao Aquífero Ronuro (aflorante) ou ao Aquífero Salto das Nuvens (subaflorante).

As concentrações de cloreto variam de 0,01 a 240 mg/L, sendo a média de 8,71 mg/L e mediana de 3,11 mg/L. No mapa apresentado na Figura 5.82 observa-se a predominância de baixas concentrações de Cl em toda a área de estudo (< 10 mg/L). Alguns poços com concentrações superiores a 100 mg/L são observados principalmente a norte da área de estudo, no município de Sinop (Figura 5.82), associados à Formação Dardanelos.

Pontualmente, no município de Lucas do Rio Verde e Ipiranga do Norte concentrações mais elevadas de cloreto também são observadas, associadas ao Aquífero Salto das Nuvens e possivelmente às Coberturas Detrito-lateríticas Ferruginosas.

Para o sulfato, as concentrações variam de 0,001 a 140,02 mg/L, com média de 6,42 mg/L e mediana de 2,02 mg/L (Figura 5.83). Predominam baixas concentrações de sulfato (< 5 mg/L) em toda a área de estudo, indicando uma baixa mineralização de sulfato nos aquíferos Salto das Nuvens, Utiriti e Ronuro. Contudo, observa-se uma maior mineralização na área norte da bacia, pertencente ao município de Sinop, associado à Formação Dardanelos (Figura 5.83). Também se observa a sul da área, um poço de 32 m de profundidade, no município de Santa Rita do Trivelato, com concentração de sulfato de 140 mg/L. Porém, outro poço vizinho, de mesma profundidade, apresenta concentração de apenas 0,05 mg/L, deixando dúvidas quanto ao valor mais elevado nessa região.

Em relação aos cátions maiores, o sódio apresenta concentrações que variam de 0,01 a 170,5 mg/L, com média de 4,24 mg/L e mediana de 1,0 mg/L. De acordo com o mapa de distribuição do sódio na área de estudo (Figura 5.84), observa-se a predominância de concentrações inferiores a 5 mg/L. Pontualmente, nos municípios de Nova Ubiratã, Sorriso, Tapurah e Sinop são observados alguns locais com concentrações da ordem de 100 mg/L

(Figura 5.84). A profundidade dos poços varia de 40 a 50 m, explorando provavelmente o Aquífero Salto das Nuvens e/ou camadas de Cobertura Detrito-lateríticas Ferruginosas.

O cálcio apresenta concentrações variando de 0,01 a 88,18 mg/L, com média de 3,86 mg/L e mediana de 1,6 mg/L. Em toda a bacia hidrográfica em estudo predominam baixas concentrações de cálcio (< 5 mg/L) (Figura 5.85). As concentrações mais elevadas de cálcio (> 70 mg/L) ocorrem na porção norte da área, no município de Cláudia, em poços de profundidade superior a 150 m, associados à Formação Dardanelos.

O teor de magnésio varia entre 0,01 e 518 mg/L, com média de 5,92 mg/L e mediana de 1,56 mg/L. De modo semelhante ao cálcio, predominam baixas concentrações em toda a área de estudo. Valores mais elevados (> 100 mg/L) ocorrem pontualmente em poços de 50 a 84 m de profundidade, nos municípios de Tapurah, Sorriso e Nova Mutum, associados principalmente ao Aquífero Salto das Nuvens (Figura 5.86).

Por fim, as concentrações de potássio variam entre 0,01 e 38 mg/L, com média de 1,00 mg/L e mediana de 0,53 mg/L. Predominam concentrações muito baixas ao longo de toda a área de estudo (geralmente < 1 mg/L). Valores mais elevados, geralmente superiores a 10 mg/L, são observados pontualmente nos municípios de Lucas do Rio Verde e Tapurah, em poços de 48 a 70 m de profundidade, associados provavelmente ao Aquífero Salto das Nuvens e às coberturas lateríticas recentes (Figura 5.87).

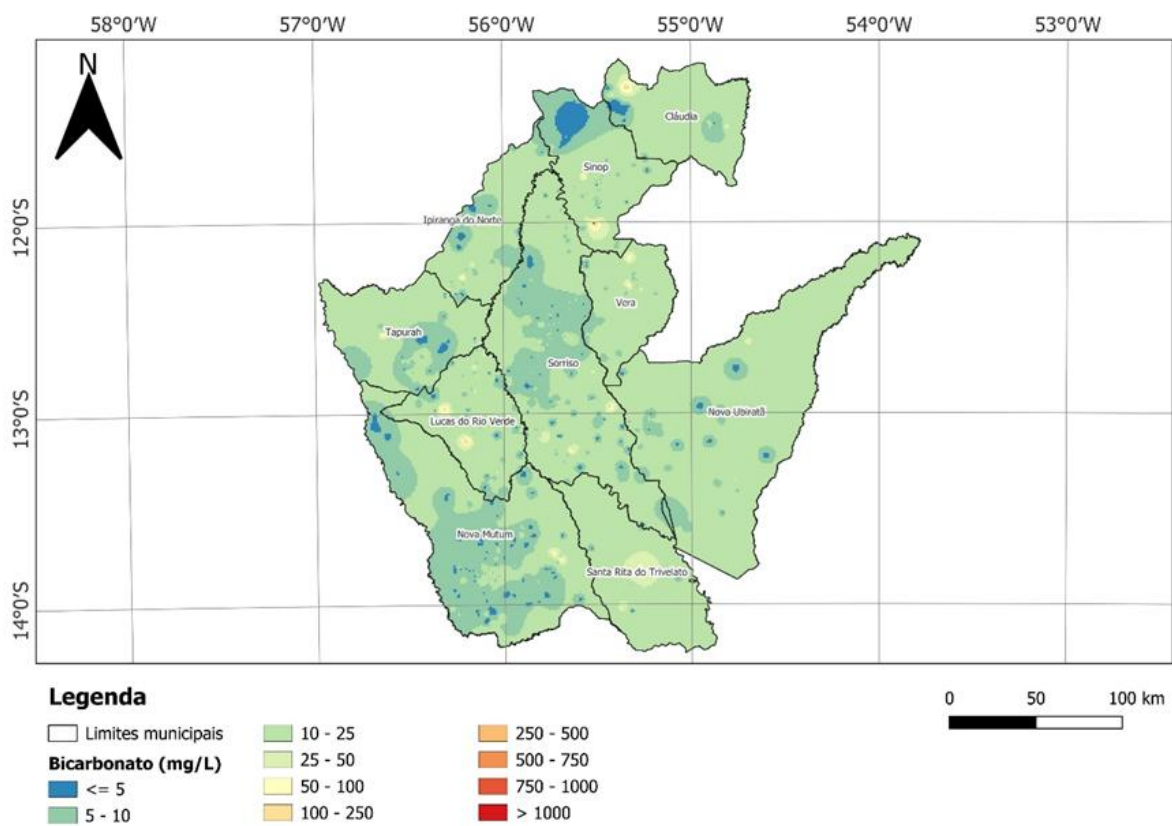


Figura 5.81 - Mapa de variação da concentração de Bicarbonato na área de estudo.

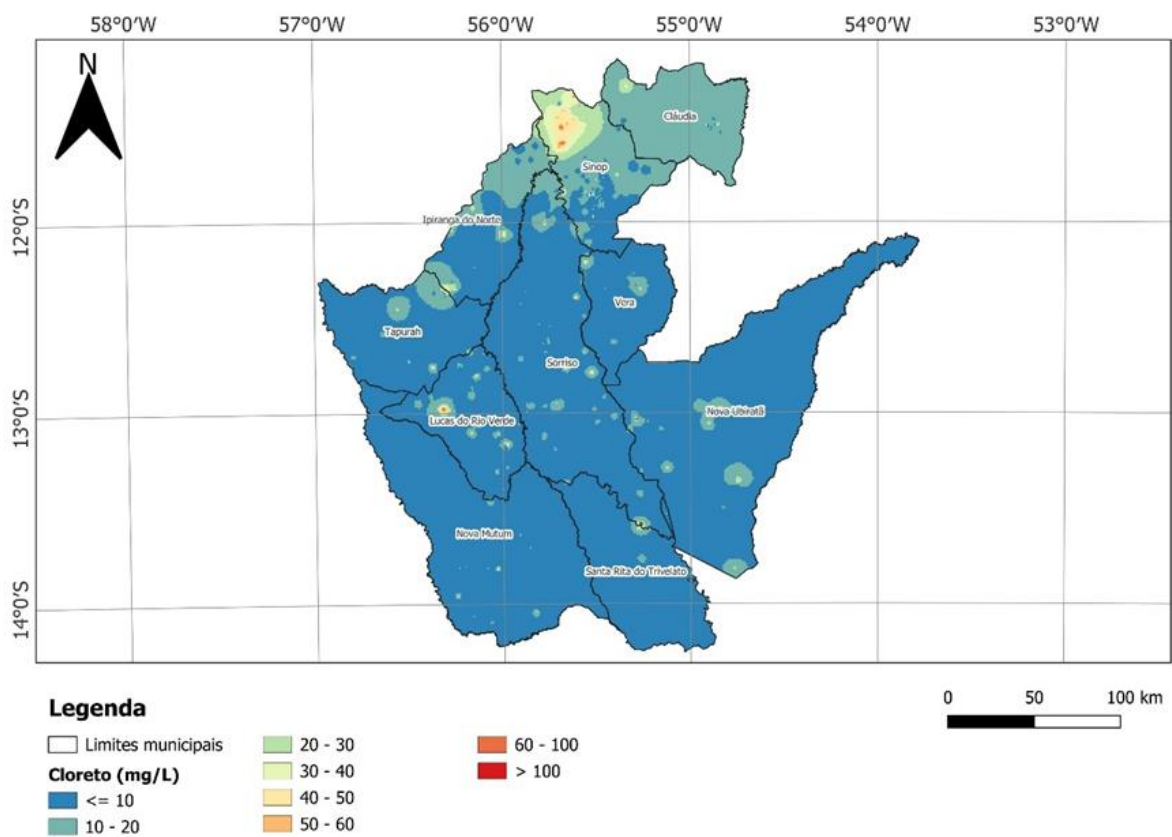


Figura 5.82 - Mapa de variação da concentração de Cloreto na área de estudo.

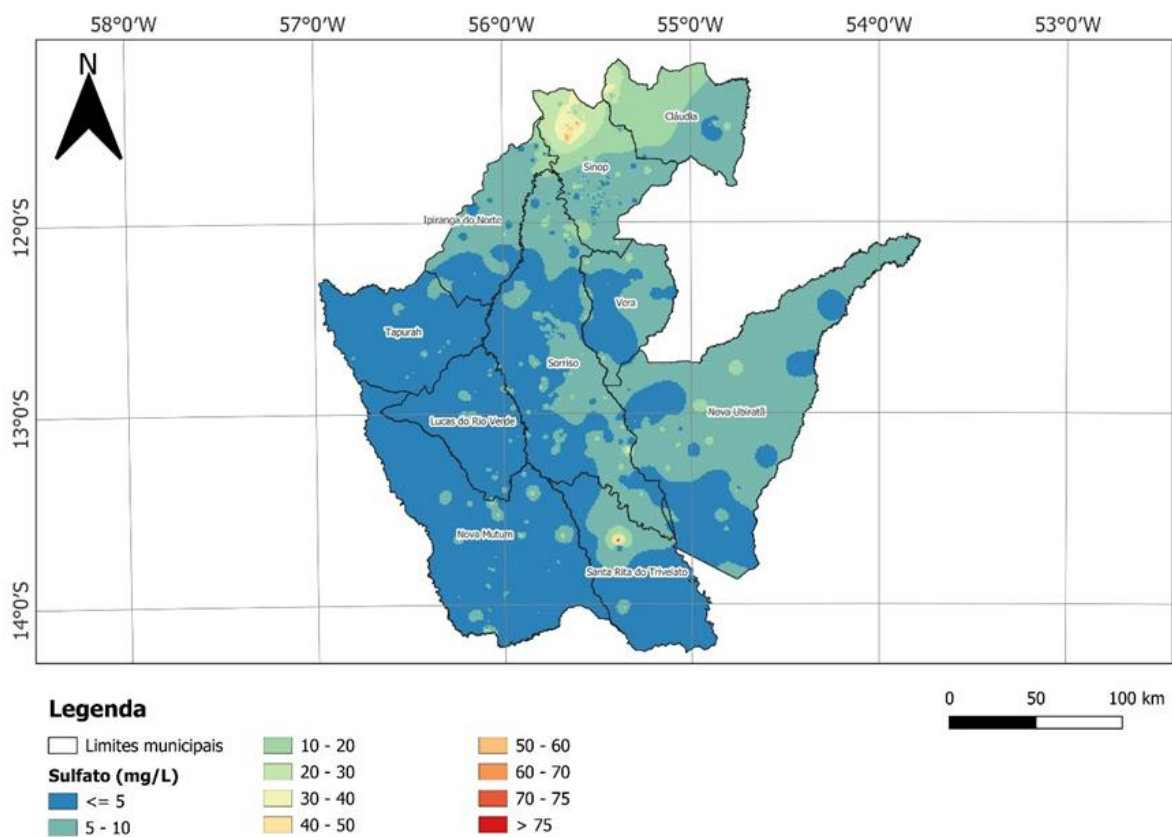


Figura 5.83 - Mapa de variação da concentração de Sulfato na área de estudo.

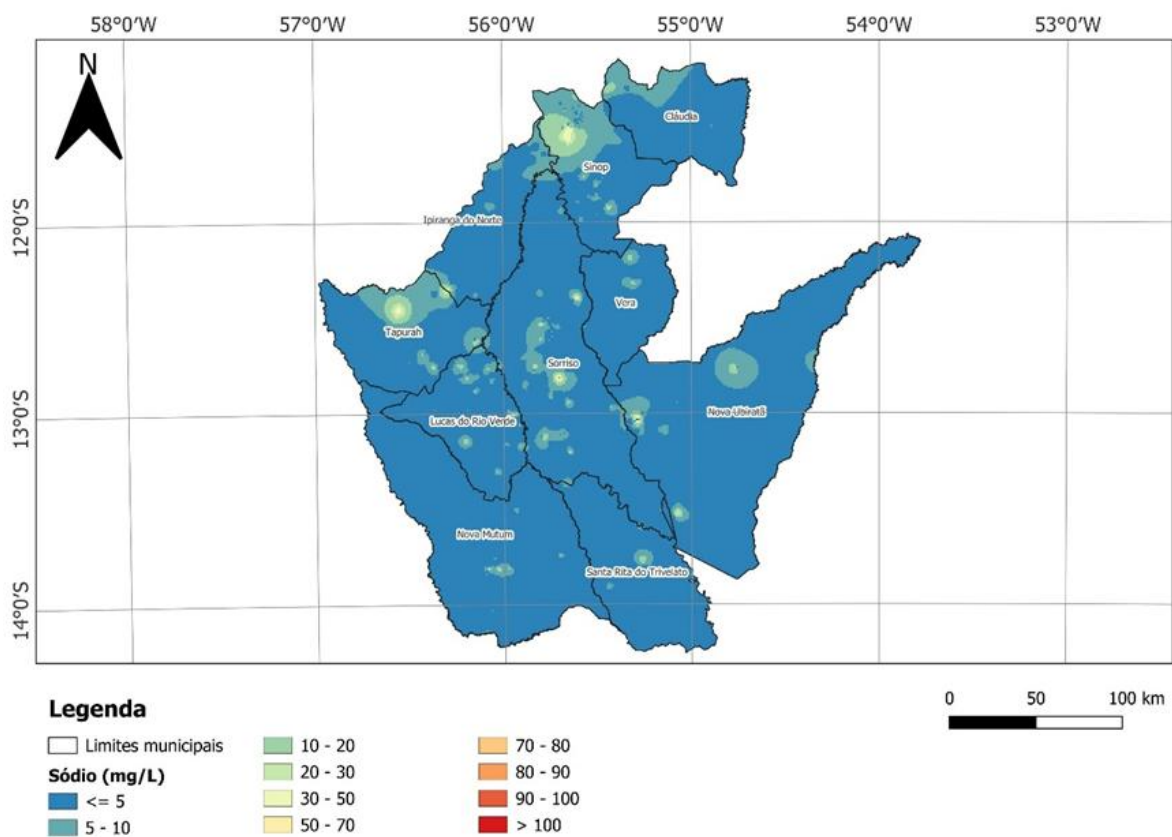


Figura 5.84 - Mapa de variação da concentração de Sódio na área de estudo.

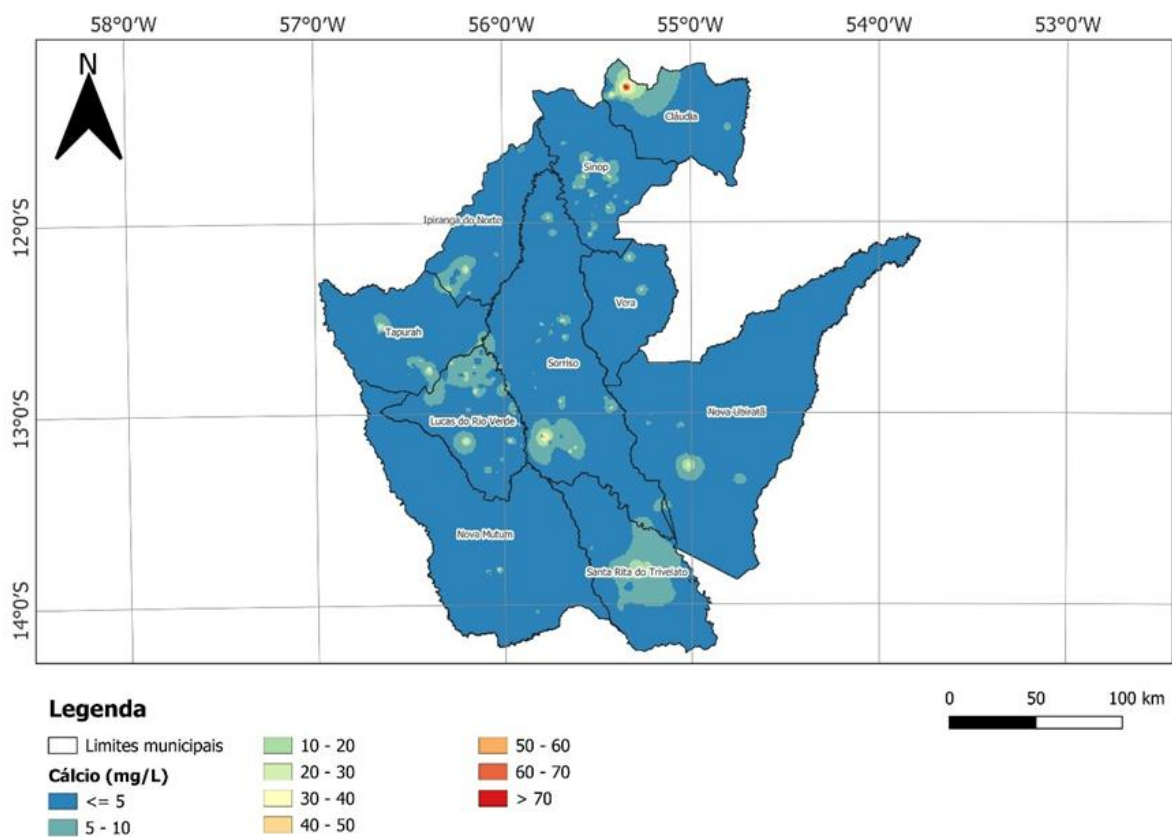


Figura 5.85 - Mapa de variação da concentração de Cálcio na área de estudo.

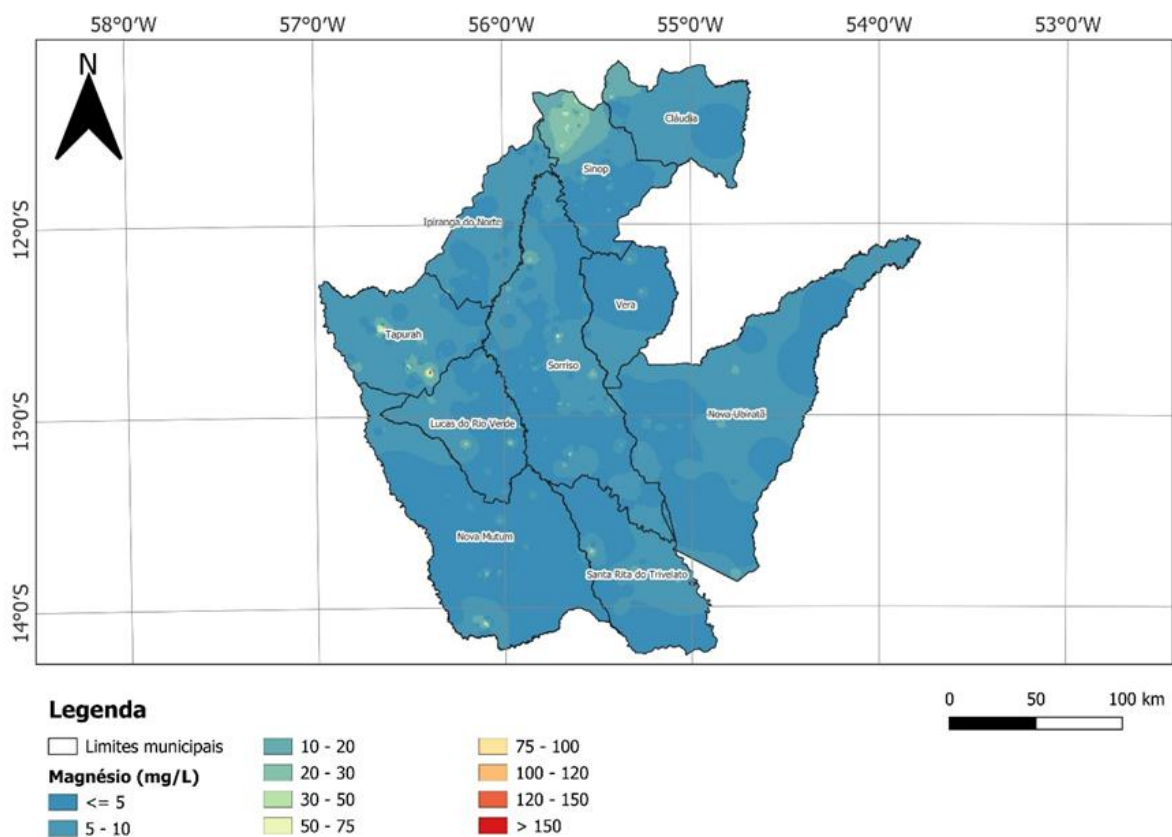


Figura 5.86 - Mapa de variação da concentração de Magnésio na área de estudo.

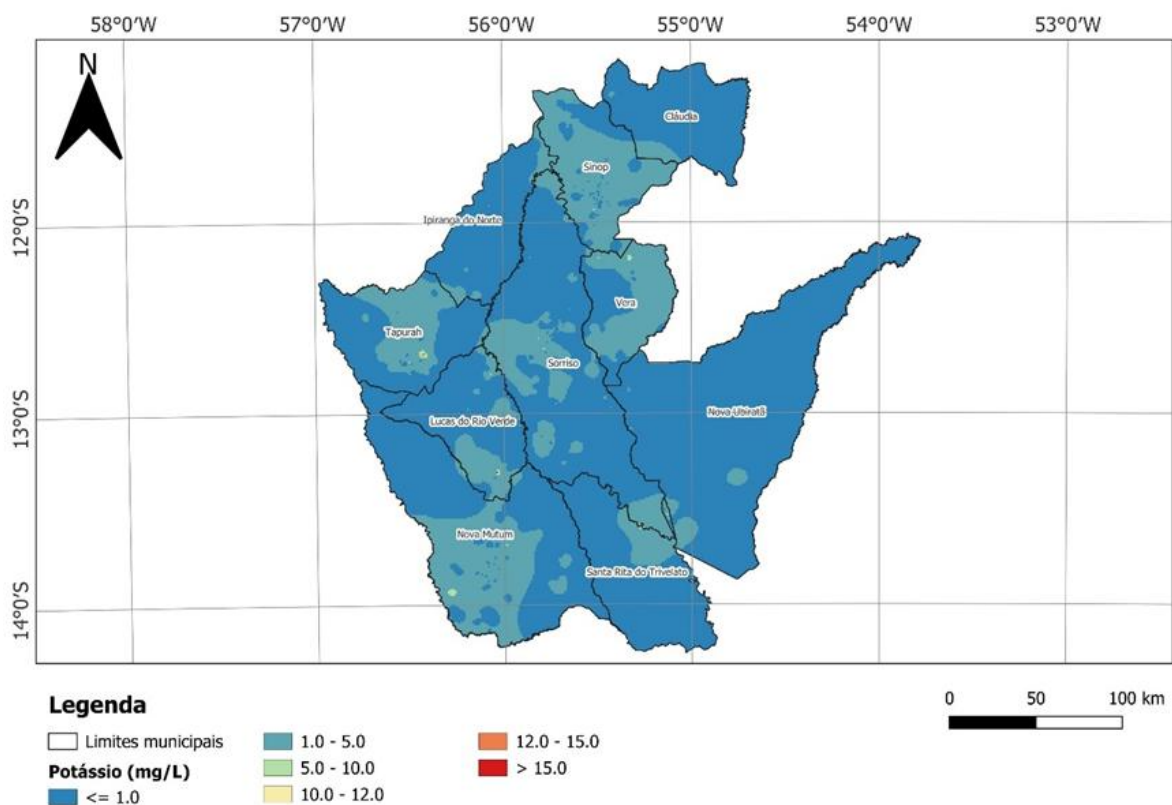


Figura 5.87 - Mapa de variação da concentração de Potássio na área de estudo.

5.3.4.3 Diagrama de Piper

Na Figura 5.88, é apresentado o diagrama de Piper contendo as amostras com íons maiores balanceados. Observa-se que todos os tipos químicos ocorrem na área de estudo, porém é possível observar dois grandes grupos químicos principais: sendo um de águas bicarbonatadas sódicas (círculo azul) e um de águas cloretadas a sulfatadas cálcicas-magnesianas (círculo verde). Um grupo menor de amostras de águas bicarbonatadas cálcicas também pode ser observado (círculo preto), além de outras amostras mistas.

Não foi possível identificar diferenças claras nos padrões hidroquímicos dos diferentes aquíferos. No entanto, devido à ausência de informação acerca da profundidade dos filtros na maioria dos poços estudados, ou ainda pela presença de filtros em diferentes profundidades, a determinação correta do aquífero explotado foi dificultada.

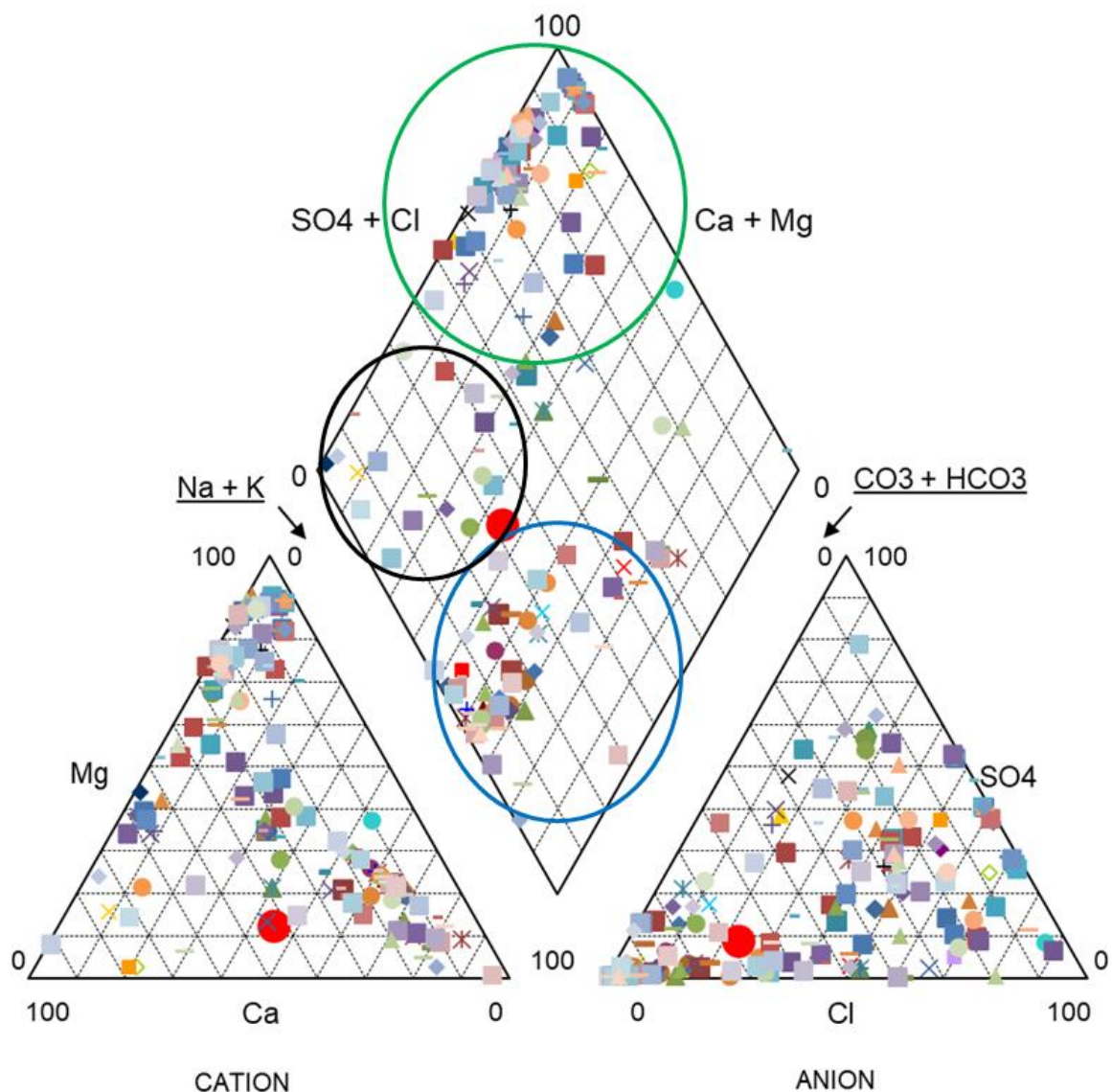


Figura 5.88 - Diagrama de Piper contendo amostras com análises balanceadas na área de estudo.

Portanto, de um modo geral, observam-se águas subterrâneas muito pouco mineralizadas na área de estudo e de característica ácida nos aquíferos Ronuro, Utiriti e Salto das Nuvens. Não são observadas variações hidroquímicas significativas entre estes sistemas aquíferos. Essas características estão de acordo com os estudos regionais desenvolvidos pelo Serviço Geológico do Brasil nos aquíferos em questão (CPRM, 2012). As características hidroquímicas sugerem uma origem meteórica das águas, com recarga recente e rápida infiltração nos aquíferos (Feitosa et al., 2008).

Apenas no aquífero associado à Formação Dardanelos, no norte da área de estudo, foram distinguidas águas um pouco mais mineralizadas, o que pode estar associado às características litológicas dessa formação. Possivelmente pode estar relacionado também a

algumas características hidrogeológicas como maior profundidade dos poços e menor condutividade hidráulica, significando uma circulação mais lenta das águas subterrâneas, e maior confinamento do aquífero.

5.3.5 Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação

Por corresponderem a aquíferos porosos e livres, os aquíferos Utariti, Salto das Nuvens e Ronuro apresentam riscos de contaminação semelhantes àqueles a que estão sujeitas as águas superficiais. No caso do estado de Mato Grosso, a principal atividade econômica é a agropecuária, com destaque para as culturas de soja, milho e algodão, pecuária de corte e grandes criações confinadas de avícolas e de suínos. As consequências dessas atividades implicam em contaminação potencial das águas subterrâneas, a da contaminação por pesticidas (DORES, 2001, apud CPRM, 2012) e por nitrato (RESENDE, 2002; apud CPRM, 2012), comuns no estado.

Durante a avaliação, em campo, dos locais para a implantação dos poços RIMAS realizada pela CPRM (2012) foi possível observar que grande parte da área de exposição dos aquíferos Utariti e Salto das Nuvens é ocupada por monocultura. Já o Aquífero Ronuro apresenta-se, em parte, resguardado por abranger um território legalmente protegido, o Parque Indígena do Xingu. Os 28.000 km² deste parque representam aproximadamente 20 % da área de exposição do aquífero, mas verifica-se que grande parte das nascentes dos tributários do rio Xingu está fora desta área protegida, e sujeita a impactos ambientais.

Cutrim et al. (2021) realizaram um estudo de vulnerabilidade natural, antrópica e total e de perigo à contaminação do Aquífero Utariti em Sinop (MT). A vulnerabilidade natural baixa predomina na área urbana de Sinop, ocorrendo em 94,46 % da área, seguida pela vulnerabilidade natural moderada, com 3,82% e desprezível, ocupando 1,72%.

Os mesmos autores, avaliando a vulnerabilidade total pelo método VAN (Soma da vulnerabilidade natural mais a antrópica) para a área urbana de Sinop, obtiveram os valores mostrados na Figura 5.89.

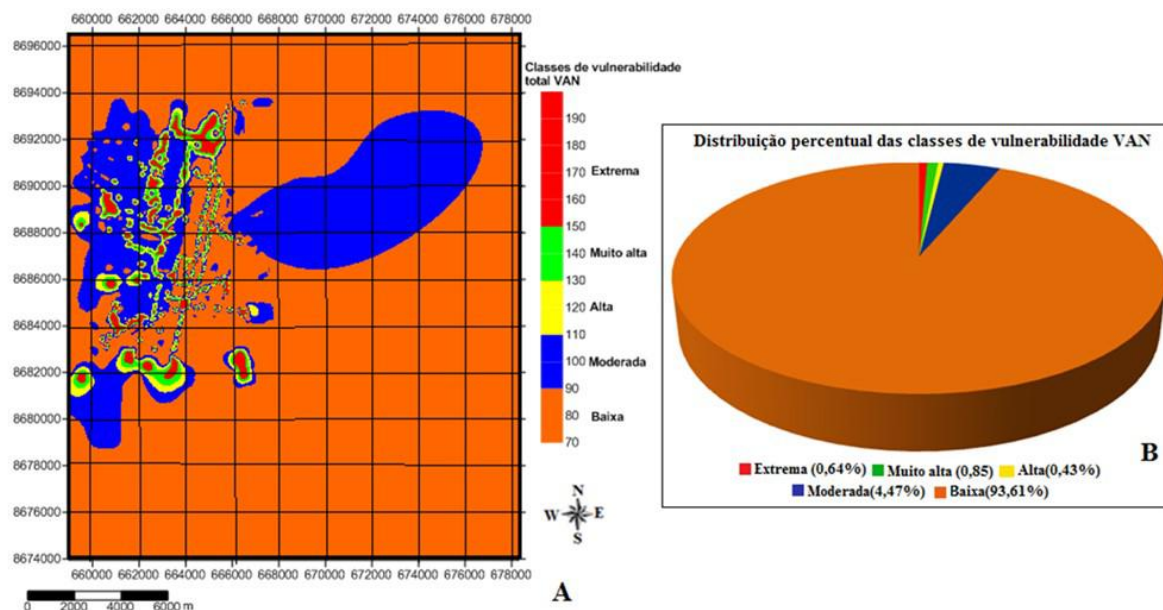


Figura 5.89 - Mapa de vulnerabilidade total do Aquífero Utariti obtida pelo método VAN e sua distribuição percentual, por classes (CUTRIM et al. 2021).

Backles & Migliorini (2022) avaliaram a vulnerabilidade natural do aquífero Parecis no estado de Mato Grosso, considerando que a área ocupada pelos aquíferos da Bacia dos Parecis é uma das maiores produtoras de grãos do país e, portanto, suscetível à contaminação por pesticidas e nitrato. Os autores utilizaram o método MAIA, que considera os seguintes parâmetros: profundidade da água ou nível estático; espessura do solo; declividade do terreno; capacidade específica; recarga potencial e transmissividade.

Os autores consideraram como pertencentes ao Aquífero Utariti os poços distribuídos nas unidades geológicas superficiais mapeadas pela CPRM como de coberturas detrito-lateríticas ferruginosas. Em mapa, estas coberturas se sobrepõem às litologias da Formação Utariti na porção sudoeste da Bacia dos Parecis e na porção central aparecem recobrimdo as rochas da Formação Salto das Nuvens (Figura 5.90). Trabalhos usando o método geofísico SEV, realizados na cidade de Lucas do Rio Verde/MT por Cutrim et al. (2007) e Cutrim (2010) e, na cidade de Sinop/MT por Lussi (2013), citam a ocorrência da Formação Utariti sotoposta às coberturas detrito lateríticas ferruginosas.

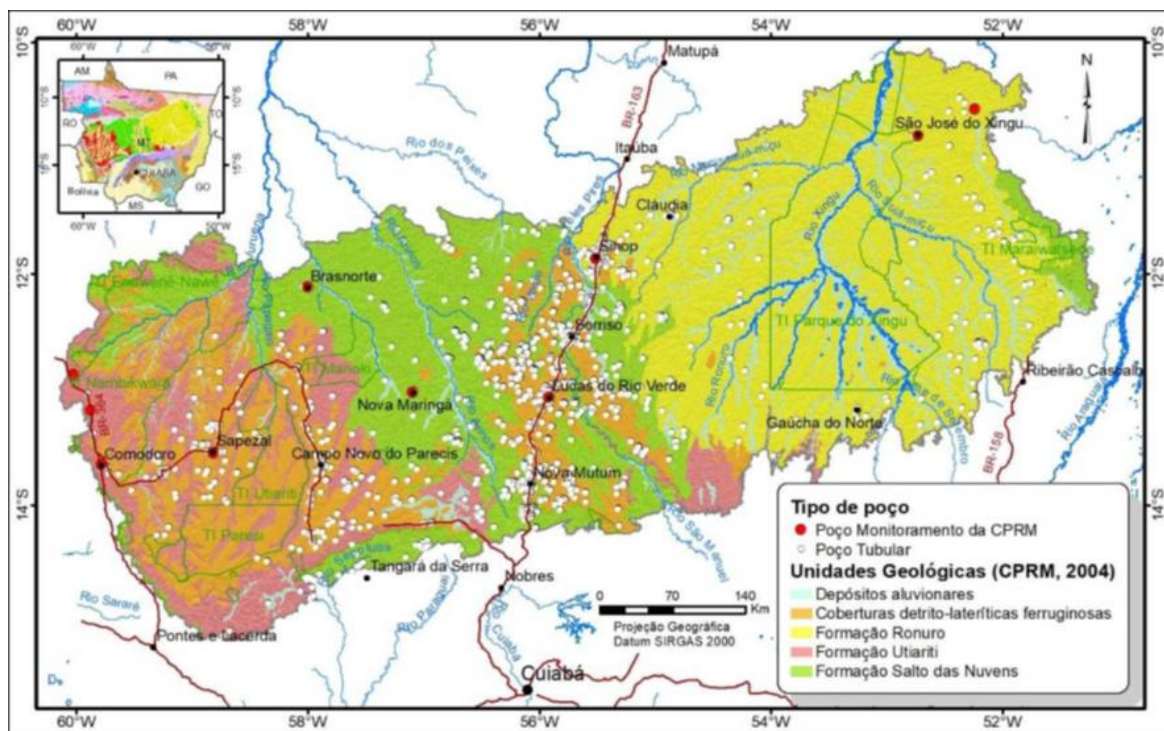


Figura 5.90 - Unidades geológicas e distribuição dos poços no SAP (BACKLES & MIGLIORINI, 2022).

Backles & Migliorini (2022) produziram também um mapa de vulnerabilidade, mostrado na Figura 5.91. A classe de vulnerabilidade predominante foi a média, com 96% dos resultados, seguida pela baixa, com 3%. Apenas um poço, localizado em Sinop, teve vulnerabilidade considerada extrema, enquanto outros 14 poços resultaram em vulnerabilidade alta, nos municípios de Campo Novo do Parecis (3), Claudia (8), Sapezal (1) e Sinop (2).

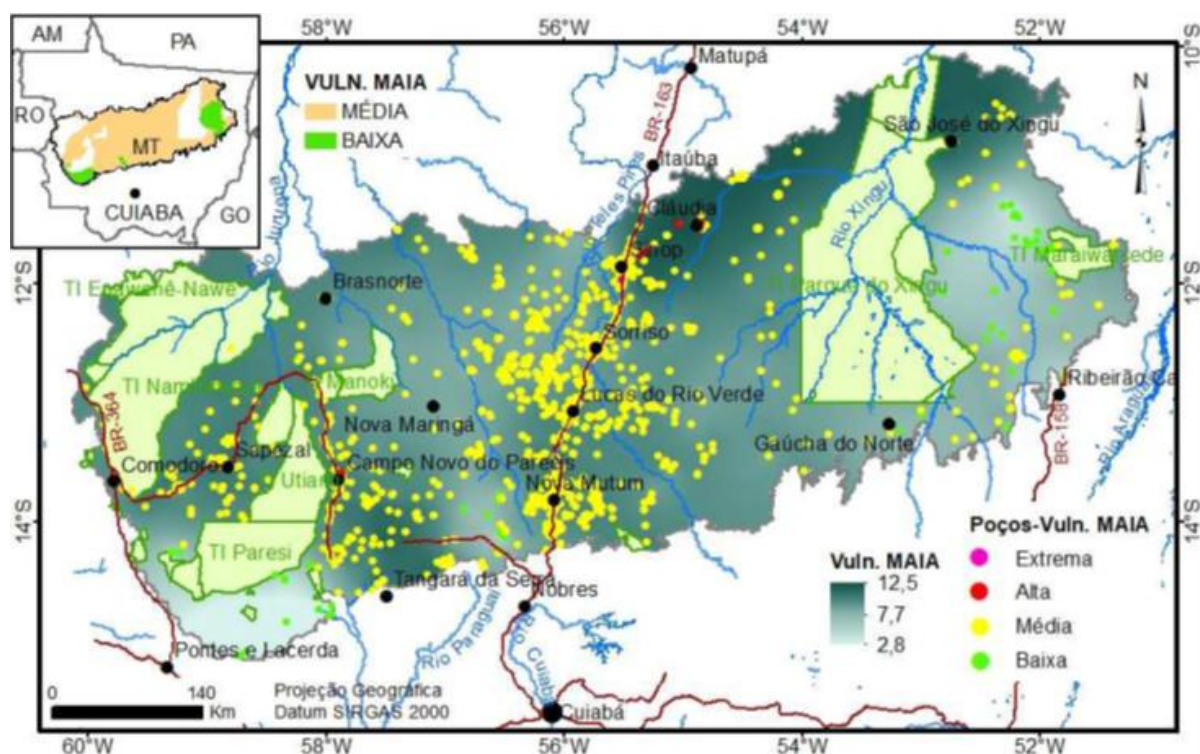


Figura 5.91 - Mapa de vulnerabilidade natural obtido por Backles & Migliorini (2022), utilizando o método MAIA. Os tons de verde a cinza no mapa indicam a vulnerabilidade do aquífero e os pontos a vulnerabilidade estimada nos poços.

A observação do mapa da Figura 5.91 mostra uma grande semelhança com a distribuição de chuvas, o que mostra a importância da recarga na vulnerabilidade dos aquíferos, já que todos eles foram considerados como livres e porosos e ocupam área com relevo semelhante e com mesma espessura de solos. Como a transmissividade, em função do baixo número de dados, não foi considerada pelos autores, a recarga acabou influenciando mais o resultado. Por fim, os autores concluem que as áreas urbanas e áreas agrícolas, compondo cerca de 20,5% da área total, são aquelas que apresentam o maior potencial contaminante, seguido das áreas de pecuária extensiva, com 9,5% da área total.

5.3.6 Uso da Água Subterrânea

De acordo com os dados levantados pela CPRM (2012), do total de 275 poços perfurados na região de ocorrência dos aquíferos Ronuro, Salto das Nuvens e Utiairiti, 64% estão voltados ao abastecimento doméstico, 17% ao abastecimento urbano, e 13% ao abastecimento industrial, destacados como os três principais usos. Os usos minoritários correspondem a abastecimento múltiplo (1,09%) e pecuária (0,36), sendo que 0,72% dos poços estão desativados ou abandonados.

Desse percentual regional, verifica-se que o Aquífero Salto das Nuvens é o mais explorado, seguido pelo Utuariiti.

5.3.7 Recarga

Em relação à recarga, com a análise de cinco poços que compõem a rede RIMAS no estado de Mato Grosso (5200006101, 5200006102, 5200007038, 5200007039 e 5200007040), a CPRM (2023) estimou a recarga no Aquífero Parecis Indiviso como variando entre 2 e 30% da precipitação média, com um valor máximo de 369 mm. Para o Aquífero Ronuro, com base em três poços (5200006100, 5200007034 e 5200007035), a recarga calculada variou entre 7 e 68% (133 e 588 mm), com valores máximos de 724 mm. De acordo com Pereira et al. (2014), a recarga nesse aquífero pode alcançar valores superiores a 900 mm/ano.

5.3.8 Reservas e Potencialidade Hídrica Subterrânea

De acordo com o relatório técnico do Ministério do Meio Ambiente “Cenário dos Recursos Hídricos do Estado de Mato Grosso” (MMA/SRH, 2007b), a Bacia dos Parecis destaca-se, em termos de potencialidade, com uma reserva explorável em torno de $4,6048 \times 10^{10}$ m³/ano, ou $1,460 \times 10^3$ m³/s, o que corresponde a 75,4% das reservas exploráveis do domínio poroso e 67,9% das reservas permanentes totais do estado.

Silva (2013) realizou uma avaliação das reservas hídricas subterrâneas do Sistema Aquífero Parecis (SAP), considerando duas áreas, uma mais conservadora, com 200.000 km²; e outra considerando uma área inferida de 300.00 km². Para o cálculo das reservas considerou uma porosidade efetiva variando entre 12% e 15%, uma espessura de camada saturada entre 120 e 250 m, e uma oscilação do nível freático entre 1 e 2 m. Com base nestas premissas, apresenta-se, na Tabela 5.15, os valores obtidos.

Tabela 5.15 - Resultados do cálculo das reservas hídricas subterrâneas (SILVA, 2013).

Área Considerada (km ²)	Reservas Permanentes (m ³)	Reservas Renováveis (m ³ /ano)	Reservas Exploráveis (m ³)
200.000	$2,880 \times 10^{12}$	$2,40 \times 10^{10}$	$2,5440 \times 10^{11}$
300.000	$1,125 \times 10^{13}$	$9,00 \times 10^{10}$	$1,7775 \times 10^{12}$

Cutrim (2010) realizou uma caracterização do SAP na área do município de Lucas do Rio Verde (MT), na qual o autor estimou as reservas reguladora, permanente, reguladora

e total. Nesses cálculos foram utilizados uma área de 18.126 km², um coeficiente de porosidade específica de 13%, uma espessura saturada de 200 m e uma variação do nível d'água no ano hidrológico de 3,492 m. A reserva potencial foi calculada considerando-se a reserva reguladora mais 0,6% da reserva permanente (30% da reserva permanente em um período de 50 anos). Assim, as reservas reguladoras, permanentes, totais e explotáveis foram estimadas em 9,30 x 10⁶ m³/ano, 4,713 x 10⁸ m³, 4,806 x 10⁸ m³ e 1,212 x 10⁷ m³/ano, respectivamente. Esse cálculo considerando o uso de parte da reserva permanente, mesmo que uma fração reduzida, segundo as boas práticas internacionais e desaconselhável, já que o ideal é utilizar apenas parte da reserva reguladora.

5.3.9 Rede de Monitoramento

A rede de monitoramento da RIMAS-SBG no estado de Mato Grosso é composta por 26 poços de monitoramento, conforme se apresenta no mapa da Figura 5.92.

Desses, na região do estudo foram identificados 23 (vinte) pontos de monitoramento na bacia do rio Teles Pires, marcado em vermelho na Figura 5.84. Desses, foram perfurados e encontram-se em operação 17 (dezessete) piezômetros de monitoramento no sistema aquífero Parecis, dos quais 11 (onze) com dados de monitoramento (Tabela 5.16) e 2 (dois) no Ronuro.

Tabela 5.16 - Principais características dos poços construídos para o monitoramento no Sistema Aquífero Parecis-MT (CPRM, 2012).

MUNICÍPIO	LOCALIDADE	LAT	LONG	AQUÍFERO	NE (m)	PROF. (m)	Q (m ³ /h)
Campo Novo do Parecis	Inst. Fed. de Educação, Ciência e Tecnologia	-13.677	-57.786	Utiariti	61	76.48	
Comodoro	Horto Municipal	-13.649	-59.786	Utiariti	18.93	71.5	7.84
Sapezal	Pátio CIRETRAN	-13.555	-58.815	Utiariti	29.64	64.8	9.22
Lucas do Rio Verde	Clube do Idoso	-13.071	-55.921	Salto das Nuvens	6.34	51	6.48
Nova Maringá	Centro Social Mateus Bonine Alonso	-13.023	-57.096	Salto das Nuvens	10.79	68	4.632
Brasnorte	Triângulo Estrada do Perobal	-12.116	-58.004	Salto das Nuvens	17.23	90	3.8
Sinop	Viveiro de Mudar Roque Canelli	-11.870	-55.514	Ronuro	5.15	52	7.25
São José do Xingu	Pátio Secretaria de Obras	-10.805	-52.729	Ronuro	21.92	62	0.77
São José do Xingu	Vila Sto Antonio Fontoura	-10.577	-52.242	Ronuro	13.82	80	1.69
Comodoro	Padronal	-13.181	-59.878	Utiariti	17.4	72	6.18
Comodoro	Gleba 12 de Outubro	-12.869	-60.026	Utiariti	48	76	4.8

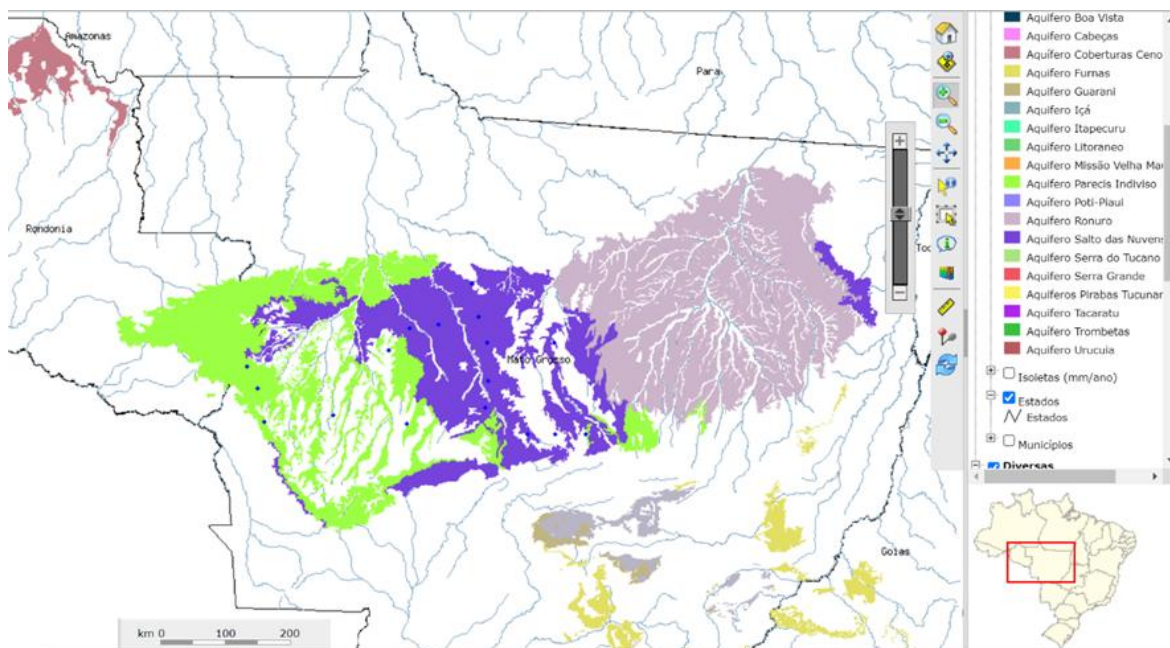


Figura 5.92 - Poços de monitoramento da rede RIMAS no estado de Mato Grosso. (CPRM-SBG, 2024).

Ressalta-se que, de acordo com a CPRM-SBG (2022), já foi realizada a licitação para a instalação de no 15 (quinze) novos poços para monitoramento do aquífero Parecis.

Na Figura 5.93 e na Figura 5.94 apresenta-se uma foto e o perfil construtivo de um poço de monitoramento instalado no aquífero Parecis e o gráfico de monitoramento para o período 2011 até 2024, respectivamente. Já na Figura 5.95 e na Figura 5.96 apresenta-se uma foto e o perfil construtivo de um poço de monitoramento instalado no aquífero Ronuro, e o gráfico de monitoramento para o período 2011 até 2024, respectivamente.

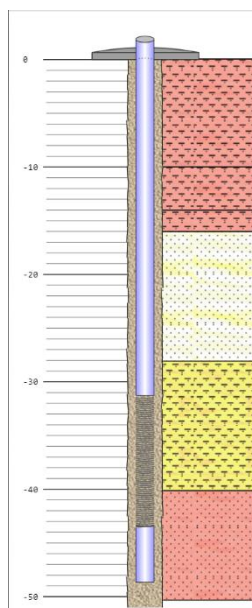


Figura 5.93 - Poço de monitoramento (5200013533) da RIMAS/SGB/CPRM instalado na Escola Agrícola Senar em Ranchão (MT) e seu perfil geológico/construtivo (à esquerda), onde se observa: o poço tubular com a zonas de filtros situadas entre 32-47 m de profundidade; o pré-filtro, que ocorre em toda a extensão do poço; as litologias areia – amarelo, areia fina (argilosa) – em vermelho e argila arenosa, em vermelho, mais próximo da superfície.

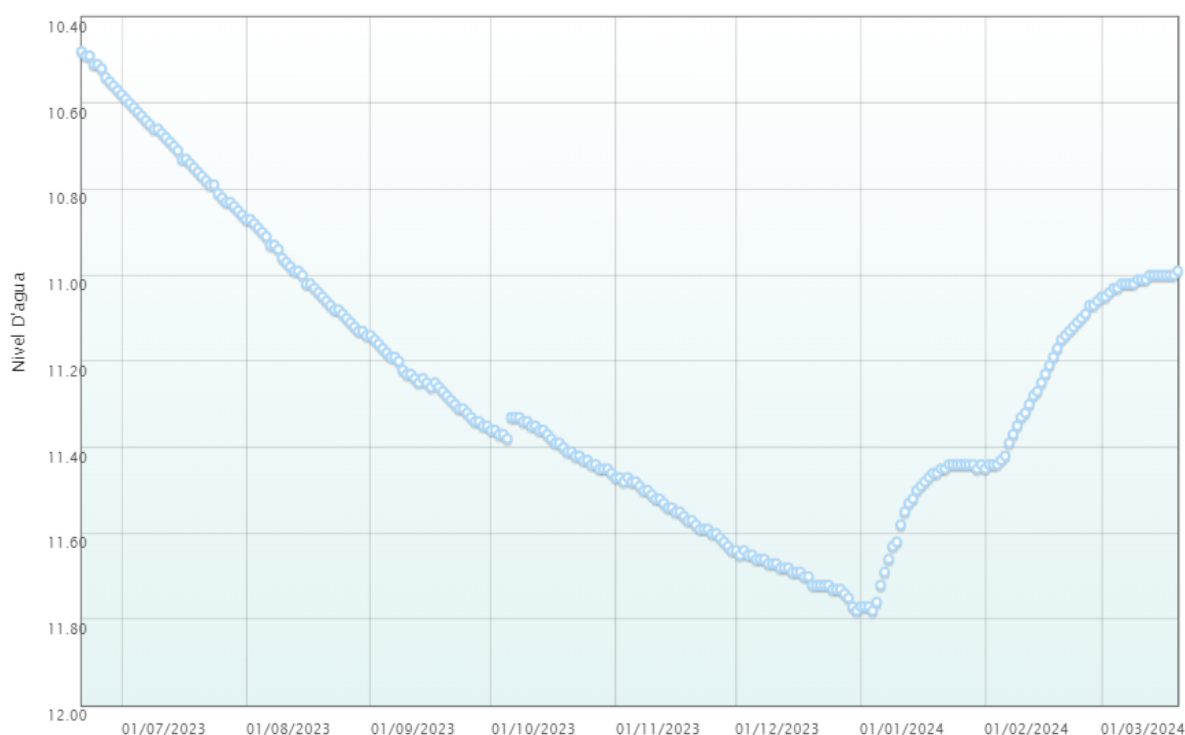


Figura 5.94 - Gráfico do monitoramento do NA no poço (5200013533) da RIMAS/SGB/CPRM em Ranchão (MT).



Figura 5.95 - Poço de monitoramento (5200006100) da RIMAS/SGB/CPRM instalado em Sinop (MT) e seu perfil geológico/construtivo (à esquerda), onde se observa: o poço tubular com a zonas de filtros situadas entre 44-48 m de profundidade; o pré-filtro, que ocorre em toda a extensão do poço; as litologias areia – amarelo e branco, laterita – laranja e argila siltosa ou arenosa, em vermelho; e a posição do sensor de dados, em verde.

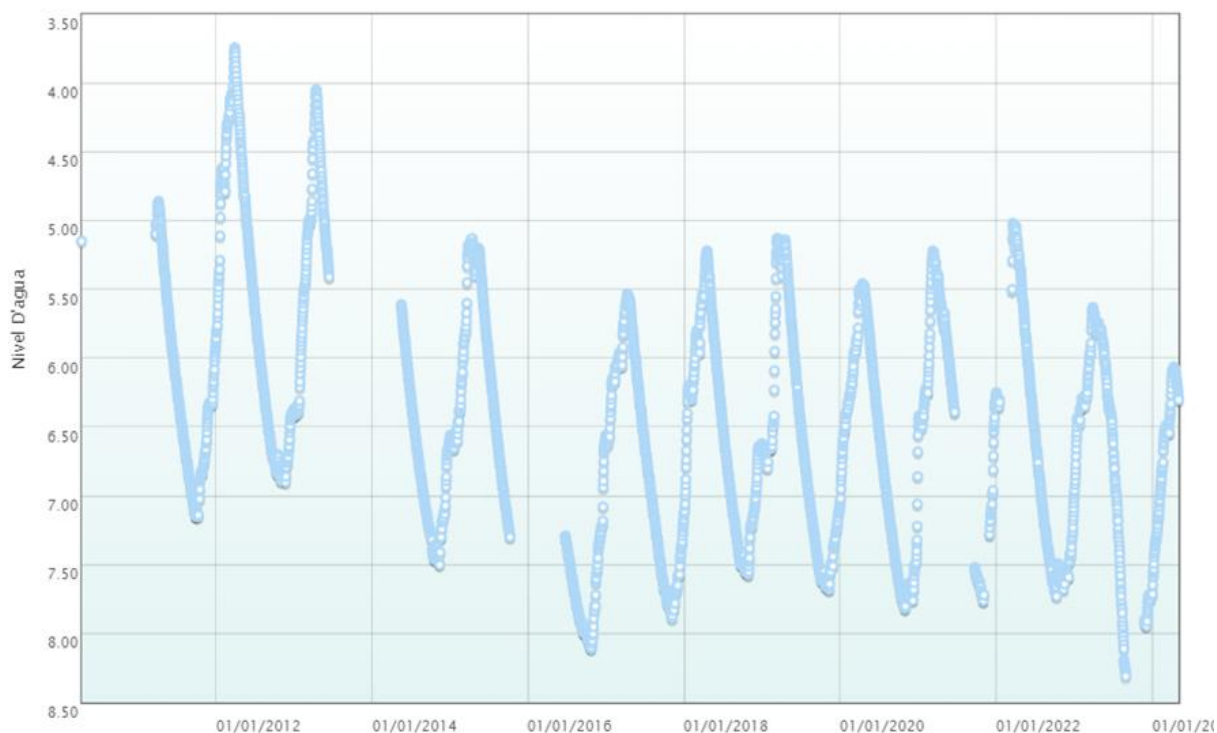


Figura 5.96 - Gráfico do monitoramento do NA no poço (5200006100) da RIMAS/SGB/CPRM em Sinop (MT).

5.4 ELABORAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL REGIONAL - BACIA DO RIO DAS MORTES

5.4.1 Introdução

Este relatório apresenta os resultados parciais do modelo geológico conceitual da bacia do Rio das Mortes, referente à atividade 5.3. Ressalta-se que o modelo geológico no software Leapfrog ainda não foi iniciado.

5.4.2 Unidades hidrogeológicas

5.4.2.1 Aquífero Marília

A Formação Marília, pertencente ao Grupo Bauru, compõe uma unidade aquífera de importância regional, na bacia do Alto Rio das Mortes. No mapa geológico da área de estudo, apresentado na Figura 5.97, a Formação Marília está contida no Grupo Bauru indiviso.

A Formação é composta por conglomerados polimíticos cinzas, esbranquiçados e amarelados, subordinadamente avermelhados. Os seixos são arredondados, com até 20 cm, de quartzo (predominante), basalto, arenito, sílexito, sílexito oolítico, com matriz areno-argilosa localmente carbonática com estratificação plano-paralela, cruzada acanalada e tangencial. Ocorrem ainda arenitos rosa, com granulometria média, grãos de quartzo subangulosos a subarredondados, bem selecionados, com estratificação plano-paralela e níveis de conglomerado (CPRM-SGB, 2016).

A Formação Marília ocorre subjacente à Cobertura Detrito Laterítica (denominada N1dl), com algumas manchas de afloramento no vale do Rio das Mortes, conforme indica o mapa geológico da Folha Dom Aquino, em escala 1:250.000 (CPRM/SGB, 2016), apresentado na Figura 5.98.

A unidade é sobreposta em discordância tectônica (falhas extensionais normais) e erosiva aos sedimentos das Formações Ponta Grossa, Botucatu e Aquidauana e sotoposta em discordância irregular erosiva pelos sedimentos das Coberturas Detrito Lateríticas ferruginosas.

A unidade é definida como um aquífero livre a semiconfinado, heterogêneo, de extensão regional. Apresenta permeabilidade e transmissividade de moderada a baixa, com vazões entre 10 e 20 m³/h (CPRM-SGB, 2020). A espessura da camada pode chegar a cerca de 370 m (CPRM/SGB, 2016).

Segundo a CNEC Engenharia (2000), a Formação apresenta vazões médias de 4,23 m³/h e capacidade específica média de 0,51 m³/h/m. Contudo, observou-se que localmente vazões bem maiores podem ser obtidas nas proximidades de estruturas geológicas, como verificado em campo nos poços de propriedade da Indústria FS – Fueling Sustainability, localizados na zona rural de Primavera do Leste.

Dessa forma, as feições estruturais possuem grande importância nas unidades hidrogeológicas do Alto Rio das Mortes. As principais feições que ocorrem na região são representadas por falhas extensionais normais orientadas preferencialmente segundo as direções NE-SW (predominante) e NW-SE, conformando extensos lineamentos paralelos (CPRM/SGB, 2016). Apresentam caráter rúptil, geradas sob regime distensivo, provavelmente oriundas de reativação de falhas preexistentes, durante o Cretáceo. As falhas de direção NW-SE são mais jovens, uma vez que truncam as falhas de direção NE-SW. Na Figura 5.99 é apresentado o mapa de elementos estruturais, das Folhas Dom Aquino e Rondonópolis (CPRM/SGB, 2016).

5.4.2.2 Aquífero Furnas

A Formação Furnas (D1f) compõe uma unidade aquífera de importância regional na bacia do Alto Rio das Mortes, aflorando na porção sul-sudeste da área de estudo, como pode ser observado no mapa geológico apresentado na 5.97.

A Formação Furnas tem sua seção-tipo no escarpamento de Serrinha, próximo à estação ferroviária de Serrinha, estado do Paraná. Segundo Assine et al. (1994) sua maior espessura em subsuperfície é de 337 m (Poço 2-TL-1-MS).

A Formação é composta, em sua porção inferior, por arenitos feldspáticos grossos, texturalmente imaturos, ocorrendo ainda, de forma descontínua, arenitos conglomeráticos e conglomerados quartzosos. Em direção ao topo da unidade, os arenitos tornam-se menos feldspáticos, com granulação mais fina, interdigitando-se com camadas de argilitos. O ambiente interpretado é como fluvial a transicional (deltas de rios entrelaçados) com depósitos desenvolvendo-se em onlap costeiro de oeste para leste.

As rochas apresentam-se em discordância sobre o embasamento e por superfície erosiva regional sobre as rochas do Grupo Rio Ivaí, em um padrão de empilhamento retrogradacional, caracterizando um evento transgressivo. O contato superior com a Formação Ponta Grossa é transicional.

No Estado de Mato Grosso a Formação Furnas ocorre ao longo das bordas norte e noroeste da Bacia do Paraná. Na bacia hidrográfica do Rio das Mortes, a Formação aflora à montante, na porção sudoeste. Porém, a unidade aquífera pode ser explorada em profundidade a partir de poços profundos em outros locais da bacia.

A Formação Furnas, unidade basal do Grupo Paraná, é descrita na região de Barra do Garças, em uma seção geológica, com 195 m de espessura aflorante, sendo constituída predominantemente por arenitos grossos a muito grossos com estratificação cruzada planar e cruzada acanalada, além de arenitos finos a médios com estratificação cruzada hummocky, subordinadamente (ASSINE, 1996).

A espessura da Formação Furnas, registrada em um poço da Petrobras localizado em Alto Garças, atingiu 331 m. Na área das folhas Dom Aquino e Rondonópolis, a CPRM-SGB (2016) definiu uma espessura de cerca de 406 m com base em dados de um poço tubular profundo localizado na cidade de Rondonópolis.

Em relação aos aspectos hidrodinâmicos, o aquífero Furnas apresenta-se livre a semiconfinado, quando aflorante, tornando-se confinado em profundidade, principalmente quando sotoposto à Formação Ponta Grossa. Os parâmetros hidráulicos como permeabilidade, condutividade hidráulica, transmissividade e porosidade primária são, em geral, elevados.

Segundo o Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB, 2012), em sua porção livre, o aquífero apresenta vazão média de 18,6 m³/h e capacidade específica média de 1,71 m³/h/m. Já na porção confinada, os parâmetros são bem mais elevados, apresentando vazão média de 47,9 m³/h e capacidade específica média de 3,39 m³/h/m. Em grandes profundidades pode chegar a atingir vazões de até 250 m³/h. No entanto, em locais onde as camadas encontram-se isoladas e descontínuas, podem ocorrer vazões entre 1 e 10 m³/h, o que reduz bastante a favorabilidade hidrogeológica da unidade. As maiores vazões observadas no aquífero Furnas ocorrem na região sudoeste da área de exposição, especificamente no município de Rondonópolis.

Com relação às características hidroquímicas, em sua porção confinada, o aquífero Furnas pode apresentar pH e Condutividade Elétrica mais elevados, provavelmente associados a um elevado tempo de residência das águas subterrâneas e processo de interação água-rocha prolongado. Já nas porções aflorantes do aquífero, tendem a ocorrer águas pouco mineralizadas e com pH ácido, associadas ao processo de recarga.

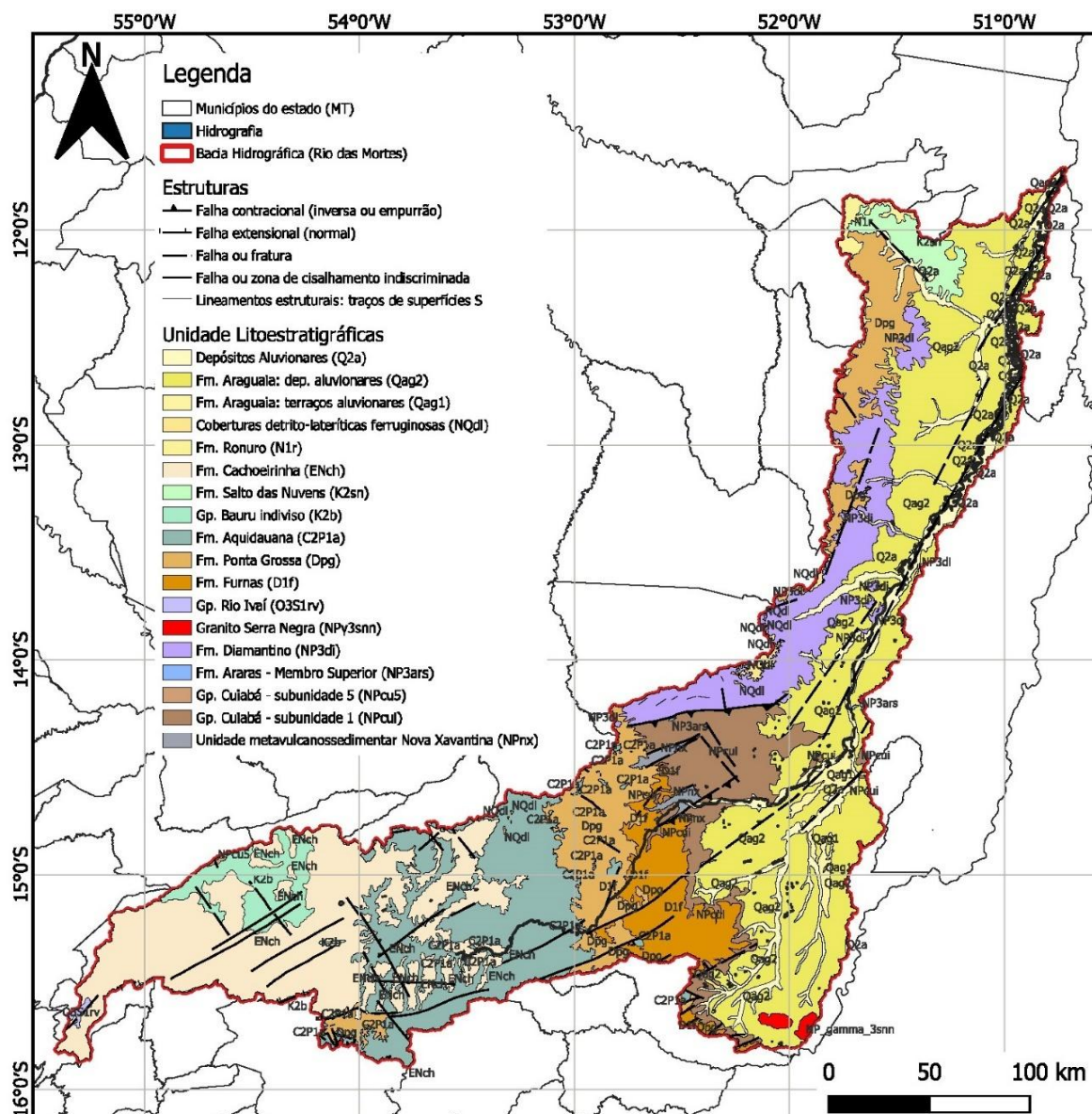
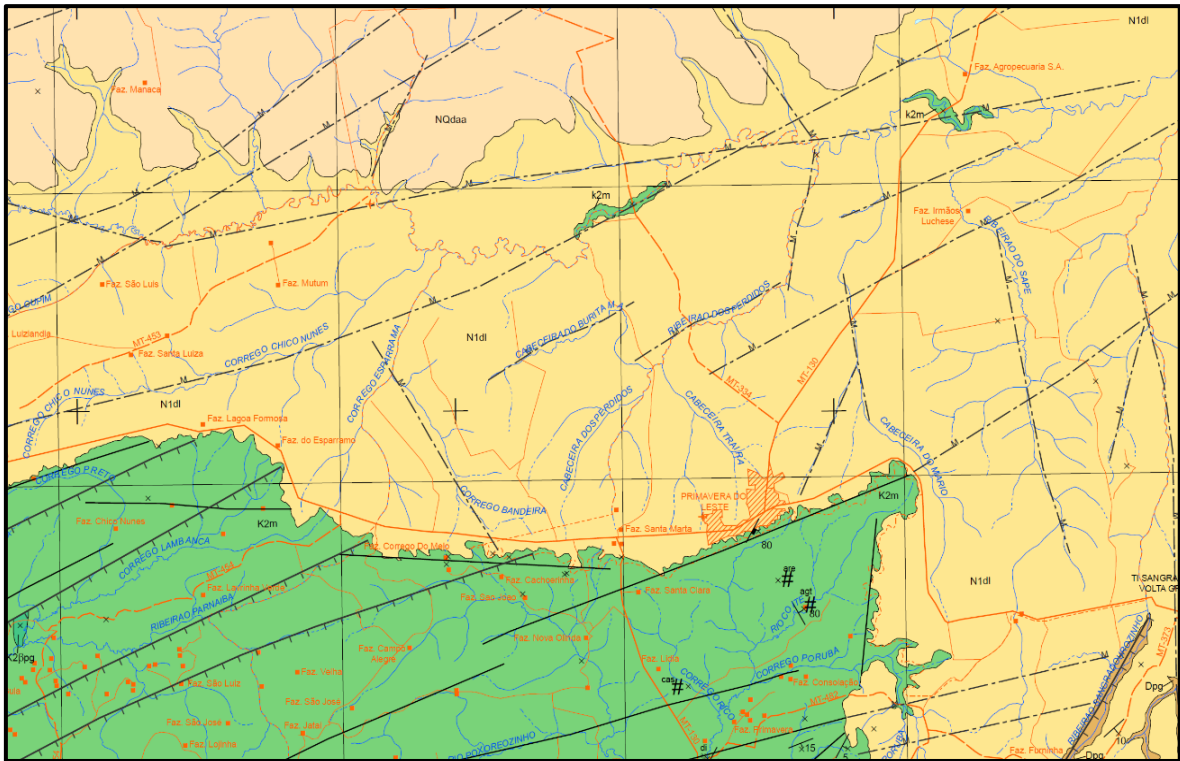


Figura 5.97 - Mapa geológico da bacia do Alto Rio das Mortes, na escala 1:1.000.000.



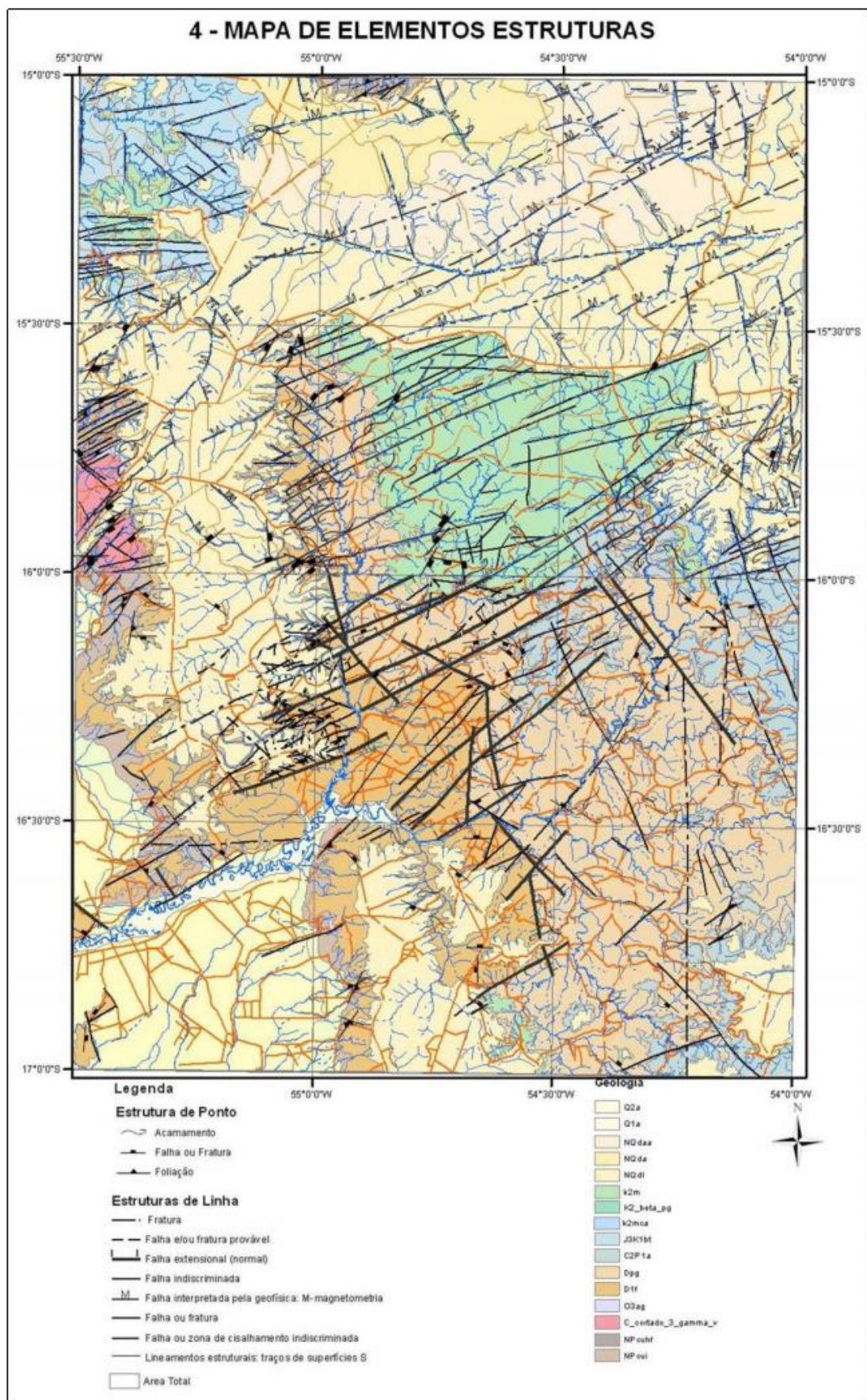


Figura 5.99 - Mapa de elementos estruturais das folhas Dom Aquino e Rondonópolis (CPRM/SGB, 2016).

5.4.3 Metodologia de modelagem geológica

Para a modelagem e elaboração dos sólidos do modelo, utilizou-se os *softwares* QGIS, CloudCompare e Leapfrog, sendo que os dois primeiros foram utilizados nas etapas de pré-processamento. O desenvolvimento de construção do modelo 3D foi idealizado no *software* Leapfrog. O algoritmo desse *software* utiliza uma função matemática de base radial conhecido como *FastRBFTM* – “*Radial basis function*”. Este algoritmo possibilita construir modelos de superfície e sólidos implicitamente, utilizando-se dados amostrados de forma regular e uniformes ou irregular não uniforme. A vantagem da ferramenta é a construção de modelos de forma rápida e com atualizações dinâmicas (Cowan et al., 2003).

Os dados de entrada podem ser categóricos e/ou numéricos, desde que estejam georreferenciados, para realização da modelagem. Através do seu caráter implícito, os modelos gerados podem ser atualizados dinamicamente conforme o input de novos dados referentes a área do modelo. Essas atualizações podem ser realizadas a qualquer momento. Ele ainda permite edições pontuais, colaborando para a correção e ajustes de superfícies e sólidos desenvolvidos.

5.4.2.2 Pré-Processamento

5.4.2.2.1 Informações e Organização da Base de Dados para Modelagem

Para que se pudesse elaborar o modelo deve-se, inicialmente, realizar o levantamento de dados, atividade que foi realizada nas etapas anteriores do projeto. Dentre os dados levantados listam-se:

1. Dados topográficos (SRTM das folhas que compreendem a bacia | 71 imagens);
2. Informações sobre a bacia de Parecis com dados da CPRM e Petrobrás;
3. Informações de trabalhos acadêmicos sobre a geologia da bacia;
4. Informações de perfil de poços (poços d'água executados no estado do Mato Grosso e cadastrados no SIAGAS) e poços realizados pela Petrobras (dados da ANP), sendo que estes últimos ainda estão sendo inseridos no modelo.

Posteriormente, realiza-se a organização dos considerando as seguintes etapas:

1. Transposição e georreferenciamento dos dados topográficos do SRTM para coordenadas UTM e datum;
2. Geração de nuvem de pontos para unificação das bases topográficas (71 imagens SRTM) em uma única superfície topográfica;
3. Geração de superfície topográfica da área da bacia;
4. Utilização de informações geológica estruturais regionais para geração do arcabouço morfoestrutural da bacia;
5. Validação do arcabouço com dados geofísicos regionais e disponíveis da literatura;
6. Uniformização da base de dados de poços com a criação de BD (*Collar/Survey/Perfil*) em formato “CSV”, contemplando os dados categóricos de litologia e descrição do perfil; e
7. Definição do limite do modelo, baseando-se no limite da bacia.

5.4.4 Desenvolvimento do Modelo

O modelo conceitual ainda não foi iniciado no software Leapfrog. O início desse trabalho está previsto para iniciar na terceira semana de junho, após o término do modelo conceitual do Alto Teles Pires.

5.5 ELABORAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL REGIONAL - BACIA DO ALTO TELES PIRES

5.5.1 Introdução

Este relatório apresenta os resultados parciais do modelo geológico conceitual em fase final de elaboração para a bacia do Alto Teles Pires.

5.5.2 Unidades hidrogeológicas

5.5.2.1 Sistema Aquífero Parecis

O Sistema Aquífero Parecis é uma das principais unidades hidrogeológicas do Estado de Mato Grosso, estendendo-se predominantemente sobre o Chapadão dos Parecis, na região centro-oeste e noroeste do estado. Ele se desenvolve em rochas sedimentares do Grupo Parecis, de idade Mesozóica, sendo constituído por duas formações principais: a Formação

Utiariti, na base, e a Formação Salto das Nuvens, no topo. Essas unidades são compostas principalmente por arenitos de granulação fina a média, com variações locais para conglomerados, siltitos e argilitos.

A Formação Utiariti caracteriza-se por arenitos finos a médios, mal selecionados, frequentemente com matriz argilosa, o que confere menor porosidade e permeabilidade em relação à unidade superior. Nesta unidade os parâmetros hidráulicos variam significativamente conforme a fácies sedimentar, com condutividades hidráulicas da ordem de 10^{-5} a 10^{-3} m/s e transmissividades que podem ultrapassar 1.500 m²/dia em áreas com melhor desenvolvimento granulométrico (Silva, 2013; Backles & Migliorini, 2022; CPRM, 2012; Cutrim et al., 2021).

Já a Formação Salto das Nuvens é composta por arenitos mais grossos, por vezes conglomeráticos, com maior grau de intercalações arenosas e menor conteúdo de finos, o que favorece sua atuação como o principal aquífero do sistema. Na Formação Salto das Nuvens os parâmetros hidráulicos variam conforme a fácies sedimentar, com condutividades hidráulicas da ordem de 10^{-7} a 10^{-5} m/s e transmissividades que podem ultrapassar 500 m²/dia em áreas com melhor desenvolvimento granulométrico (Silva, 2013; Backles & Migliorini, 2022; CPRM, 2012; Cutrim et al., 2021).

A disponibilidade hídrica do Sistema Aquífero Parecis é considerada boa a excelente em determinadas áreas, especialmente onde a recarga é favorecida por solos arenosos e baixa cobertura de solo impermeável subterrâneas (Silva, 2013). A recarga é predominantemente pluviométrica na área da chapada dos Parecis, ocorrendo de forma difusa. A profundidade do lençol freático pode variar de poucos metros até mais de 100 metros em áreas topograficamente elevadas, o que influencia diretamente a exploração.

Cutrim (2010) realizou uma caracterização do SAP na área do município de Lucas do Rio Verde (MT), na qual o autor estimou as reservas reguladora, permanente, reguladora e total. As reservas reguladoras, permanentes, totais e exploráveis foram estimadas em $9,3 \times 106$ m³/ano, $4,7 \times 108$ m³, $4,8 \times 108$ m³ e $1,2 \times 107$ m³/ano, respectivamente.

Os poços tubulares perfurados na unidade normalmente apresentam vazões entre 10 a 50 m³/h, podendo chegar a valores superiores em setores com melhor qualidade do aquífero. Pereira et al. (2014) afirmam que no Sistema Aquífero Parecis ocorrem poços com vazões de até 300 m³/h e com capacidades específicas de até 15 m³/h/m.

Do ponto de vista hidroquímico, a água subterrânea do Aquífero Parecis é majoritariamente do tipo bicarbonatada cálcica ou sódica, com baixa a média mineralização, refletindo uma água jovem com pouco tempo de residência no subsolo.

As principais utilizações da água subterrânea do Aquífero Parecis são voltadas ao abastecimento humano rural, à irrigação agrícola (especialmente na produção de grãos como soja e milho) e ao uso industrial local (Backles & Migliorini, 2022). Devido ao crescimento do agronegócio no estado, o uso da água subterrânea vem aumentando, o que exige um planejamento e monitoramento adequados para garantir a sustentabilidade hídrica da região. O aquífero representa um recurso estratégico, especialmente em períodos de estiagem, quando os cursos d'água superficiais apresentam menor disponibilidade.

5.5.2.2 Aquífero Ronuro

A unidade aquífera Ronuro é uma importante unidade hidrogeológica localizada na região centro-nordeste do estado de Mato Grosso. O Aquífero Ronuro recobre extensas porções do Aquífero Salto das Nuvens e, portanto, devem promover importantes volumes de recarga para este aquífero. A disponibilidade hídrica do Aquífero Ronuro é considerada limitada quando comparada aos sistemas porosos inferiores.

A recarga ocorre de forma difusa, predominantemente meteórica, favorecida por solos pouco espessos e boa infiltração superficial. A ausência de camadas confinantes e a grande heterogeneidade estrutural tornam o aquífero vulnerável a variações sazonais, com rebaixamento do nível freático durante períodos de seca prolongada.

O Aquífero Ronuro apresenta transmissividades que podem ultrapassar 500 m²/dia em áreas com melhor desenvolvimento granulométrico (Silva, 2013; Backles & Migliorini, 2022; CPRM, 2012; Cutrim et al., 2021). As vazões de exploração variam entre 1 e 105 m³/h com média de 10,42 m³/h. A capacidade específica regional gira torno de 1,5 m³/h/m. Ressalte-se que, tendo em vista a indefinição das espessuras do Aquífero Ronuro, não é possível afirmar que todos os poços posicionados na área de ocorrência deste realmente aproveitam suas águas. É provável que poços com profundidades acima de 100 m tenham interceptado outras unidades aquíferas, como aquelas associadas ao Sistema Aquífero Parecis.

Do ponto de vista hidroquímico, as águas subterrâneas do Aquífero Ronuro apresentam, em geral, uma composição bicarbonatada cálcica a sódica, com baixa mineralização, refletindo sua origem meteórica recente e curto tempo de residência.

As principais utilizações da água do Aquífero Ronuro concentram-se no abastecimento humano rural, no uso agropecuário de pequena escala e em alguns casos no fornecimento complementar para sedes municipais de pequeno porte.

5.5.3 Metodologia de modelagem geológica

Para a modelagem e elaboração dos sólidos do modelo, utilizou-se os softwares QGIS, CloudCompare e Leapfrog, sendo que os dois primeiros foram utilizados nas etapas de pré-processamento. O desenvolvimento de construção do modelo 3D foi idealizado no software Leapfrog. O algoritmo desse software utiliza uma função matemática de base radial conhecido como FastRBFTM – “Radial basis function”. Este algoritmo possibilita construir modelos de superfície e sólidos implicitamente, utilizando-se dados amostrados de forma regular e uniformes ou irregular não uniforme. A vantagem da ferramenta é a construção de modelos de forma rápida e com atualizações dinâmicas (Cowan et al., 2003).

Os dados de entrada podem ser categóricos e/ou numéricos, desde que estejam georreferenciados, para realização da modelagem. Através do seu caráter implícito, os modelos gerados podem ser atualizados dinamicamente conforme o input de novos dados referentes a área do modelo. Essas atualizações podem ser realizadas a qualquer momento. Ele ainda permite edições pontuais, colaborando para a correção e ajustes de superfícies e sólidos desenvolvidos.

5.5.4 Pré-Processamento

5.5.4.1 Informações e Organização da Base de Dados para Modelagem

Para que se pudesse elaborar o modelo deve-se, inicialmente, realizar o levantamento de dados, atividade que foi realizada nas etapas anteriores do projeto. Dentre os dados levantados listam-se:

1. Dados topográficos (SRTM das folhas que compreendem a bacia | 71 imagens);
2. Informações sobre a bacia de Parecis com dados da CPRM e Petrobrás;
3. Informações de trabalhos acadêmicos sobre a geologia da bacia;
4. Informações de perfil de poços (poços d’água executados no estado do Mato Grosso e cadastrados no SIAGAS) e poços realizados pela Petrobras (dados da ANP), sendo que estes últimos ainda estão sendo inseridos no modelo.

Posteriormente, realiza-se a organização dos considerando as seguintes etapas:

1. Transposição e georreferenciamento dos dados topográficos do SRTM para coordenadas UTM e datum;
2. Geração de nuvem de pontos para unificação das bases topográficas (71 imagens SRTM) em uma única superfície topográfica;

3. Geração de superfície topográfica da área da bacia;
4. Utilização de informações geológica estruturais regionais para geração do arcabouço morfoestrutural da bacia;
5. Validação do arcabouço com dados geofísicos regionais e disponíveis da literatura;
6. Uniformização da base de dados de poços com a criação de BD (Collar/Survey/Perfil) em formato “CSV”, contemplando os dados categóricos de litologia e descrição do perfil; e
7. Definição do limite do modelo, baseando-se no limite da bacia.

5.5.5 Desenvolvimento do Modelo

O modelo foi desenvolvido implicitamente, considerando os dados categóricos de macro litologias (estratigrafia das unidades) baseando-se principalmente na hierarquia de informação, considerando informações obtidas em mapas regionais, seções geológicas, dados geofísicos e perfis de poço de outros estudos, bem como na base de dados de poços cadastrada a tratada nas etapas anteriores. Para a geração efetivamente dos sólidos, houve uma etapa que envolveu a organização dos *inputs* em ambiente 3D, parametrizações pertinentes e posterior trabalho com o desenvolvimento das superfícies geológicas e estruturais.

A seguir apresentam-se imagens representando as diversas etapas de elaboração do modelo.

- 1) Definição do limite do modelo e bacia

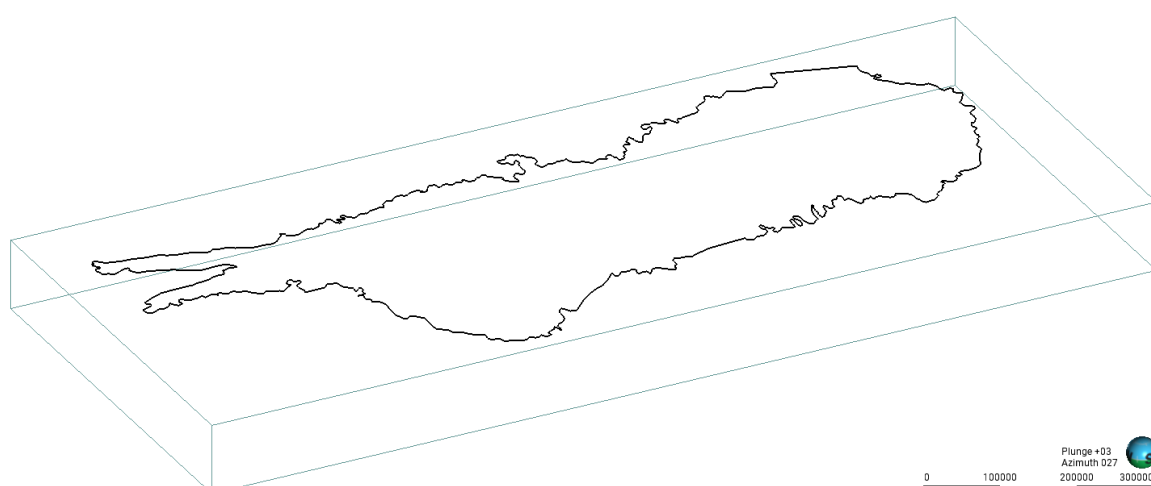


Figura 5.100 - Limite da Bacia e caixa do modelo 3D.

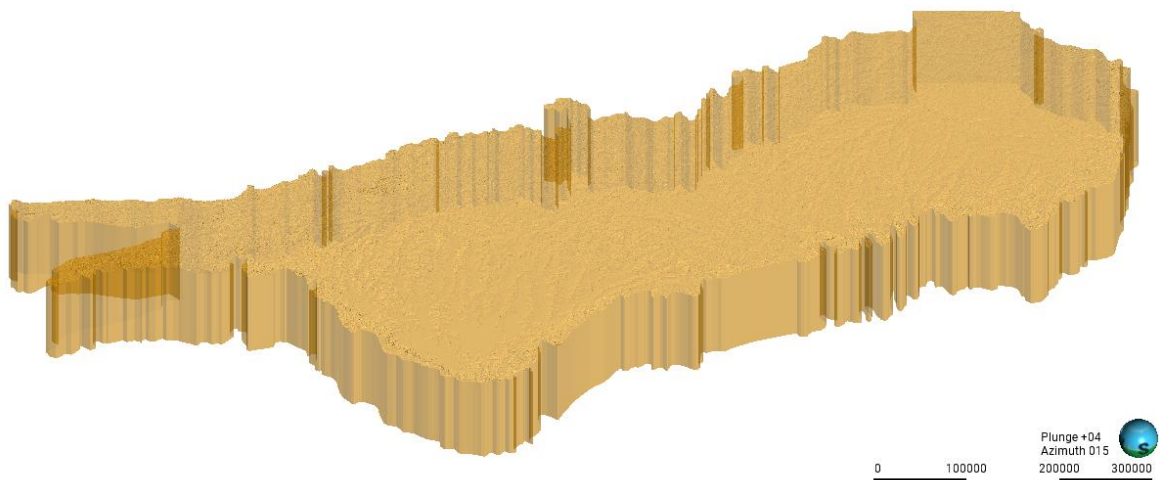


Figura 5.101 - Limitação do *boundary* do modelo 3D com base na caixa do modelo, topografia e limite da bacia.

2) Geração das Falhas regionais e bacia padrão rift com hosts e grabens a partir de dados da bibliografia



Figura 5.102 - Falhas geológicas regionais.

3) Delimitação da bacia com os altos do embasamento e grabens, a partir de dados da bibliografia

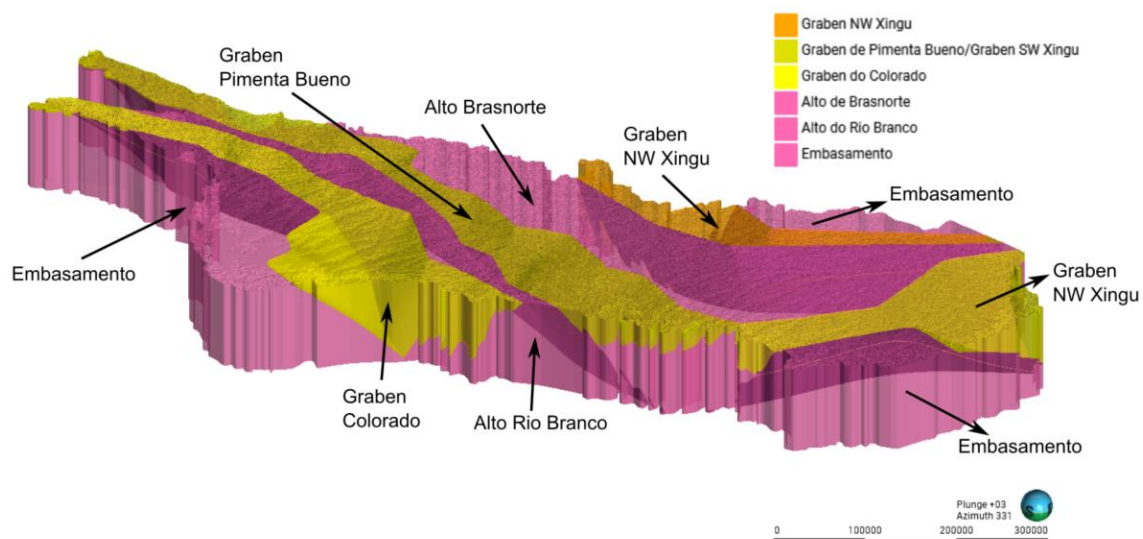


Figura 5.103 - Arcabouço estrutural da bacia.

4) Geração das superfícies estratigráficas para os grabens e altos do embasamento

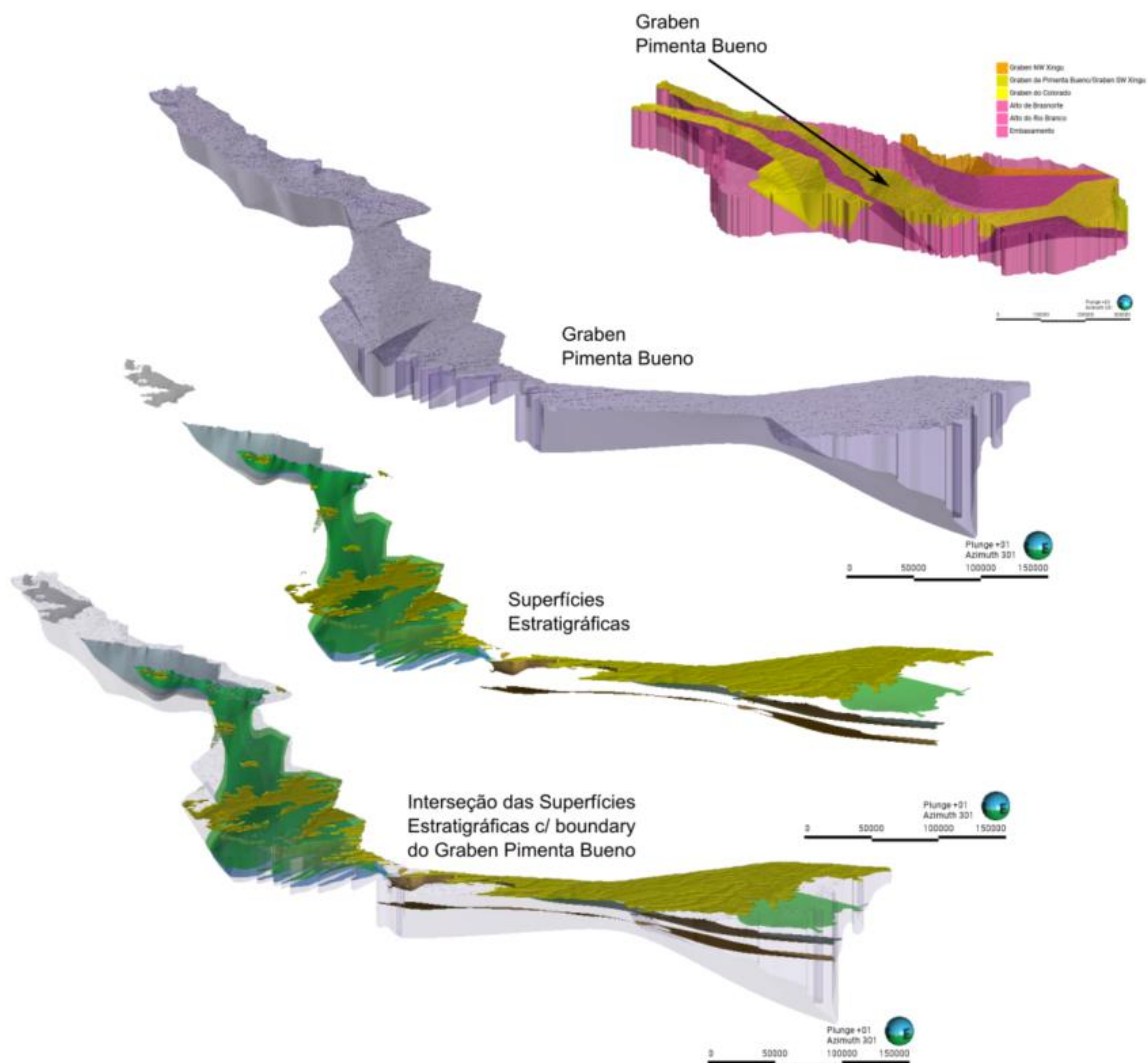


Figura 5.104 - Superfícies estratigráficas das unidades geológicas da bacia.

Por fim, considerando os dados dos estudos anteriores e de os poços da base de dados que tem informação útil, geraram-se sólidos para cada unidade litoestratigráfica de interesse, conforme se mostra na Figura 5.105. Para finalizar o modelo, falta inserir os poços obtidos na base de dados da Petrobrás/ ANP, num total de seis, que apresentam profundidades bem maiores e que, portanto, permitem uma melhor definição da espessura dos aquíferos de interesse ao projeto.

5) Geração dos sólidos das unidades estratigráficas

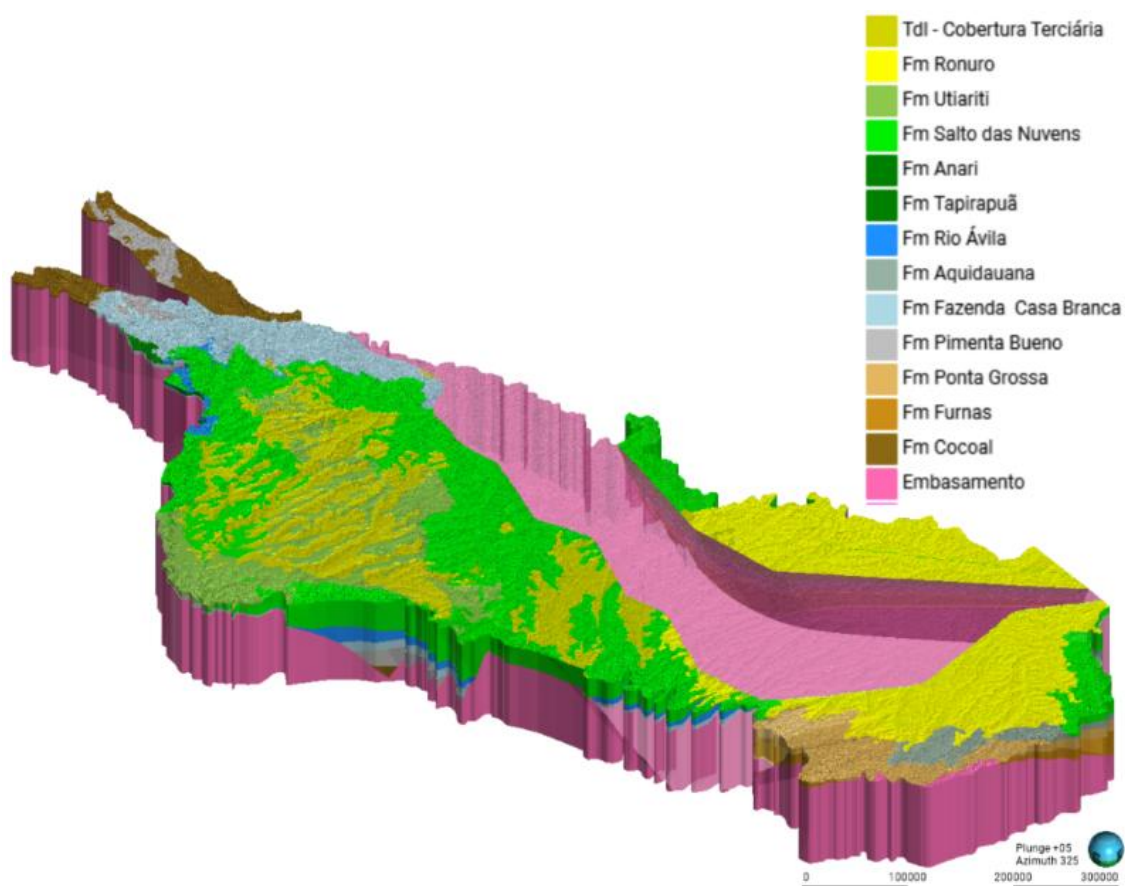


Figura 5.105 - Sólidos preliminares das unidades estratigráficas da bacia.

As próximas etapas incluem a inclusão de toda a base de dados dos poços no software Leapfrog e utilização de ferramentas para modelagem dos contatos geológicos das unidades litoestratigráficas que irão compor unidades hidrogeológicas no modelo.

5.6 ELABORAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO DE FLUXO DOS AQUÍFEROS - BACIA DO RIO DAS MORTES

5.6.1 Introdução

Para permitir a compreensão apropriada dos mecanismos de funcionamento dos aquíferos sedimentares mais importantes da bacia do rio das Mortes quanto à recarga, circulação de água e respostas ao stress imposto por bombeamentos e outros impactos, como modificações no uso do solo, desmatamentos, secas etc., serão realizadas simulações numéricas em áreas específicas do sistema aquífero, com o desenvolvimento e calibração de

um modelo matemático de fluxo da água subterrânea. O modelo numérico tridimensional de fluxo do presente estudo será elaborado com o software Visual Modflow, o mais utilizado dos códigos matemáticos para simulação de fluxo de água subterrânea em nível mundial. Esse software permite determinar a água subterrânea disponível, avaliação da situação e tendências futuras quanto a reservas e níveis piezométricos e permite definir de estratégias de planejamento do uso e gestão das águas subterrâneas. Representa também uma fonte de informações sobre o aquífero podendo, com treinamentos dirigidos a grupos de interesse variados, desde muito simples até o nível de “expert”, servir como ferramenta auxiliar à gestão, desde o nível de usuário final até as agências e organismos de controle, como SEMA-MT, SEDEC, IMAFIR, ANA e outros.

A abordagem a ser usada no desenvolvimento do modelo envolve a divisão da área em subáreas de trabalho, obedecendo as sub-bacias hidrográficas fluviais.

Essas simulações numéricas ainda serão, contudo, definidas quanto ao escopo, áreas específicas de modelagem e alcance, inclusive quanto a simulações do tempo futuro, o que ocorrerá somente quando e se forem viáveis de serem executadas.

Em realidade, no presente momento o modelo hidrogeológico numérico da bacia do Rio das Mortes ainda não foi iniciado porque sua modelagem depende do modelo hidrogeológico conceitual, que ainda não foi iniciado e dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos, que serão utilizados nos modelos, atividade 5.5, já iniciada. E cujos resultados parciais foram apresentados em relatório específico da atividade, entregue no final de maio de 2025.

Como houve a paralização dos trabalhos no início de 2025, por conta de falta de recursos, o que resultou em atrasos no cronograma inicialmente acordado, não há resultados a serem apresentados para essas atividades, ainda.

5.7 ELABORAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO DE FLUXO DOS AQUÍFEROS - BACIA DO ALTO TELES PIRES

5.7.1 Introdução

Para permitir a compreensão apropriada dos mecanismos de funcionamento dos aquíferos sedimentares mais importantes da bacia do rio Telles-Pires quanto à recarga, circulação de água e respostas ao stress imposto por bombeamentos e outros impactos, como modificações no uso do solo, desmatamentos, secas etc., serão realizadas simulações

numéricas em áreas específicas do sistema aquífero, com o desenvolvimento e calibração de um modelo matemático de fluxo da água subterrânea. O modelo numérico tridimensional de fluxo do presente estudo será elaborado com o software Visual Modflow, o mais utilizado dos códigos matemáticos para simulação de fluxo de água subterrânea em nível mundial. Esse software permite determinar a água subterrânea disponível, avaliação da situação e tendências futuras quanto a reservas e níveis piezométricos e permite definir de estratégias de planejamento do uso e gestão das águas subterrâneas. Representa também uma fonte de informações sobre o aquífero podendo, com treinamentos dirigidos a grupos de interesse variados, desde muito simples até o nível de “expert”, servir como ferramenta auxiliar à gestão, desde o nível de usuário final até as agências e organismos de controle, como SEMA-MT, SEDEC, IMAFIR, ANA e outros.

A abordagem a ser usada no desenvolvimento do modelo envolve a divisão da área em subáreas de trabalho, obedecendo as sub-bacias hidrográficas fluviais.

Essas simulações numéricas ainda serão, contudo, definidas quanto ao escopo, áreas específicas de modelagem e alcance, inclusive quanto a simulações do tempo futuro, o que ocorrerá somente quando e se forem viáveis de serem executadas.

Em realidade, no presente momento o modelo hidrogeológico numérico da bacia do rio Telles-Pires ainda não foi iniciado porque sua modelagem depende do modelo hidrogeológico conceitual, que ainda não foi iniciado e dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos, que serão utilizados nos modelos, atividade 5.5, já iniciada.

Como houve a paralização dos trabalhos no início de 2025, por conta de falta de recursos, o que resultou em atrasos no cronograma inicialmente acordado, não há resultados a serem apresentados para essas atividades, ainda. O modelo hidrogeológico numérico da bacia do Alto Teles Pires ainda não foi iniciado, porque depende da elaboração do modelo geológico conceitual no software Leapfrog, que se encontra em fase final de elaboração (ver relatório da atividade 5.3), cujo término está previsto para ocorrer em junho de 2025.

A realização da etapa 5.4 – elaboração do modelo numérico depende, portanto, da finalização da etapa 5.3, ainda em andamento. Em relação aos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos que serão utilizados no modelo numérico, atividade 5.5, essa também já foi iniciada, conforme resultados mostrados no relatório entregue em final de maio de 2025.

5.8 DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS - BACIA DO RIO DAS MORTES

5.8.1 Introdução

Neste relatório apresentam-se os resultados da análise dos dados coletados nas etapas anteriores do projeto, no que se refere à determinação dos parâmetros hidrogeológicos a serem utilizados na modelagem numérica.

Destaca-se que havia a expectativa de que novos dados pudessem ser aportados ao banco de dados coletados pela equipe responsável pelo subprojeto a partir de novos poços instalados na área de estudo. Mas isso não foi possível, e os resultados apresentados a seguir baseiam-se na base de dados coletada em etapas anteriores, em diversos bancos de dados que variam em disponibilidade e qualidade.

Há a necessidade de, no futuro, majorar essa base de dados, por meio da incorporação de dados de novos poços de bombeamento e ou monitoramento instalados na área do projeto. De maneira geral, contudo, os aquíferos mais promissores na bacia do rio das Mortes apresentam relativa reduzida expressão areal, em superfície, devido à complexidade geológica dessa bacia hidrográfica e a fragmentação de unidades geológicas presentes, por efeito da tectônica regional e feições geológicas presentes.

5.8.2 Parâmetros hidrogeológicos

Os sistemas aquíferos existentes no âmbito da bacia do rio das Mortes incluem materiais sedimentares recentes (Formação Araguaia), paleo-mesozoicos (Salto das Nuvens, restrito à porção jusante da bacia, a leste), mais a Formação Marília, Formação Aquidauana, Formação Ponta Grossa, Formação Furnas e Formação Diamantino), além de aquíferos de caráter fissural, predominantemente de idade neoproterozoica. Dentre esses, os mais promissores para a obtenção de maiores vazões de bombeamento são os aquíferos associados à Formação Marília, Formação Aquidauana e Formação Furnas, do Mesozoico e Paleozoico da Bacia Sedimentar do Paraná.

Na Tabela 5.17 apresenta-se um resumo estatístico dos dados de vazão bombeada e de rebaixamento na bacia do rio das Mortes, a partir dos dados coletados até o presente momento.

Tabela 5.17 - Valores de vazão bombeada e rebaixamento obtido nos poços cadastrados na base de dados do SIAGAS e da SEMA-MT.

Valor	Vazão (m³/h)	Rebaixamento (m)
Mínimo	0,063	0,01
Média/Mediana	10,32/6,00	11,74/Ainda Não Determinada
Máximo	211,00	122,00

Os maiores rebaixamentos foram observados em poços para abastecimento urbano, industrial e irrigação, o que, de certa forma, é o comportamento esperado, já que são os usos com maiores consumidores.

Com base nos 451 pontos cadastrados no SIAGAS e na SEMA-MT, foram determinados os valores dos parâmetros transmissividade e capacidade específica dos poços existentes na bacia do Rio das Mortes, independentemente da formação hidrogeológica.

A seguir apresentam-se valores de vazão e capacidade específica para cada unidade hidrogeológica identificada nos relatórios anteriores.

5.8.2.1 Aquífero Depósitos Aluvionares e Formação Araguaia

Os depósitos aluvionares (Q2a) são aquíferos livres que podem fornecer vazões entre 1 e 25 m³/h, estas últimas de forma localizada. Já os sedimentos da Formação Araguaia (Qag) formam aquíferos livres a semiconfinados, e apresentam vazões variando entre 1 e 10 m³/h. Pelo exposto, compõem aquíferos de baixo interesse aos propósitos do estudo (ver Tabela 5.18).

Tabela 5.18 - Valores de transmissividade e capacidade específica dos aquíferos aluvionares e da Formação Araguaia.

Valor	Transmissividade (m²/dia)	Capacidade Específica (m³/h/m)
Mínimo	4,0	0,15
Média	Ainda Não Determinado	Ainda Não Determinado
Máximo	611,0	22,00

5.8.2.2 Aquífero Marília

Trata-se de um aquífero livre a semiconfinado, heterogêneo, de extensão regional.

Conforme se destaca na Tabela 5.19, as características hidrogeológicas desse aquífero variam entre baixas e moderadas vazões e capacidades específicas. Localmente, em associação com descontinuidades regionais, conforme destacado no relatório da atividade

5.2, vazões mais elevadas e maiores transmissividades podem ser observadas nas proximidades de estruturas geológicas.

Tabela 5.19 - Valores de vazão e capacidade específica do aquífero Marília.

Valor	Vazão (m ³ /h)	Capacidade Específica (m ³ /h/m)
Mínimo	10,00	Ainda Não Determinado
Média	4,23	0,51
Máximo	40,00	N.D.

5.8.2.3 Aquífero Aquidauana

Trata-se de um aquífero contínuo, de extensão regional, anisotrópico, heterogêneo, com grande variação lateral. Ocorre na forma livre a localmente semiconfinado a confinado.

Os dados obtidos mostram que há uma grande variabilidade dos parâmetros. Os poços apresentam vazões majoritariamente baixas, inferiores a 6 m³/h, mas em locais em que este se encontra confinado a grandes profundidades, vazões de até 250 m³/h podem ser obtidas (CPRM-SGB, 2020).

5.8.2.4 Aquífero Furnas

Trata-se de um aquífero de extensão regional, com ampla continuidade lateral, livre a semiconfinado quando aflorante, confinado em profundidade; seus parâmetros como permeabilidade, condutividade hidráulica, transmissividade e porosidade primária são todos elevados.

Observa-se uma diferença razoável entre as vazões captadas na porção livre e na porção confinada do aquífero Furnas. Na Tabela 5.20 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos.

Tabela 5.20 - Valores de vazão e capacidade específica do aquífero Furnas.

Valor	Vazão (m ³ /h)	Capacidade Específica (m ³ /h/m)
Mínimo	1,20	1,71
Média	17,70	Ainda Não Determinado
Máximo	135,48	3,39

Trata-se de um aquífero que pode fornecer volumes expressivos de água, inclusive para irrigação, mas de forma localizada, em especial nos locais em que apresenta maior espessura. Contudo, sua distribuição areal na bacia do rio das Mortes é bastante limitada, com um potencial pouco expressivo de fornecimento de água subterrânea para agricultura irrigada, estando localizada particularmente na porção sudoeste da área.

5.8.2.5 Aquífero Diamantino

A Formação Diamantino apresenta, de acordo com CNEC (2000) poços com vazões médias de 7,2 m³/h, podendo variar entre 10 e 25 m³/h, e capacidade específica de 0,18 m³/h/m. As informações disponíveis apontam para uma baixa vocação dessa unidade como fornecedora de água subterrânea para agricultura mecanizada, mormente na área de interesse.

A Formação Cachoeirinha, por outro lado, constitui aquífero predominantemente livre, com espessuras médias entre 20 e 30 m e máximas de 70 m. As vazões captadas variam entre 1 e 10 m³/h. Pelo exposto, compõem aquíferos de baixo interesse aos propósitos do estudo, mas tem importância como zona de recarga dos aquíferos subjacentes, com considerável expressão na área do estudo no sudoeste da área da bacia.

5.8.3 Características químicas

A caracterização hidroquímica foi realizada a partir de um banco de dados secundário de poços, de três fontes distintas, sendo elas:

- a) Plataforma SIAGAS do Serviço Geológico do Brasil;
- b) Cadastro CNARH da Agência Nacional de Águas (ANA); e
- c) Dados de processos de outorga da SEMA/MT.

Ao todo foram identificados 2127 poços na bacia Rio das Mortes. Na 5.17 apresenta-se o número de dados levantados na área de estudo, de acordo com a fonte de informação utilizada.

Após o filtro para abranger a área de estudo, foi realizado um segundo filtro de qualidade dos dados e parâmetros hidroquímicos disponíveis. Foram excluídos valores quantificados como zero e desconsiderados alguns parâmetros errôneos ou duvidosos, considerados improváveis de ocorrer em águas naturais. Com isso, foram identificados e

considerados 1392 poços que apresentam alguma informação físico-química das águas subterrâneas.

Tabela 5.21 - Número de dados obtidos na área de estudo, de acordo com a fonte de dados.

Fonte	Nº de Poços	Dados de pH	Dados de CE	Dados de STD	Dados de Temperatura	Análises completas	Análises Balanceadas
CNARH	1115	851	855	813	189	533	98
SIAGAS	344	297	259	89	35	0	0
SEMA-MT	668	244	251	176	0	24	3
Total	2127	1392	1365	1078	224	557	101

Adicionalmente, foram levantados poços que apresentavam análises químicas de íons maiores completas na área de estudo, tendo sido identificados 557 poços com dados. Para filtrar a qualidade das análises, foi realizado o cálculo do balanço iônico das amostras, tendo sido considerados aceitáveis os erros inferiores a 10%. Assim, foram identificadas 101 amostras dentro do erro considerado aceitável. Apenas três amostras vieram da base de dados da SEMA e as demais vieram da base de dados do CNARH. Na Tabela 5.22 apresentam-se os resultados mínimos, médios e máximos dos parâmetros disponíveis nas amostras consideradas.

Tabela 5.22 - Resultados das análises químicas disponíveis nas redes da SEMA-MT e do CNARH.

Parâmetro	Valor Mínimo	Valor Médio	Valor Máximo
pH	3,16	5,73	10,46
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0,01	51,6	7260,0
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	0,03	33,3	380,3
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	15,1	24,8	40,0
Cloreto (mg/L)	0,0022	7,26	297,0
Bicarbonato (mg/L)	0,01	22,76	667,61
Sulfato (mg/L)	0,001	4,22	722,0
Sódio (mg/L)	0,001	13,58	3165,0 (outlier)
Potássio (mg/L)	0,001	4,70	1351,0 Outlier)
Cálcio (mg/L)	0,02	7,58	2700,0 (outlier)
Magnésio (mg/L)	0,01	27,40	8815,0 (outlier)

A maior parte das amostras apresenta Condutividade Elétrica inferior a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (85% das amostras), sendo que 50% apresenta CE de até 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

92% das amostras apresentando teor de Sólidos Totais Dissolvidos inferior a 100 mg/L. Contudo, valores maiores que 100 mg/L são observados, associados provavelmente a aquíferos confinados e mais profundos.

Alguns valores de temperatura superiores a 35 °C são observados principalmente na borda sudoeste da área, no município de Dom Aquino, bem como na borda oeste, em Primavera do Leste, Campinópolis e Água Boa, sempre associados à presença da Fm. Ponta Grossa, o que sugere a exploração de aquíferos profundos e confinados, com águas de maior temperatura devido à maior profundidade, corroborando o que foi visto anteriormente nesses locais, em parâmetros como o pH e CE.

A maior parte das amostras apresenta baixas concentrações de bicarbonato, geralmente inferiores a 50 mg/L. Concentrações mais elevadas (> 250 mg/L) são observadas nas áreas centrais (Novo São Joaquim e Nova Xavantina), norte (Serra Nova Dourada e São Félix do Araguaia) e nas bordas oeste (Campinópolis e Canarana) e sudeste do mapa (Barra do Garças).

Predominam baixas concentrações de Cloreto em todos os aquíferos da área de estudo (< 10 mg/L). Alguns poços com concentrações superiores a 250 mg/L são observados principalmente no centro da bacia, nos municípios de Água Boa e Nova Nazaré, associados à Formação Diamantino ou ao Grupo Cuiabá.

Quanto ao sulfato, predominam baixas concentrações (< 5 mg/L) em toda a área de estudo, indicando uma baixa mineralização de sulfato nos aquíferos.

O sódio apresenta predominância de concentrações inferiores a 10 mg/L.

O valor máximo de potássio observado (1351 mg/L) foi obtido em um poço localizado no município de Primavera do Leste é atribuído a um erro da base de dados.

Em toda a bacia hidrográfica predominam baixas concentrações de cálcio. Na porção sudoeste da bacia predominam concentrações menores que 5 mg/L, aumentando para cerca de 10 mg/L na porção central e norte.

De modo semelhante ao cálcio, o magnésio mostra valores predominantemente baixos em toda a área de estudo, geralmente inferiores a 10 mg/L.

Entre os aquíferos presentes na região, é possível destacar no Aquífero Bauru a predominância de águas bicarbonatadas sódicas. No Aquífero Botucatu, as águas variam de bicarbonatadas sódicas a cloretadas-sulfatadas sódicas.

A seguir, apresenta-se um resumo da classificação das águas para cada aquífero.

Na Formação Furnas, as águas subterrâneas apresentam composição bicarbonatada cálcica, porém apenas duas amostras estão disponíveis em áreas de afloramento dessa formação.

Na Formação Ponta Grossa, as amostras apresentam composição química bastante heterogênea. Como essa formação não apresenta potencial aquífero, os poços instalados nestes locais provavelmente exploram outros aquíferos em maior profundidade, notadamente a Fm. Furnas, localizada estratigraficamente abaixo.

Nas Formações Aquidauana e Diamantino, observa-se a predominância de águas cloretadas cálcicas. Na Formação Cachoeirinha, predominam águas bicarbonatadas sódicas, com algumas amostras sendo classificadas como cloretadas cálcicas.

Nos aquíferos aluvionares recentes as águas foram classificadas como cloretadas sódicas, enquanto na Formação Araguaia, predominam águas bicarbonatadas sódicas.

Portanto, de um modo geral, as águas subterrâneas são pouco mineralizadas na área de estudo, de característica predominantemente ácida. Porém, principalmente em regiões associadas ao afloramento da Fm. Ponta Grossa, foram observadas águas subterrâneas mais mineralizadas, por vezes com características termais e pH alcalino, especialmente na borda sudoeste da bacia, na região de Dom Aquino. Provavelmente trata-se de águas provenientes de aquíferos regionais profundos confinados, que produzem águas de maior tempo de residência e circulação regional.

5.9 DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS - BACIA DO ALTO TELES PIRES

5.9.1 Introdução

Neste relatório da Meta 5.5 da bacia do rio Telles Pires apresentam-se os resultados da análise dos dados coletados nas etapas anteriores do projeto, no que se refere à determinação dos parâmetros hidrogeológicos a serem utilizados na modelagem numérica.

Os resultados apresentados a seguir baseiam-se na base de dados coletada em etapas anteriores, que variam bastante em disponibilidade e qualidade. Não houve a incorporação significativa de dados com relação às campanhas anteriores. Entretanto, considera-se que há uma base inicial que permite caracterizar as propriedades hidrodinâmicas dos aquíferos existentes na área de estudo.

Há a necessidade de, no futuro, aumentar essa base de dados, por meio da incorporação de dados de novos poços de bombeamento e ou monitoramento instalados na área do projeto, já que, a despeito do aumento de estudos desenvolvidos na Bacia dos Parecis em anos recentes, a bacia, como um todo, ainda é bastante carente de dados hidrogeológicos confiáveis.

5.9.2 Parâmetros hidrogeológicos

A bacia dos Parecis pertence ao subdomínio das bacias sedimentares, o qual é representado por aquíferos de altas vazões, com produções entre 100 e 200 m³/h e com águas de boa qualidade química.

A pesquisa na base de dados do SIAGAS – CPRM retornou um total de 177 poços cadastrados, sendo 109 poços no aquífero Parecis indiviso, 23 poços no Aquífero Salto das Nuvens e 45 poços na Formação Ronuro. Não foram encontrados poços vinculados à Formação Utiariti.

Na base de dados do CNARH, com base em dados até 2023, constatou-se um total de 1604 poços, sendo 29 na Formação Ronuro, 703 em coberturas indiferenciadas, 706 no Parecis, 65 na Formação Salto das Nuvens e 101 na Formação Utiariti.

O trabalho realizado pela CPRM (2012) na base do SIAGAS contabilizou um número bem inferior (270 no total) de poços tubulares instalados na Formação Ronuro e no Grupo Parecis.

Pereira et al. (2014) afirmam que no Sistema Aquífero Parecis ocorrem poços com vazões de até 300 m³/h e com capacidades específicas de até 15 m³/h/m.

A seguir apresentam-se os parâmetros hidrogeológicos (hidrodinâmicos) dos principais aquíferos existentes na área de estudo.

5.9.2.1 Aquífero Utiariti

Esta unidade distribui-se pela porção centro oeste do estado de Mato Grosso, entre os municípios de Juína, Brasnorte, Sapezal, Campos de Júlio, Comodoro, Tangará da Serra, Campo Novo do Parecis, Nova Lacerda, Barra dos Bugres e Pontes e Lacerda. Registram-se ainda ocorrências na porção leste do estado, nos municípios de São Jose do Rio Claro, Diamantino e até Paranatinga, este já mais próximo das cabeceiras do rio Xingu (CPRM 2012).

Considerando-se a base de dados do SIAGAS utilizada pela CPRM em 2012, composta por um total de 270 poços, 24 poços tubulares foram perfurados no Aquífero Utirariti. Na Tabela 5.23 apresentam-se dados das vazões de exploração, da capacidade específica. As maiores vazões se concentram na região sudoeste da Formação (Campos de Júlio), enquanto as menores estão nas regiões de São José do Rio Claro e Campo Novo do Parecis.

Tabela 5.23 - Síntese dos parâmetros obtidos para o Aquífero Utirariti considerando a base de dados da CPRM (2012).

Parâmetro	Mínimo	Média	Máximo
Vazão (m ³ /h)	2,28	20,95	158,4
Vazão específica (m ³ /h/m)	0,033	1,77	13,71
Nível Estático (m)	6,12 (5,7 a 8,7)	31,04	78,0

Obs.: os valores em parêntesis indicam o nível estático de acordo com os dados levantados por Cutrim et al. (2021) para a área urbana de Sinop (MT).

Backles & Migliorini (2022), com base em dados de 2570 poços na base de dados da SEMA-MT, da SEPLAN-MT e do SIAGAS (de 1980 a fevereiro de 2017), determinaram algumas características, incluindo parâmetros hidrodinâmicos, do Aquífero Utirariti, cujos dados estão sintetizados na Tabela 5.24.

Tabela 5.24 - Síntese dos parâmetros dos poços tubulares profundos do Aquífero Utirariti (Backles & Migliorini, 2022 e Cutrim et al, 2021).

Características Hidrogeológicas	Aquífero Utirariti	
	Min-Max	Média
Quantidade Poços	1538	-
Vazão (m ³ /h)	0,1 a 240	16
Nível Estático (m)	0 a 116	17
Nível Dinâmico (m)	2,2 a 136	29
Capacidade Específica (m ³ /h/m)	0,01 a 114	2
Transmissividade (m ² /dia)	1 a 1500	178 (2,29 x 10 ³)
Coeficiente de Armazenamento		(3,54 x 10 ⁻³)
Condutividade Hidráulica (m/s)	N.D.	(3,49 x 10 ⁻⁴)
Recarga Potencial (mm/ano)	1372 a 2027	1810

Obs.: os valores em parêntesis foram obtidos por levantados por Cutrim et al. (2021) para a área urbana de Sinop (MT).

5.9.2.2 Aquífero Salto das Nuvens

Esse aquífero estende-se pela porção central do estado de Mato Grosso, que é uma região que tem sido objeto de intensa atividade agropecuária em anos recentes e, portanto, com elevada demanda por água, em especial subterrânea.

Na Tabela 5.25 apresentam-se valores de alguns parâmetros hidrogeológicos do aquífero Salto das Nuvens. As maiores vazões concentram-se nos municípios de São José do Rio Claro e Tapurah, e as menores, em Sorriso.

Tabela 5.25 - Síntese dos dados dos poços cadastrados para o Aquífero Salto das Nuvens (CPRM, 2012).

Parâmetro	Mínimo	Média	Máximo
Vazão (m ³ /h)	0,77 (15,0)	20,48	110,97 (50,0)
Vazão específica (m ³ /h/m)	0,155	2,01	11,44
Capacidade Específica (m ³ /h/m)	----	2,00	----

Obs.: os valores em parêntesis foram obtidos por levantados por Cutrim et al. (2021) para a área urbana de Sinop (MT).

Backles & Migliorini (2022), com base em dados de 2570 poços na base de dados da SEMA-MT, da SEPLAN-MT e dos SIAGAS (de 1980 a fevereiro de 2017), determinaram algumas características, incluindo parâmetros hidrodinâmicos, do Aquífero Salto das Nuvens, cujos dados estão sintetizados na Tabela 5.26.

Tabela 5.26 - Síntese dos parâmetros dos poços tubulares profundos do Aquífero Salto das Nuvens (BACKLES & MIGLIORINI, 2022).

Características Hidrogeológicas	Aquífero Salto das Nuvens	
	Min-Max	Média
Quantidade Poços	769	-
Vazão (m ³ /h)	0,4 a 113	11
Nível Estático (m)	1 a 83	17
Nível Dinâmico (m)	6,4 a 118	29
Capacidade Específica (m ³ /h/m)	0 a 19	2
Transmissividade (m ² /dia)	1 a 570	78
Declividade do terreno (%)	1 a 18	5
Recarga Potencial (mm/ano)	1667 a 1943	1775

5.9.2.3 Aquífero Ronuro

A posição estratigráfica da Unidade Aquífera Ronuro garante a importante função de recarga dos aquíferos subjacentes, além da alimentação do sistema hidrológico do alto Xingu. O Aquífero Ronuro recobre extensas porções do Aquífero Salto das Nuvens e, portanto, devem promover importantes volumes de recarga para este aquífero. Mais de uma centena de poços tubulares exploram atualmente as águas subterrâneas que circulam pelo Aquífero Ronuro, segundo informações do banco de dados do SIAGAS, que contém 123 poços no aquífero, utilizadas pela CPRM (2012).

Na Tabela 5.27 apresentam-se dados dos parâmetros hidrogeológicos do aquífero Ronuro. O valor médio reduzido para a vazão é explicado pelo fato de que a maior parte dos poços (78%) não alcançam 10 m³/h de descarga. As maiores vazões concentram-se na região de Sinop e as menores concentram-se nas regiões dos municípios de Querência e Cláudia. Os níveis estáticos variam entre 1 e 32 m, com média por volta de 13 m de profundidade

Tabela 5.27 - Síntese dos dados dos poços cadastrados para o Aquífero Ronuro (CPRM, 2012).

Parâmetro	Mínimo	Média	Máximo
Vazão (m ³ /h)	0,6	10,42	105,0
Vazão específica (m ³ /h/m)	0,05	1,52	8,8
Nível Estático (m) Capacidade Específica (m ³ /h/m)		1,5	

Backles & Migliorini (2022), com base em dados de 2570 poços na base de dados da SEMA-MT, da SEPLAN-MT e dos SIAGAS (de 1980 a fevereiro de 2017), determinaram algumas características, incluindo parâmetros hidrodinâmicos, do Aquífero Ronuro, cujos dados estão sintetizados na Tabela 5.28.

Tabela 5.28 - Síntese dos parâmetros dos poços tubulares profundos do Aquífero Ronuro (BACLKES & MIGLIORINI, 2022).

Características Hidrogeológicas	Aquífero Ronuro	
	Min-Max	Média
Quantidade Poços	263	-
Vazão (m ³ /h)	0,1 a 88	10
Nível Estático (m)	1 a 64	15
Nível Dinâmico (m)	2,6 a 116	24
Capacidade Específica (m ³ /h/m)	0,02 a 31	2
Transmissividade (m ² /dia)	4 a 540	149
Declividade do terreno (%)	1 a 12	3
Recarga Potencial (mm/ano)	1570 a 2072	1859

5.9.2.4 Aquífero Parecis Indiviso

Silva (2013), em seu estudo sobre a caracterização do Sistema Aquífero Parecis (SAP) avaliou 24 resultados de ensaios de bombeamento realizados em poços tubulares profundos, com espessura de até 113 m. Considerando-se a espessura do aquífero mais superficial, Utiriti (até 106 m) tem-se que os resultados dos testes de bombeamento considerados por Silva (2013) devem ter captado água tanto da Formação Utiriti quanto da Formação Serra das Nuvens. Na Tabela 5.29 apresentam-se os valores obtidos com base nos testes analisados.

Com base nos dados da Tabela 5.29, é possível considerar a existência de dois subtipos de aquíferos dentro do SAP. O primeiro com valores típicos de aquífero livre (10^{-1}) e o segundo com grau de confinamento variável, desde feições de confinamento com drenança (para valores na ordem de 10^{-2} e 10^{-3}), até situações de maior confinamento (10^{-5} , 10^{-6} e 10^{-7}). Assim, considerando-se as variações faciológicas, é possível definir dois subsistemas aquíferos, cujos parâmetros hidrodinâmicos são apresentados na Tabela 5.30.

Tabela 5.29 - Resultados obtidos nos testes de bombeamento dos poços localizados no Aquífero Parecis (SILVA, 2013).

Ens.	Poços	Parâmetros Hidráulicos e Dimensionais do Sistema Aquífero Parecis (SAP)						
		T (m ² /s)	S	K (m/s)	b (m)	NE (m)	Vazão (m ³ /s)	Cs (m ³ /h/m)
1	PT 7 Sorriso	2,33x10 ⁻⁴	3,42x10 ⁻⁴	2,55x10 ⁻⁶	91,23	6,77	56,57	2,11
2	PT 3 Sorriso	1,94 x10 ⁻⁵	1,31 x10 ⁻⁴	2,13 x10 ⁻⁷	91,00	5,00	44,00	0,84
3	PT 1 Sorriso	2,20 x10 ⁻⁴	3,80 x10 ⁻²	1,88 x10 ⁻⁶	117,00	3,00	20,432	1,36
4	PT 2 Sorriso	3,27 x10 ⁻⁵	1,28 x10 ⁻⁴	3,40 x10 ⁻⁷	96,20	3,80	28,29	1,57
5	PM Sinop	1,85	7,79 x10 ⁻²	1,66 x10 ⁻³	46,85	5,15	7,25	1,77
6	PT 1 Vale do Rio do Ferro	2,58 x10 ⁻⁵	3,00 x10 ⁻²	2,24 x10 ⁻⁷	115,20	5,80	14,93	0,31
7	PT 1 SJRC	1,75 x10 ⁻⁴	2,33 x10 ⁻²	2,50 x10 ⁻⁶	70,00	16,00	17,60	1,76
8	PT 4 SJRC	2,75 x10 ⁻⁴	4,61 x10 ⁻¹	4,23 x10 ⁻⁶	65,00	15,00	17,00	3,40
9	PT 5 SJRC	5,20 x10 ⁻⁴	7,88 x10 ⁻⁷	8,125 x10 ⁻⁶	64,00	19,00	15,23	1,38
10	PT 7 SJRC	2,27 x10 ⁻⁵	7,88 x10 ⁻³	4,32 x10 ⁻⁷	52,50	11,50	19,70	0,66
11	PT 8 SJRC	5,81 x10 ⁻⁴	2,02 x10 ⁻⁶	1,584 x10 ⁻⁸	127,50	17,00	61,00	3,388
12	PT 11 SJRC	1,09 x10 ⁻⁴	2,36 x10 ⁻²	1,29 x10 ⁻⁶	84,00	17,00	31,68	2,16
13	PT 1 Tapurah	1,14 x10 ⁻⁵	3,04 x10 ⁻³	1,51 x10 ⁻⁷	75,70	27,30	20,30	0,97
14	PT 1 Ana Terra	1,25	1,02 x10 ⁻³	1,73 x10 ⁻²	72,00	8,00	61,00	8,71
15	PT 1 Gaúcha	3,26 x10 ⁻⁵	4,06 x10 ⁻³	4,41 x10 ⁻⁷	74,00	14,00	27,30	2,12
16	Gaúcha	7,47	2,05 x10 ⁻⁵	1,245 x10 ⁻¹	60,00	14,00	27,30	2,12
17	PT 1 Nova Ubiratã	3,38 x10 ⁻²	3,01 x10 ⁻⁴	5,19 x10 ⁻⁶	58,00	14,00	4,95	19,15
18	PMLRV Lucas	6,55 x10 ⁻⁵	5,12 x10 ⁻⁴	1,47 x10 ⁻⁶	44,66	6,34	7,48	0,92
19	SAAEMUT	1 x10 ⁻¹	5,00 x10 ⁻¹	1,02 x10 ⁻¹	97,50	32,50	113,24	11,35
20	PT 1 Campo Novos do Parecis	3,78 x10 ⁻⁵	1,41 x10 ⁻²	5,878 x10 ⁻⁷	64,30	35,70	6,00	0,18
21	PM Sapezal	4 x10 ⁻⁴	4,02 x10 ⁻⁵	1,14 x10 ⁻⁵	35,16	29,64	9,22	2,49
22	Comodoro	4,12 x10 ⁻⁶	3,98 x10 ⁻⁴	4,406 x10 ⁻⁸	93,5	6,50	3,90	0,07
23	PT 1 Novo Diamantino	5,97 x10 ⁻⁵	1,06 x10 ⁻⁶	6,595 x10 ⁻⁷	136,00	14,00	6,15	0,26
24	PT 2 Novo Diamantino	1,61 x10 ⁻¹	2,24 x10 ⁻⁵	1,417 x10 ⁻³	115,00	35,00	4,80	0,18
Média		9,44 x10⁻¹	4,94 x10⁻²	1,63 x10⁻²	81,09	15,08	26,01	3,46
Mediana		1,75 x10⁻⁴	7,66 x10⁻⁴	4,71 x10⁻⁶	74,85	14,00	18,65	1,48
Máxima		1 x10	5,00 x10⁻¹	1,25 x10⁻¹	136,00	35,7	113,24	19,15
Mínima		4,12 x10⁻⁶	7,88 x10⁻⁷	1,58 x10⁻⁸	35,16	3,00	3,90	0,07
Moda		10⁻⁵	10⁻² e 10⁻⁴	10⁻⁶ e 10⁻⁷	-	-	-	-

Obs.: b é espessura da camada saturada, NE é o nível estático e Cs é a capacidade específica.

Tabela 5.30 - Valores médios dos parâmetros hidrogeológicos dos subtipos aquíferos livre e confinado (SILVA, 2013).

Aquíferos	Parâmetros dimensionais e hidráulicos					
	K (m/s)	T (m ² /s)	S	NE (m)	Vazão média (m ³ /h)	Espessura média da camada (m)
Livre	3,54 x 10 ⁻²	3,33	3,33x 10 ⁻¹	17,00	50,00	93,00
Confinado	1,37 x 10 ⁻²	5,67 x 10 ⁻¹	1,17 x 10 ⁻²	15,00	23,00	80,00

CUTRIM (2010) realizou uma caracterização hidrogeológica do SAP na área do município de Lucas do Rio Verde (MT), com base em dados de 18 testes de bombeamento, mostrados na Tabela 5.31. Com base nos testes de bombeamento dos poços P1 e P2 o autor calculou os coeficientes de transmissividade, condutividade hidráulica e a capacidade específica para o Sistema Aquífero Parecis (SAP) indiviso. A condutividade hidráulica obtida foi de $7,20 \times 10^{-1}$ m/dia a $6,73 \times 10^{-1}$ m/dia e a capacidade específica de 2,63 m³/h/m a 2,27 m³/h/m.

5.9.2.5 Análise de dados secundários

A partir de dados secundários, presentes no SIAGAS/SGB, a equipe do projeto também realizou uma análise dos parâmetros hidrodinâmicos considerando especificamente os aquíferos da Bacia do Rio Teles Pires, sem individualização. Foram analisados 1138 pontos cadastrados no SIAGAS, para os quais realizou-se uma análise dos parâmetros Transmissividade e Capacidade Específica.

A transmissividade observada na bacia do rio Teles Pires variou de 2 m²/dia a 391 m²/dia. No caso da capacidade específica, foram observados valores que variam entre 1 e 14 m/m³/h. Em ambos os parâmetros, observou-se que os valores mais expressivos estão localizados na região do Grupo Parecis, caracterizados pelos aquíferos Parecis e Ronuro. Esses dados corroboram as informações supramencionadas, as quais caracterizam estes aquíferos como os de maior potencial hídrico na bacia.

5.9.3 Características químicas

Para a caracterização hidroquímica da área de estudo, foi utilizado um banco de dados secundário de poços, de três fontes, a saber:

- a) Plataforma SIAGAS do Serviço Geológico do Brasil; e
- b) Cadastro CNARH da Agência Nacional de Águas (ANA); e
- c) Dados de processos de outorga da SEMA/MT.

As bases de dados foram pesquisadas inicialmente para o estado do Mato Grosso e os dados foram armazenados em planilhas Excel. Posteriormente, foi feito um filtro para identificar os poços que se encontram na área de interesse do projeto, nesse caso, a bacia hidrográfica do Alto Teles Pires. Como os municípios foram definidos como a unidade fundamental dos estudos, considerou-se, para o levantamento, a área total dos municípios

que se encontram nas bacias hidrográficas de interesse, em áreas de afloramento dos aquíferos pertencentes à Bacia do Parecis, ainda que excedam em alguma medida a bacia hidrográfica propriamente dita.

No filtro realizado, foram identificados 3642 poços nas bacias do rio Teles Pires, sendo 2938 provenientes da base de dados CNARH/ANA, 634 provenientes da plataforma SIAGAS/SGB e 70 da base de dados da SEMA-MT. Na Tabela 5.31 apresenta-se apresentado o número de poços levantados em cada município, em cada base de dados consultada.

Tabela 5.31 - Quantidade de dados obtidos na área de estudo, por fonte de informação.

Fonte	Nº de Poços	Dados de pH	Dados de CE	Dados de STD	Dados de Temperatura	Análises Completas	Análises Balanceadas
CNARH	2938	2087	2050	1982	452	1161	183
SIAGAS	634	578	496	262	70	2	1
SEMA	70	23	23	38	7	7	1
Total	3642	2688	2569	2282	529	1170	185

Em relação ao filtro de qualidade das análises químicas disponíveis, foi realizado o cálculo do balanço iônico, tendo sido considerados aceitáveis os erros inferiores a 10%. Assim, entre as 7 análises completas disponíveis nos processos da SEMA, apenas uma apresentou erro aceitável e pode ser incluída na base de dados de análises balanceadas, demonstrando a fragilidade dos dados químicos.

Com as análises balanceadas foi possível classificar as amostras de acordo com seu tipo químico e analisar as características hidrogeoquímicas de cada um dos aquíferos existentes na área de estudo.

5.9.3.1 Parâmetros Físico-Químicos da Área de Estudo

Na Tabela 5.32 apresenta-se um resumo dos valores mínimos, médios e máximos obtidos para cada um dos parâmetros para os quais havia dados.

Os resultados de pH mostram águas subterrâneas predominantemente ácidas, entre 5 e 6, na área de estudo e abrangem os Aquíferos Salto das Nuvens e Utiariti, aflorantes na maior parte da área analisada. Esses resultados estão de acordo com estudos da CPRM (2012) para estes dois sistemas aquíferos. Os valores de pH alcalino estão associados principalmente ao Aquífero Salto das Nuvens e às Coberturas Detrito-lateríticas Ferruginosas, que recobrem esta camada aquífera.

Tabela 5.32 - Resultados das análises químicas consideradas.

Parâmetro	Valor Mínimo	Valor Médio	Valor Máximo
pH	3,00	5,47	9,69
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0,01	23,0	840,5
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	0,01	28,4	1086,0
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	15,2	27,0	37,4
Cloreto (mg/L)	0,01	8,68	240,0
Bicarbonato (mg/L)	0,01	11,89	2094,0
Sulfato (mg/L)	0,001	6,40	140,02 (outlier)
Sódio (mg/L)	0,01	4,31	170,5
Potássio (mg/L)	0,01	1,01	38,0
Cálcio (mg/L)	0,01	3,87	88,18
Magnésio (mg/L)	0,01	5,89	518,0

Mais de metade das amostras (57%) apresenta CE abaixo de $10 \mu\text{S}/\text{cm}$, e 90% das amostras encontra-se abaixo de $50 \mu\text{S}/\text{cm}$. Valores mais elevados de CE ($> 100 \mu\text{S}/\text{cm}$) são observados pontualmente na Bacia do Parecis, sem um padrão espacial ou geológico definido.

Cerca de metade das amostras apresentaram valor de STD inferior a 10 mg/L , com 85% das amostras apresentando valores de até 50 mg/L . Apenas 5% das amostras apresentam teores de STD superiores a 100 mg/L .

Os dados corroboram a conclusão de que predominam águas subterrâneas muito pouco mineralizadas na área de estudo, especialmente nos aquíferos presentes e explorados na Bacia do Parecis, sugerindo tratar-se de águas de origem predominantemente meteórica, de recarga recente e rápida infiltração nos aquíferos.

A maior parte das amostras apresenta temperatura no intervalo entre 24 e 32°C (76% do total). Os resultados encontram-se próximos da temperatura atmosférica média da região, conforme esperado

5.9.3.1 Características hidroquímicas dos íons maiores

Com relação aos íons maiores, foram obtidos 2212 poços com pelo menos algum dado, sendo o bicarbonato o elemento mais frequentemente disponível.

Observa-se que a maior parte das amostras apresenta baixas concentrações de bicarbonato, geralmente inferiores a 20 mg/L. Alguns poços com concentrações mais elevadas são observados pontualmente nos municípios de Sinop e Lucas do Rio Verde, principalmente. O valor mais elevado, no município de Sinop, encontra-se associado ao Aquífero Ronuro (aflorante) ou ao Aquífero Salto das Nuvens (subaflorante).

Observa-se a predominância de baixas concentrações de cloreto em toda a Bacia do Parecis (< 10 mg/L), enquanto concentrações superiores (em geral de 10 a 25 mg/L) são observadas notadamente a norte de Sorriso, em toda a porção norte da área de estudo. Essa região já não pertence à Bacia do Parecis, ocorrendo aquíferos associados à Formação Dardanelos e aquíferos fissurais associados a rochas cristalinas diversas. No município de Sinop, alguns poços com concentrações de cloreto superiores a 100 mg/L são observados, estando associados à Formação Dardanelos. Pontualmente, no município de Lucas do Rio Verde e Ipiranga do Norte concentrações mais elevadas de cloreto também ocorrem, associadas ao Aquífero Salto das Nuvens e possivelmente às Coberturas Detrito-lateríticas Ferruginosas.

Predominam baixas concentrações de sulfato (< 5 mg/L) em toda a Bacia do Parecis, indicando uma baixa mineralização de sulfato nos aquíferos Salto das Nuvens, Utiariti e Ronuro. Uma maior mineralização é observada na região norte do município de Sinop, associado à Formação Dardanelos.

Para o sódio também se observa uma predominância de baixas concentrações, geralmente inferiores a 10 mg/L. Pontualmente, nos municípios de Nova Ubiratã, Sorriso, Tapurah são observados alguns poços com concentrações da ordem de 100 mg/L. Na região norte de Sinop, diversos poços apresentam concentrações de sódio mais elevadas, estando associados à Formação Dardanelos.

Em toda a área de estudo, notadamente na Bacia do Parecis, predominam baixas concentrações de cálcio (< 5 mg/L). Fora da Bacia, concentrações mais elevadas de cálcio (> 70 mg/L) ocorrem localmente no município de Cláudia, associados à Formação Dardanelos; e na região sudoeste, nos municípios de Rosário Oeste e Nobres, estando associados a calcários e dolomitos presentes em rochas dos Grupos Cuiabá e Alto Paraguai.

De modo semelhante ao cálcio, predominam baixas concentrações em toda a Bacia do Parecis. Valores mais elevados (> 50 mg/L) ocorrem pontualmente nos municípios de Tapurah e Nova Mutum, associados ao Aquífero Salto das Nuvens.

Por fim, em relação ao potássio, predominam concentrações muito baixas em toda a área de estudo (geralmente < 1 mg/L). Valores superiores a 5 mg/L são observados

pontualmente nos municípios de Lucas do Rio Verde e Tapurah, associados ao Aquífero Salto das Nuvens e coberturas lateríticas recentes.

Em relação à classificação das águas, observa-se que todos os tipos químicos ocorrem na área de estudo e que não há um padrão definido para os aquíferos da Bacia do Parecis analisados (Salto das Nuvens e Ronuro), de modo que suas águas apresentam diversos tipos químicos. Contudo, embora não haja um padrão claro para as águas subterrâneas nesses aquíferos, é possível observar a predominância de dois grandes grupos químicos, sendo um de águas bicarbonatadas sódicas e um de águas cloretadas a sulfatadas cálcicas-magnesianas. Um grupo menor de amostras de águas bicarbonatadas cálcicas também pode ser observado, além de outras amostras mistas. A baixíssima mineralização das águas e o curto tempo de residência no aquífero, podem ser fatores responsáveis pela variabilidade hidrogeoquímica observada nas formações Ronuro e Salto das Nuvens.

Em relação ao aquífero associado à Formação Dardanelos observa-se uma clara predominância de águas cloretadas magnesianas. A maior mineralização e a composição química da Fm. Dardanelos sugerem se tratar de águas subterrâneas com maior tempo de circulação no aquífero e, portanto, relativamente menos renovadas pela recarga.

Portanto, de um modo geral, observam-se águas subterrâneas muito pouco mineralizadas na Bacia do Parecis e de característica ácida nos aquíferos Ronuro, Utariti e Salto das Nuvens. As águas não apresentam um padrão hidrogeoquímico definido, sendo observados ao menos três tipos químicos para as águas subterrâneas. Essas características estão de acordo com os estudos regionais desenvolvidos pelo Serviço Geológico do Brasil nos aquíferos em questão (CPRM, 2012). As características hidroquímicas sugerem uma origem meteórica das águas, com recarga recente e rápida infiltração nos aquíferos (Feitosa et al., 2008).

6 META 6 - GOVERNANÇA

6.1 DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL

6.1.1 Introdução

O Brasil ocupa a 6ª posição em agricultura irrigada no mundo. Entretanto, com pouco mais de 8 milhões de ha, não corresponde a 3 % da área irrigada em todo o planeta (ANA, 2021). Dados da Agência Nacional de Águas (2021) também estimam que a área adicional irrigável potencial total no país é de 55,85 milhões de ha, dos quais cerca de 10,3 mi ha são, somente, no estado do Mato Grosso. Este estado, que, atualmente, conta apenas 292 mil ha cultivados com irrigação, é o que possui o maior potencial de expansão da agricultura irrigada, além de liderar a produção nacional de diversos produtos agrícolas (soja, milho, algodão, carne bovina p.e.).

Entretanto, o aumento da área agrícola irrigada é dependente do aumento, pela agricultura, da demanda pelos recursos hídricos existentes. Sendo a água um bem de domínio público, limitado, dotado de valor econômico e cuja gestão deve proporcionar seus usos múltiplos (BRASIL, 1997), por vezes, essa gestão não é tão simples de ser feita. Estudos de modelos de governança de recursos hídricos eficazes mundo à fora e levantamento das particularidades sociais, econômicas, hidrológicas, pedológicas e climáticas são primordiais para a expansão da agricultura irrigada de forma sustentável. Proposição de um modelo de governança customizado ao estado do Mato Grosso é chave para o desenvolvimento da irrigação no estado, evitando conflitos pelo uso da água e garantindo a publicidade de informações.

6.1.2 Atividades desenvolvidas

A fim de verificar a relevância econômica da agricultura irrigada no Mato Grosso, foi feito um estudo inicial correlacionando a área agrícola irrigada e o valor financeiro da produção agrícola. Foram tratados os dados georreferenciados de 67 municípios onde há agricultores associados/parceiros da Associação dos Produtores de Feijão, Pulses, Grãos Especiais e Irrigantes de Mato Grosso. Calcularam-se a área irrigada total de cada município e o percentual em relação à área agricultável em potencial, obtida por meio de geoprocessamento dos dados do Cadastro Ambiental Rural. Assim, foram obtidas uma medida absoluta para a agricultura irrigada mato-grossense e uma relativa à relevância dela

comparada ao cultivo em sequeiro. Em paralelo, a Produção Agrícola Municipal - PAM, contabilizada pelo IBGE (2022), foi levantada para os 67 municípios da base de dados da APROFIR-MT, como também a relação entre a PAM e a área agrícola potencial obtida do CAR. A seguir, Tabela 6.1 com os dados obtidos.

Tabela 6.1 - Área irrigada e produção agrícola municipal de 67 municípios do Mato Grosso onde há produtores mapeados pela APROFIR-MT.

Município	Área irrigada total (ha) (IMAFIR)	Área potencial agrícola (ha) (CAR)	Percentual irrigado (%)	PAM-2022 (R\$) (IBGE)	Produtividade (R\$/ha)
Primavera do Leste	26.565,74	593.576,50	4,48%	5.231.579.000,00	8.813,66
Vera	9.497,71	340.609,00	2,79%	2.469.851.000,00	7.251,28
Sorriso	26.693,96	1.024.723,00	2,60%	11.479.187.000,00	11.202,23
Lucas do Rio Verde	9.030,57	479.572,50	1,88%	4.342.639.000,00	9.055,23
Ipiranga do Norte	4.880,10	450.338,20	1,08%	3.867.528.000,00	8.588,05
Novo São Joaquim	5.506,12	593.498,80	0,93%	1.619.470.000,00	2.728,68
Poxoréu	5.075,06	572.193,00	0,89%	1.276.959.000,00	2.231,69
Campo Novo do Parecis	6.111,94	764.502,80	0,80%	8.155.043.000,00	10.667,12
Nova Ubiratã	11.822,76	1.488.480,00	0,79%	6.831.008.000,00	4.589,25
Bom Jesus do Araguaia	3.005,97	475.419,50	0,63%	1.995.693.000,00	4.197,75
Santo Antônio do Leste	2.176,71	353.960,20	0,61%	2.158.624.000,00	6.098,49
General Carneiro	1.707,34	278.276,00	0,61%	1.022.575.000,00	3.674,68
Tapurah	3.507,55	658.016,40	0,53%	3.417.230.000,00	5.193,23
Campo Verde	2.648,57	540.650,10	0,49%	4.836.099.000,00	8.944,97
Porto dos Gaúchos	3.644,48	827.632,40	0,44%	2.975.552.000,00	3.595,26
Barra do Garças	3.053,79	711.778,70	0,43%	628.840.000,00	883,48
Nova Mutum	4.729,63	1.171.433,00	0,40%	6.334.896.000,00	5.407,82
Sinop	1.186,37	379.268,40	0,31%	2.575.062.000,00	6.789,55
Santa Rita do Trivelato	1.763,63	572.336,50	0,31%	2.662.715.000,00	4.652,36
Dom Aquino	642,38	212.437,20	0,30%	1.029.442.000,00	4.845,87
Pedra Preta	940,73	465.568,80	0,20%	1.244.112.000,00	2.672,24
Querência	2.291,71	1.214.086,00	0,19%	4.337.300.000,00	3.572,48
Torixoréu	378,51	204.215,80	0,19%	347.612.000,00	1.702,18
Itiquira	1.730,68	947.138,10	0,18%	3.038.326.000,00	3.207,90
Chapada dos Guimarães	1.090,77	600.851,30	0,18%	625.946.000,00	1.041,77
Sapezal	1.523,16	1.070.539,00	0,14%	8.018.870.000,00	7.490,50
Santa Carmem	588,56	446.744,60	0,13%	1.898.067.000,00	4.248,66
Cláudia	559,13	445.088,60	0,13%	1.566.550.000,00	3.519,64
Água Boa	1.180,73	944.636,10	0,12%	2.205.198.000,00	2.334,44
Guiratinga	522,2	458.265,70	0,11%	1.012.319.000,00	2.209,02
Alto Garças	412,07	379.898,70	0,11%	1.568.924.000,00	4.129,85
São José do Rio Claro	561,84	542.485,20	0,10%	2.332.523.000,00	4.299,70
Rondonópolis	463,01	448.170,70	0,10%	1.290.043.000,00	2.878,46

Tabela 6.1 - Área irrigada e produção agrícola municipal de 67 municípios do Mato Grosso onde há produtores mapeados pela APROFIR-MT.

Município	Área irrigada total (ha) (IMAFIR)	Área potencial agrícola (ha) (CAR)	Percentual irrigado (%)	PAM-2022 (R\$) (IBGE)	Produtividade (R\$/ha)
Nova Maringá	1.316,98	1.346.903,00	0,10%	2.352.647.000,00	1.746,71
Diamantino	857,43	977.291,70	0,09%	5.831.472.000,00	5.966,97
Nova Xavantina	549,22	656.337,60	0,08%	617.518.000,00	940,85
Araguaiana	391,59	596.469,10	0,07%	125.317.000,00	210,1
Nortelândia	85,42	141.759,80	0,06%	456.787.000,00	3.222,26
Ribeirão Cascalheira	676,38	1.168.126,00	0,06%	1.004.999.000,00	860,35
Gaúcha do Norte	525,45	1.216.126,00	0,04%	2.531.880.000,00	2.081,92
Paranatinga	887,08	2.671.518,00	0,03%	3.646.970.000,00	1.365,13
Tabaporã	251,63	907.520,30	0,03%	3.258.747.000,00	3.590,83
Feliz Natal	188,25	747.197,60	0,03%	2.076.272.000,00	2.778,75
Tangará da Serra	161,22	758.719,10	0,02%	1.888.730.000,00	2.489,37
Canarana	183,88	924.596,00	0,02%	3.888.207.000,00	4.205,30
Brasnorte	306,49	1.741.600,00	0,02%	3.764.255.000,00	2.161,38
Santo Afonso	12,56	116.532,90	0,01%	204.507.000,00	1.754,93
Arenápolis	0	33.469,00	0,00%	73.829.000,00	2.205,89
Barra do Bugres	0	572.129,40	0,00%	489.191.000,00	855,04
Campinápolis	0	370.097,00	0,00%	306.800.000,00	828,97
Canabrava do Norte	0	605.498,60	0,00%	399.689.000,00	660,1
Cocalinho	0	1.836.100,00	0,00%	207.074.000,00	112,78
Comodoro	0	1.062.373,00	0,00%	1.380.489.000,00	1.299,44
Confresa	0	880.911,30	0,00%	824.748.000,00	936,24
Cuiabá	0	220.417,50	0,00%	8.731.000,00	39,61
Denise	0	141.117,30	0,00%	348.982.000,00	2.472,99
Itanhangá	0	285.739,40	0,00%	1.346.829.000,00	4.713,49
Nova Lacerda	0	457.937,20	0,00%	437.232.000,00	954,79
Nova Marilândia	0	195.029,00	0,00%	74.856.000,00	383,82
Nova Nazaré	0	172.395,50	0,00%	216.563.000,00	1.256,20
Nova Olímpia	0	171.798,80	0,00%	210.034.000,00	1.222,56
Pontal do Araguaia	0	259.379,20	0,00%	33.472.000,00	129,05
Rosário Oeste	0	752.596,80	0,00%	412.594.000,00	548,23
Santo Antônio de Leverger	0	943.713,30	0,00%	578.349.000,00	612,84
São Félix do Araguaia	0	1.674.344,00	0,00%	3.413.695.000,00	2.038,83
Vila Bela da Santíssima Trindade	0	1.473.770,00	0,00%	644.326.000,00	437,2
Vila Rica	0	994.402,40	0,00%	715.026.000,00	719,05

Existe uma correlação (r) de 0,642 entre a área irrigada total e a produtividade e de 0,649 entre o percentual irrigado e a produtividade, valor considerado moderado (DANCEY e REIDY, 2005). Dentre os municípios onde há uso de irrigação na agricultura, os mais eficientes, quer dizer, produzem mais por unidade de área cultivada, têm mais agricultura irrigada em 64 % dos casos. Diversos aspectos climáticos e outros tecnológicos influenciam e estão associados à eficiência produtiva na agricultura, mas a irrigação certamente é um deles, como os dados revelam. Por exemplo, municípios da Região Geográfica Imediata de Tangará da Serra, como Sapezal e Campo Novo do Parecis estão a longitudes maiores que 57°O, onde a precipitação atinge, facilmente, 2000 mm e, comumente, inicia-se com estabilidade nas primeiras semanas de outubro. Eles possuem área irrigada de 0,14 e 0,80 %, respectivamente, do potencial total agricultável, mas são altamente eficientes no desempenho econômico da agricultura.

O coeficiente de correlação (r) não expressa uma relação de causalidade entre as variáveis, mas, apenas, o quão associadas elas são. Entretanto, é coerente presumir 1) que quanto mais produtivo é o município agrícola, mais viável torna-se investir em sistemas de irrigação e; 2) quanto maior a proporção de terras irrigadas, menor a suscetibilidade a eventos climáticos adversos e maior o potencial produtivo do sistema agrícola, que se traduz em maior renda. Os municípios de Sorriso e Santa Rita do Trivelato, por exemplo, que pertencem à Região Imediata de Sorriso e estão no Polo de Irrigação do Alto Teles Pires, têm 2,60 e 0,31 % de áreas agrícolas irrigadas respectivamente. Valores baixos e que demonstram o potencial de expansão da irrigação, mas cerca de 8 vezes discrepantes entre si. A relação PAM/área agrícola potencial de Sorriso, maior área irrigada no estado, chega a R\$11.202,23/ha, enquanto a de Santa Rita do Trivelato é de R\$4.652,36/ha. Seguem a localização dos pivôs centrais e das áreas agrícolas dos municípios citados abaixo:

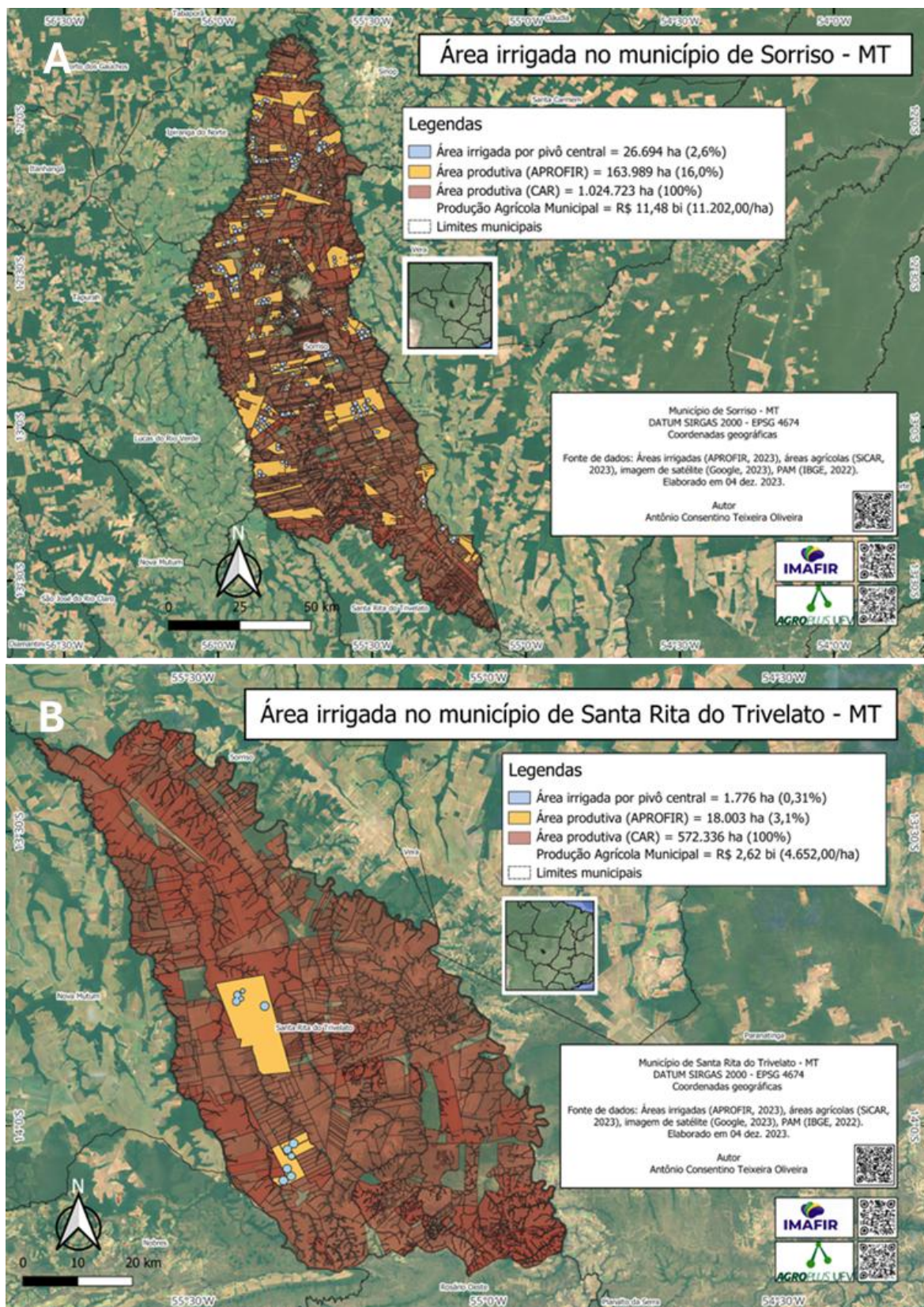


Figura 6.1 - Mapas dos municípios, áreas agrícolas dos produtores da APROFIR, áreas agrícolas do SiCAR e dos pivôs centrais em Sorriso (A) e Santa Rita do Trivelato (B).

Também a exemplo, seguem os mapas de Primavera do Leste, município em segundo na agricultura irrigada em Mato Grosso, e de Querência:

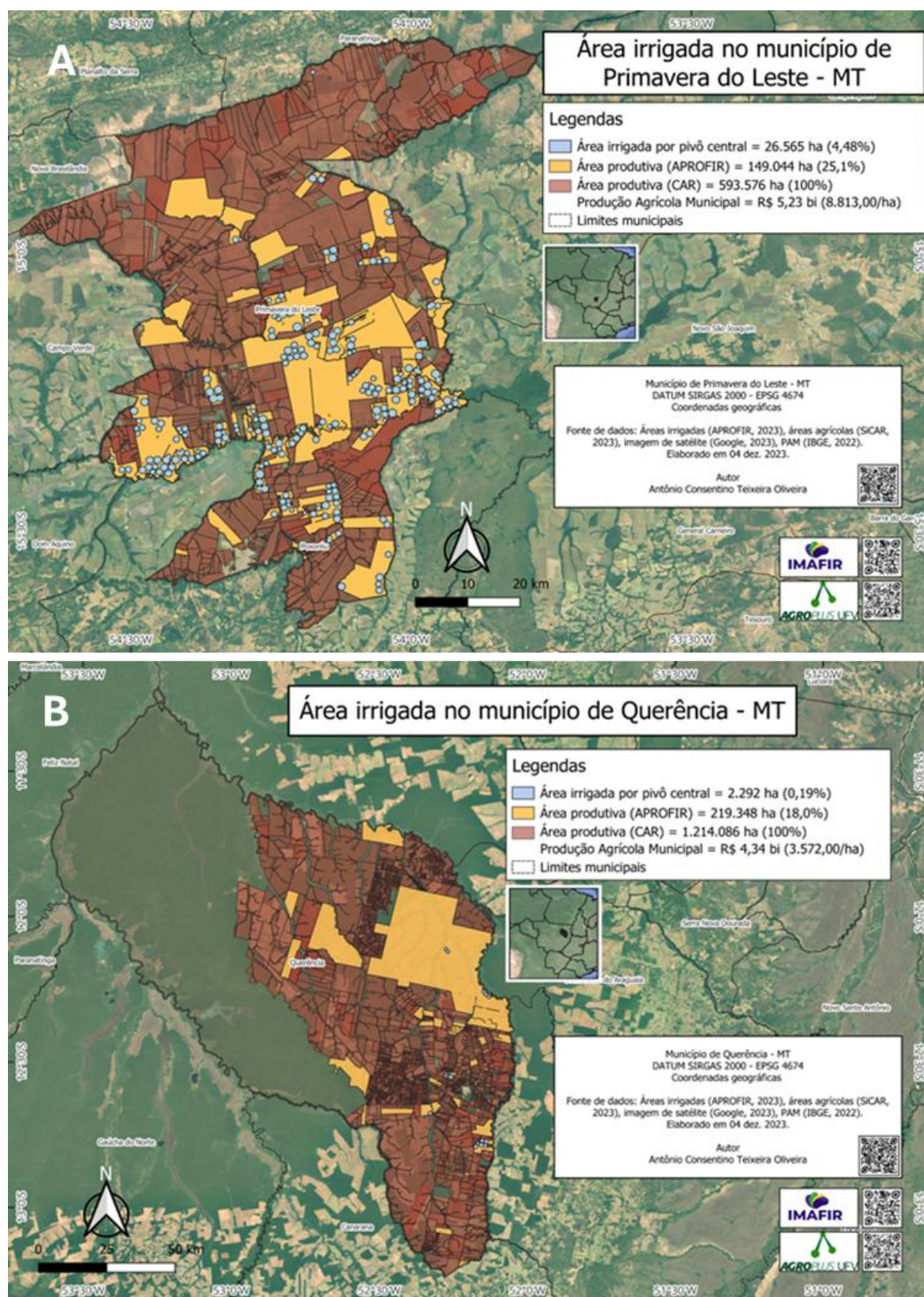


Figura 6.2 - Mapas dos municípios, áreas agrícolas dos produtores da APROFIR, áreas agrícolas do SiCAR e dos pivôs centrais em Primavera do Leste (A) e Querência (B).

Outra atividade realizada, com o intuito de obter as informações para a aplicação das Contas Econômicas e Ambientais de Água (CEAA) na bacia hidrográfica do Rio das Mortes, foi identificado a ferramenta do Soil and Water Assessment Tool (SWAT). A CEAA é uma ferramenta consistente e abrangente, contemplada por um conjunto de padrões internacionais que permitem a análise das relações do meio ambiente com a economia. Por ser uma ferramenta muito avançada e necessitar de dados complexos, em função disso, a utilização do SWAT visa facilitar a obtenção desses dados. O SWAT é um modelo em escala de sub-bacia hidrográfica a bacia hidrográfica usado para simular a qualidade e quantidade de águas superficiais e subterrâneas e prever o impacto ambiental do uso da terra, práticas de gestão da terra e mudanças climáticas.

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica para compreender como o SWAT tem sido utilizado em estudos correlacionados às CEAA, o que permitiu identificar trabalhos semelhantes e potenciais desafios. Em seguida, deu-se início à coleta de dados da bacia hidrográfica para alimentar o modelo. Devido à grande área, número e preparo de dados, o processamento tem exigido bastante tempo, até o momento, o delineamento da bacia já foi concluído. O próximo passo envolve a classificação dos tipos e usos do solo, a inserção dos dados climáticos fornecidos pelo Prof. Marcos Heil, além da incorporação das informações sobre captação e lançamento de água nos corpos hídricos da bacia. As etapas subsequentes estão bem definidas, o que deve permitir a continuidade eficiente da modelagem e análise com o SWAT.

Além disso, em janeiro de 2024, foram feitas visitas pelo professor orientador a entes envolvidos na governança dos recursos hídricos. O foco principal das visitas foi identificar vantagens, desvantagens, potencialidades e limites da expansão da irrigação na agricultura mato-grossense onde foram realizadas reuniões com representantes do poder público municipal, reunião com lideranças de produtores rurais, representantes de organizações da sociedade civil, empresas de insumos, prestação de serviço e comercialização de produtos agropecuários e produtores rurais. As visitas realizadas e informações coletadas foram:

- Visita à DINETEC (Dia de Negócios e Tecnologia):
 - Interação com a revenda de produtos e equipamentos para irrigação - Produtividade Irrigação - de Primavera do Leste.
 - Interação com o produtor Rogério Brescovici, de Primavera do Leste. Já possui pivôs em sua propriedade e demonstrou bastante interesse no projeto.

Sua filha, Giovana Brescovici, realiza estágio voluntário para o projeto. Demonstrou interesse também pela irrigação de pastagem.

- Visita à Fazenda do produtor Marcos da Rosa.
 - Aplicação e validação do Questionário com o Marcos da Rosa, Ex presidente da Aprosoja Brasil e produtor no município de Canarana/MT;
 - Interação com o Fernando, produtor que esteve na fazenda no dia;
 - Reunião on-line com Everardo Mantovani, quanto a operações de leasing para a agricultura irrigada com a participação do Professor Aziz Galvão, Ana Paula Iria, Afrânio Migliari, Marcos da Rosa e Fernando.
- Reunião com Endrigo Dalcin, Ex presidente da Aprosoja Mato Grosso e produtor da região de Nova Xavantina.
- Reunião com João Bang, Prefeito de Nova Xavantina, na qual estiveram presentes também Aurio e João Ailton Barbosa, secretários municipais de agricultura e meio ambiente. Na ocasião reforçaram a problemática do assoreamento e da diminuição da vazão dos cursos d'água. Foi mencionado também a presença de 2 propriedades com irrigação no município e a existência de linhas de transmissão para sistemas de irrigação futuros.
- Reunião com José Bispo dos Santos, Secretário de desenvolvimento rural do município, e Fabiano Dall Agnol, produtor rural e 2º secretário do sindicato rural do município.
 - Nova Xavantina faz parte do PCI MT, em função disso, já possui o levantamento de informações de interesse, como os rios da região, e acesso a recursos. Outro ponto interessante é que algumas propriedades da região realizam 3º safra com feno, e outras já adotam o sistema lavoura pecuária. Além disso, ressaltaram que o município possui energia elétrica disponível para atender a demanda de pivôs para irrigação. Cabe ressaltar que reclamaram do PCI pois a princípio o município teria prioridade na análise do CAR por fazer parte, no entanto, essa prioridade até o momento não ocorreu.

- Reunião com Henrique Pérola, ex-presidente da ACEBRA, Cerealista e dono da Campo Real Agroindustrial.
 - Na ocasião discutiu-se a necessidade de preparar as propriedades para as exigências de mercado e ressaltou-se a importância de programas de assistência aos produtores quanto à gestão de suas propriedades.

6.2 DEFINIÇÃO DE MODELOS DE GOVERNANÇA

6.2.1 Atividades desenvolvidas

Em janeiro de 2024, foram feitas visitas pelo professor orientador a entes envolvidos na governança dos recursos hídricos. O foco principal das visitas foi identificar vantagens, desvantagens, potencialidades e limites da expansão da irrigação na agricultura mato-grossense para se seguir com Social Networks Analysis (SNA). Metodologia que permite identificar pessoas e organizações e seus papéis numa rede de comunicação, viabilizando meios eficazes de espalhar uma informação ou facilitar uma tomada de decisão conflituosa, por exemplo. A SNA segue em construção e necessitará de novas entrevistas para ser finalizada, o que será feito durante a etapa 6.3.

Além disso, para conhecimento a respeito do modelo de governança de recursos hídricos utilizado no estado americano do Nebraska, delegação de pesquisadores, representantes públicos e do IMAFIR visitaram o Water for Food da Universidade de Nebraska. O objetivo da viagem foi apresentar o modelo de governança do Nebraska, um dos mais funcionais do mundo, e fortalecer a transparência entre as instituições envolvidas, além de permitir a adequação do que for cabível à governança de recursos hídricos no Mato Grosso. Foram visitadas empresas de equipamentos de irrigação, órgãos reguladores do estado e agricultores irrigantes do estado. A seguir, um resumo da viagem realizada:

21/04/2024 – Domingo -----

18:00 Reunião: Programação e apresentação do Projeto MT de recursos hídricos.

22/04/2023 – Segunda-Feira -----

09:00 às 12:00. Reunião Geral da Comitativa DWFI/UNL (Daugherty Water for Food Global Institute da University of Nebraska); Palestra sobre o DWFI - Peter McCornick, Diretor Executivo e Christopher Neale Diretor de Pesquisa – DWFI; Palestra sobre Monitoramento de Água Subterrânea no Nebraska - Matt Joeckel, Diretor Conservation and Survey Division UNL; Derek McLean, Reitor de Pesquisa, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln

12:45 às 19:00 Visita às empresas Valmont e Lindsay

23/04/2024 – Terça Feira -----

08:00 as 9:30 Palestra sobre NRD

9:45 as 11:30 Visita ao Departamento de Recursos Naturais (DNR) do Nebraska

13:30 as 17:30 Visita ao ENREEC: Apresentação, visita Fazenda Experimental envolvendo pesquisa de agricultura irrigada, pivô central, monitoramento e tecnologias (Spidercam e outros) <https://extension.unl.edu/statewide/enreec/>

24/04/2024 – Quarta Feira -----

09:00 as 11:00 Visita ao Distrito de Recursos Naturais (NRD) Upper Big Blue em York

11:00 às 13:00 Visita ao Produtor Rural Jerry Stahr (York)

14:00 às 16:00 Palestras sobre Irrigação (Profs. Ivo Zution e Christopher Neale – UNL DWFI)

25/04/2024 – Quinta – Feira -----

09:00 às 11:00 Reunião sobre modelos de Governança e situação da Gestão de Recursos Hídricos no Mato Grosso

14:00 as 15:00 Visita a casa de vegetação automatizada da Universidade de Nebraska

26/04/2024 – Sexta – Feira -----

14:00 Reunião com membros da comitiva que viajarão a Chicago sobre as próximas etapas do projeto na área de Governança (contato com associações de produtores, produtores e representantes do poder público: executivo, legislativo e judiciário).

27/04/2024 Sábado -----

09:00 Reunião interna UFV – Aprofir para programação das próximas ações na área de Governança.

6.3 FORTALECIMENTO DA TRANSPARÊNCIA E CONFIANÇA

6.3.1 Atividades desenvolvidas

Em janeiro de 2024, foram feitas visitas pelo professor orientador a entes envolvidos na governança dos recursos hídricos. O foco principal das visitas foi identificar vantagens, desvantagens, potencialidades e limites da expansão da irrigação na agricultura mato-grossense onde foram realizadas reuniões com representantes do poder público municipal, reunião com lideranças de produtores rurais, representantes de organizações da sociedade civil, empresas de insumos, prestação de serviço e comercialização de produtos agropecuários e produtores rurais. As visitas realizadas e informações coletadas foram:

- Visita à DINETEC (Dia de Negócios e Tecnologia):
 - Interação com a revenda de produtos e equipamentos para irrigação - Produtividade Irrigação - de Primavera do Leste.
 - Interação com o produtor Rogério Brescovici, de Primavera do Leste. Já possui pivôs em sua propriedade e demonstrou bastante interesse no projeto. Sua filha, Giovana Brescovici, realiza estágio voluntário para o projeto. Demonstrou interesse também pela irrigação de pastagem.
- Visita à Fazenda do produtor Marcos da Rosa.
 - Aplicação e validação do Questionário com o Marcos da Rosa, Ex presidente da Aprosoja Brasil e produtor no município de Canarana/MT;
 - Interação com o Fernando, produtor que esteve na fazenda no dia;
 - Reunião on-line com Everardo Mantovani, quanto a operações de leasing para a agricultura irrigada com a participação do Professor Aziz Galvão, Ana Paula Iria, Afrânio Migliari, Marcos da Rosa e Fernando.
- Reunião com Endrigo Dalcin, Ex presidente da Aprosoja Mato Grosso e produtor da região de Nova Xavantina.
- Reunião com João Bang, Prefeito de Nova Xavantina, na qual estiveram presentes também Aurio e João Ailton Barbosa, secretários municipais de agricultura e meio ambiente. Na ocasião reforçaram a problemática do assoreamento e da diminuição da vazão dos cursos d'água. Foi mencionado

também a presença de 2 propriedades com irrigação no município e a existência de linhas de transmissão para sistemas de irrigação futuros.

- Reunião com José Bispo dos Santos, Secretário de desenvolvimento rural do município, e Fabiano Dall Agnol, produtor rural e 2º secretário do sindicato rural do município.
 - Nova Xavantina faz parte do PCI MT, em função disso, já possui o levantamento de informações de interesse, como os rios da região, e acesso a recursos. Outro ponto interessante é que algumas propriedades da região realizam 3º safra com feno, e outras já adotam o sistema lavoura pecuária. Além disso, ressaltaram que o município possui energia elétrica disponível para atender a demanda de pivôs para irrigação. Cabe ressaltar que reclamaram do PCI pois a princípio o município teria prioridade na análise do CAR por fazer parte, no entanto, essa prioridade até o momento não ocorreu.
- Reunião com Henrique Pérola, ex-presidente da ACEBRA, Cerealista e dono da Campo Real Agroindustrial.
 - Na ocasião discutiu-se a necessidade de preparar as propriedades para as exigências de mercado e ressaltou-se a importância de programas de assistência aos produtores quanto à gestão de suas propriedades.

6.4 IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO

O programa de capacitação será iniciado após a finalização das etapas anteriores. Os tópicos terão como foco os resultados obtidos em cada uma das metas e serão disponibilizados através de relatórios e material didático.

6.5 MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO

Em andamento, com atividades em desenvolvimento de acordo com as condições operacionais atuais. As ações estão sendo conduzidas com acompanhamento técnico, prevendo sua finalização conforme o planejamento em curso.

7 META 7 - AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE EXPANSÃO SUSTENTÁVEL DA IRRIGAÇÃO

7.1 ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

7.1.1 Introdução

A Bacia do Alto Rio das Mortes, com uma extensão de 2,9 milhões de hectares, está inserida na bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia, tendo como principal afluente o Rio das Mortes. Esta região dedica 33,29% de sua área total ao cultivo agrícola, principalmente soja, outras culturas temporárias e algodão. Além disso, abriga um polo nacional de irrigação com 1,6 milhões de hectares, dos quais 65.458 hectares são atualmente irrigados. (ANA, 2021).

O modelo de cultivo de dupla safra, que depende de uma estação chuvosa com duração mínima de 200 dias, está ameaçado pelas mudanças climáticas. Estudos indicam uma redução na estação chuvosa de 5 a 20 dias, além de um aumento na ocorrência de secas e no aquecimento regional (Commar *et al.*, 2023; Costa *et al.*, 2019)

Esta etapa do projeto buscou avaliar o potencial da expansão da irrigação na Bacia do Rio das Mortes. Para isso, integra a regionalização de vazões considerando múltiplas restrições ao uso da água e estima o crescimento dos sistemas de irrigação com base em dados de outorgas de águas superficiais, conforme a legislação proposta pelo estado de Mato Grosso, visando garantir um cenário de expansão e uso sustentável da água.

7.1.2 Atividades desenvolvidas

7.1.2.1 Estimativa de vazão da bacia Rio das Mortes

As vazões ao longo de todos os segmentos fluviais dentro da bacia do Rio das Mortes foram estimadas com base nos métodos de Eletrobrás (1985), Rodriguez (2008) e Pruski *et al.* (2013) (Figura 7.1, resultado proveniente da etapa 4.3). Foram definidas regiões hidrologicamente homogêneas e calculadas as equações que associam a vazão com variáveis físicas e climáticas.

7.1.2.2 Quantificação do Uso de Vazão nas Sub-bacias do Rio das Mortes

Para quantificar a quantidade de vazão já utilizada nas sub-bacias, foram utilizadas as vazões outorgadas de uso de água superficial fornecidas pela ANA (2024). Essas informações incluem a localização geográfica da outorga, a fonte do rio, a quantidade de

vazão outorgada (m^3/h) e o propósito do uso da outorga. As outorgas são divididas em usos consuntivos: uso industrial e consumo humano; e usos não consuntivos: uso do curso d'água sem consumi-lo, incluindo recreação, pesca e produção de energia (Figura 7.2). Todas as outorgas superficiais foram consideradas.

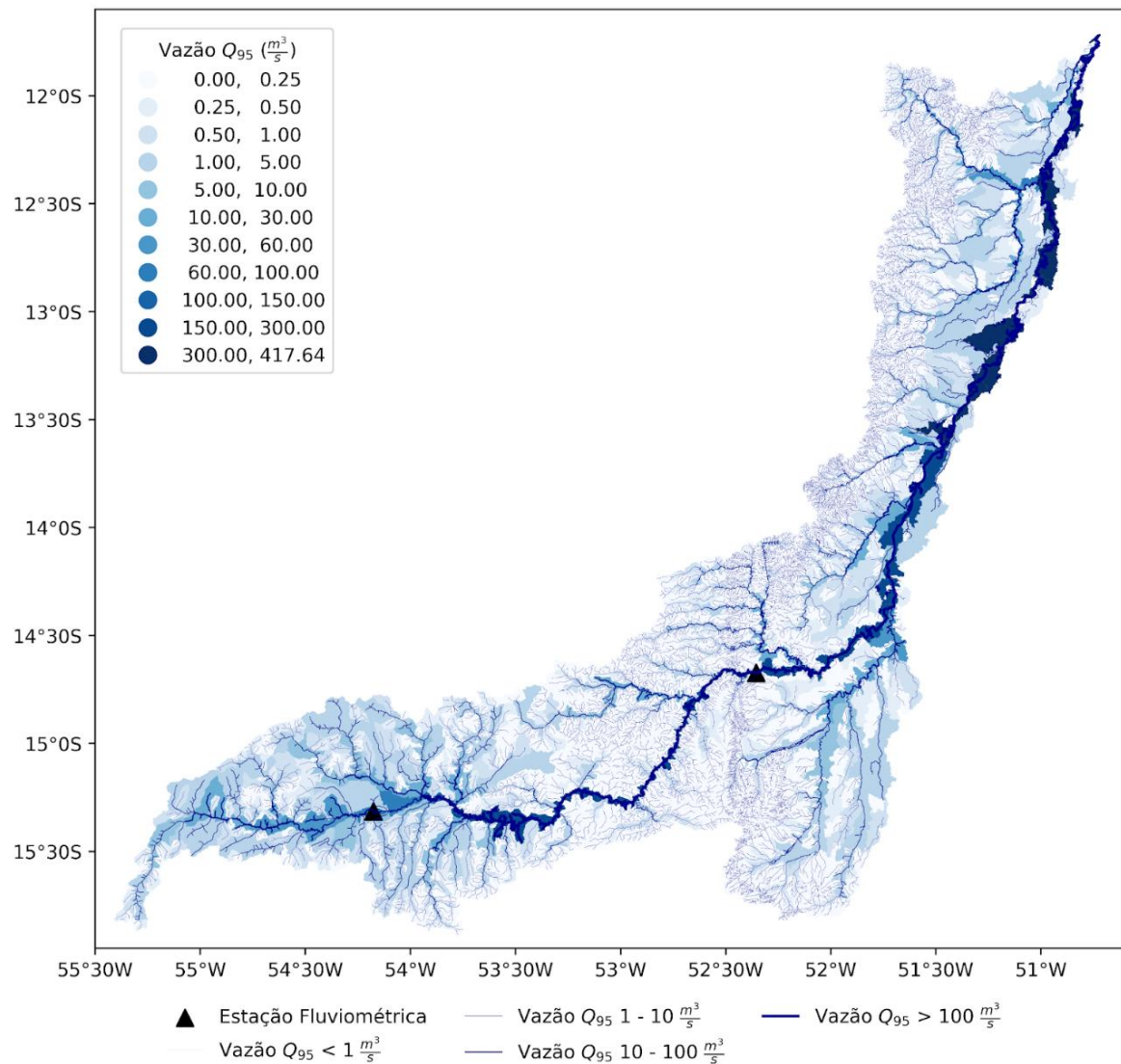


Figura 7.1 - Estimativa de vazão Q_{95} para as microbacias do Rio das Mortes. A escala de cores em azul indica a variação das vazões Q_{95} nas microbacias. Os triângulos pretos representam as estações fluviométricas localizadas na bacia, enquanto as diferentes cores das linhas ilustram as vazões ao longo do rio.

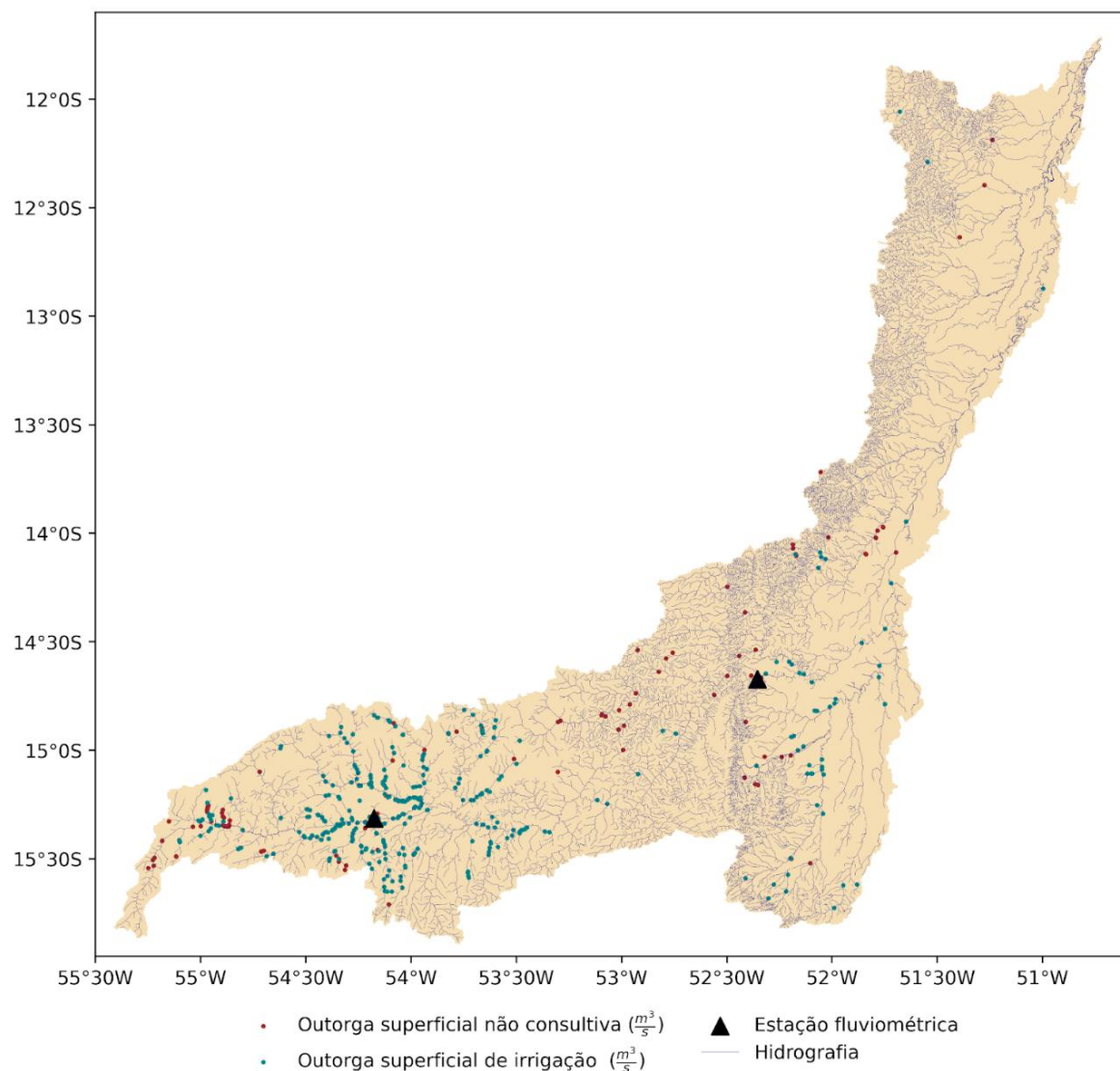


Figura 7.2 - Localização das outorgas de uso superficial na bacia do Rio das Mortes. Os círculos marrons representam as outorgas não consultivas, enquanto os círculos verdes indicam as outorgas destinadas à irrigação. Os triângulos pretos correspondem às estações fluviométricas, e a linha azul representa a hidrografia da bacia.

7.1.2.3 Cálculo da disponibilidade hídrica e potencial de expansão da área irrigada Rio das Mortes

A estimativa tem como objetivo encontrar o maior valor de vazão utilizado para irrigar um hectare de área, máxima vazão específica de irrigação (q_{imax}), ao longo das séries históricas. Para o cálculo da q_{imax} , (Equação 1) foi dividido o pico de vazão mensal para irrigação da série histórica de 2001 a 2022 ($Q_{maxirri}$), calculada na Seção 3.3, pela área efetivamente irrigada do pico do ano (A_{irri}).

$$q_{imax} = \frac{Q_{maxirri}}{A_{irri}} \quad (1)$$

Em que, q_{imax} é a máxima vazão específica de irrigação ($\text{m}^3/\text{s}.\text{ha}$), $Q_{maxirri}$ é o pico de vazão mensal utilizado para irrigação (m^3/s) e A_{irri} é a área efetivamente irrigada (ha).

7.1.3 Resultados

A bacia do Rio das Mortes tem um total de vazão outorgada de $104,96 \text{ m}^3/\text{s}$, em que $100,18 \text{ m}^3/\text{s}$ são para uso de irrigação. Porém, a bacia ainda tem a possibilidade de aumentar a quantidade de outorgas em $187,39 \text{ m}^3/\text{s}$ sem ultrapassar o valor determinado pela legislação estadual (Tabela 7.1).

Tabela 7.1 - Valor estimado de Q_{95} para a bacia como um todo, vazão outorgável conforme a legislação estadual de Mato Grosso ($70\% Q_{95}$), vazão total já concedida para outorga (Q_{out}), vazão concedida para outorgas de irrigação ($Q_{outirri}$), e vazão remanescente com possibilidade de novas outorgas ($70\% Q_{95} - Q_{out}$).

Q_{95}	$70\% Q_{95}$	Q_{out}	$Q_{outirri}$	$70\% Q_{95} - Q_{out}$
(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
417,64	292,35	104,96	100,18	187,39

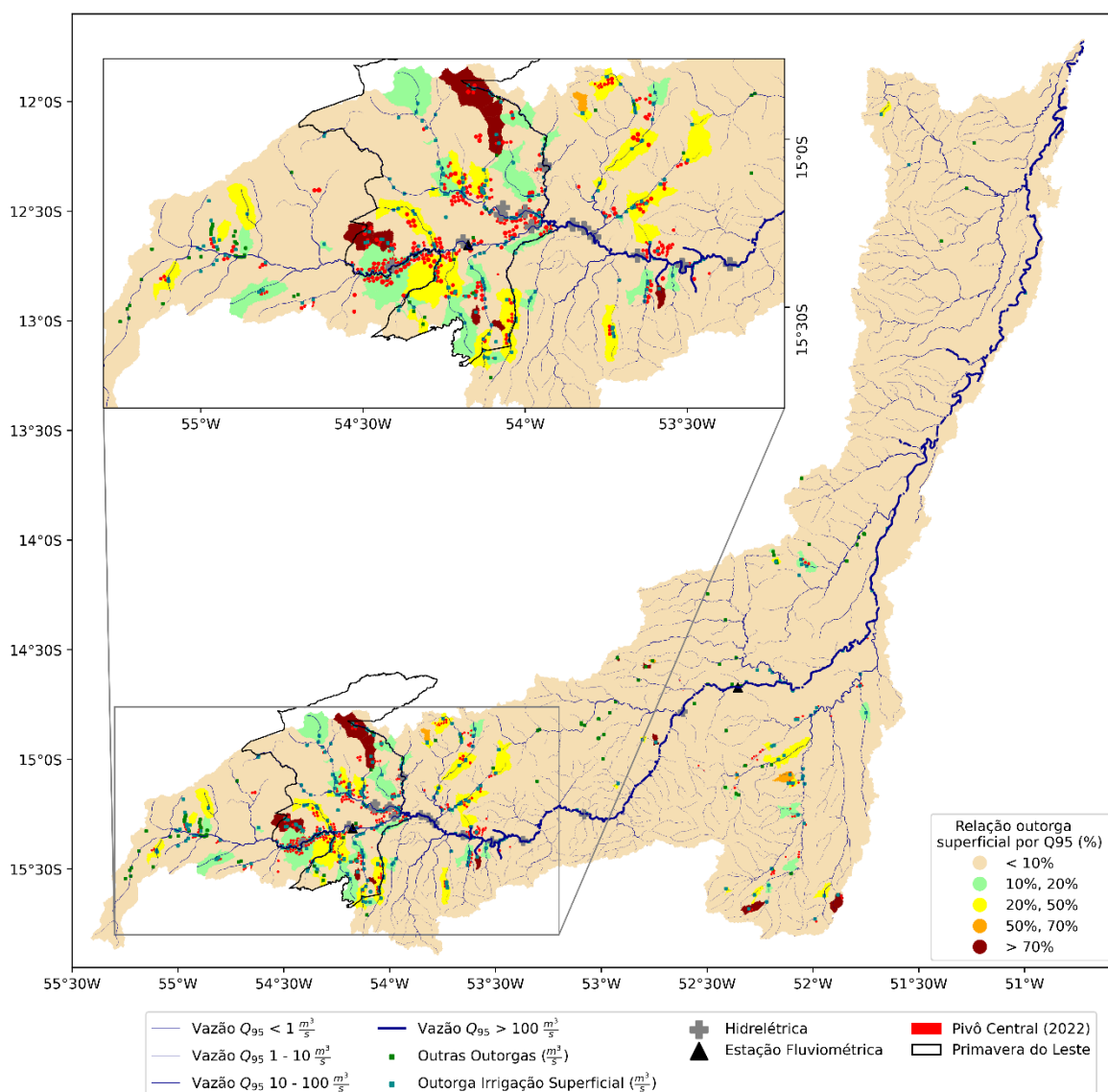


Figura 7.3 - A relação entre a água superficial outorgada e a disponibilidade de água por microbacia na bacia do Rio das Mortes.

A relação entre as concessões de água superficial e as análises Q_{95} (Figura 7.3) mostrou que, na bacia do Rio das Mortes, algumas microbacias possuem concessões de água que excedem o limite legal estadual de 70% do Q_{95} , particularmente nas cabeceiras do rio. No entanto, de modo geral, as concessões de água não ultrapassaram 50% do Q_{95} nas microbacias do Rio das Mortes.

Finalmente, os dados de outorga assumem tipicamente uma outorga de $1,0 \text{ L.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$. Assim, havendo $187,39 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ a serem outorgados ainda na Bacia do Rio das Mortes, numa aproximação inicial pode-se inferir que a irrigação nesta bacia pode expandir mais 187.390 ha. Esse número é uma estimativa inicial e pode aumentar ou diminuir dependendo de diversos fatores. Fatores que podem aumentar a área com potencial de expansão incluem o uso de água subterrânea, um melhor gerenciamento de água a nível de fazenda ou de bacia,

outorgas sazonais, melhoria na eficiência de sistemas de irrigação e aumento da recarga dos rios, que estão sendo estudados, respectivamente, na Meta 5; na atividade 3.3; na atividade 4.2; Meta 9 e atividade 7.4; e atividades 4.5 e 7.3. Fatores que podem diminuir a área com potencial de expansão de irrigação incluem usos múltiplos da área, que será estudado na atividade 7.5.

7.1.4 Atividades futuras

Embora as atividades do Pólo de Irrigação do Rio das Mortes estejam essencialmente concluídas, ainda aguardamos os resultados do Pólo de Irrigação do Alto Teles Pires para poder proceder com a análise.

7.2 ESTUDO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

7.2.1 Introdução

O estado de Mato Grosso está localizado na região centro-oeste do Brasil com uma extensão territorial de 90,3 Mha. Seu território abrange três grandes biomas brasileiros: Amazônia, Cerrado e Pantanal e rios com grandes vazões. Ao longo dos anos ocorreu a expansão da agricultura e da pecuária na região, resultando em áreas com soja, cana de açúcar, algodão, silvicultura e pastagem. O estado, atualmente, é um dos maiores produtores de grãos do país, com destaque para a soja e o milho (IBGE, 2024).

No estado, há destaque também para a agricultura irrigada com o polo de irrigação do médio norte, abrangendo a região do Alto Teles Pires, e do polo de irrigação do Rio das Mortes, que apresentaram grande crescimento na última década.

Dessa forma, esta etapa tem como objetivo quantificar as áreas de cada uso do solo nos polos de irrigação do Médio Norte e Rio das Mortes e no estado de Mato Grosso.

7.2.2 Atividades desenvolvidas

Foi utilizado o dado de uso e cobertura do solo do projeto MAPBIOMAS coleção 8 (Souza et al, 2020) referente ao ano de 2022. O projeto do MAPBIOMAS tem como objetivo mapear o uso e cobertura do solo do Brasil por meio de imagens do programa LANDSAT utilizando Random Forest (Souza et al., 2020).

Para a quantificação dos usos e coberturas de Mato Grosso foram utilizadas todas as classes encontradas no estado pelo MAPBIOMAS. Essas classes são: Formação florestal

(ID=3), Formação savânica (ID=4), Floresta alagável (ID=6), Campo alagado e área pantanosa (ID=11), Formação campestre (ID=12), Afloramento rochoso (ID=29), Pastagem (ID=15), Soja (ID=39), Cana (ID=20), Algodão (ID=62), Outras lavouras temporárias (ID=41), Silvicultura (ID=9), Mosaico de usos (ID=21), Área urbanizada (ID=24), Mineração (ID=30), Outras áreas não vegetadas (ID=25) e Rio, lago e oceano (ID=33). Para melhor entendimento e organização, algumas classes tiveram seus nomes alterados ou foram agrupadas em uma classe só. As classes ‘formação florestal’ e ‘formação savânica’ são chamadas neste no relatório de ‘floresta’ e ‘Cerrado’, respectivamente. As classes ‘soja’, ‘cana’, ‘algodão’ e ‘outras lavouras temporárias’ foram agrupadas em ‘agricultura’. Já as classes ‘afloramento rochoso’, ‘área urbanizada’, ‘mineração’ e ‘outras áreas não vegetadas’ foram agrupadas em ‘Área não vegetada’. As classes ‘campo alagado’ e ‘área pantanosa e floresta alagável’ foram agrupadas em ‘campo alagado e área pantanosa’.

O dado do MAPBIOMAS referente ao ano de 2022 foi recortado para o estado de Mato Grosso e os polos de irrigação, e as áreas de cada uso foram calculadas.

7.2.3 Resultados

O estado de Mato Grosso possui cerca de 53% (47,61 Mha) de seu território composto por floresta e cerrado, 7% (6,34 Mha) de formação campestre, campo alagado e área pantanosa, e 0,8% de corpos d’água. A agropecuária tem grande destaque no estado correspondendo a cerca de 38% do território, divididos em cerca de 20,91 Mha em pastagem, 11,78 Mha em agricultura, 1,87 Mha em mosaicos de uso (áreas em que não foi possível distinguir entre pastagem e cultura agrícola durante a classificação do MAPBIOMAS) e 0,15 Mha em silvicultura (Tabela 7.2, Figura 7.4).

As áreas não vegetadas abrangem áreas classificadas como área urbana, mineração, áreas não vegetadas e demais áreas não vegetadas do MAPBIOMAS, totalizando cerca de 0,87 Mha.

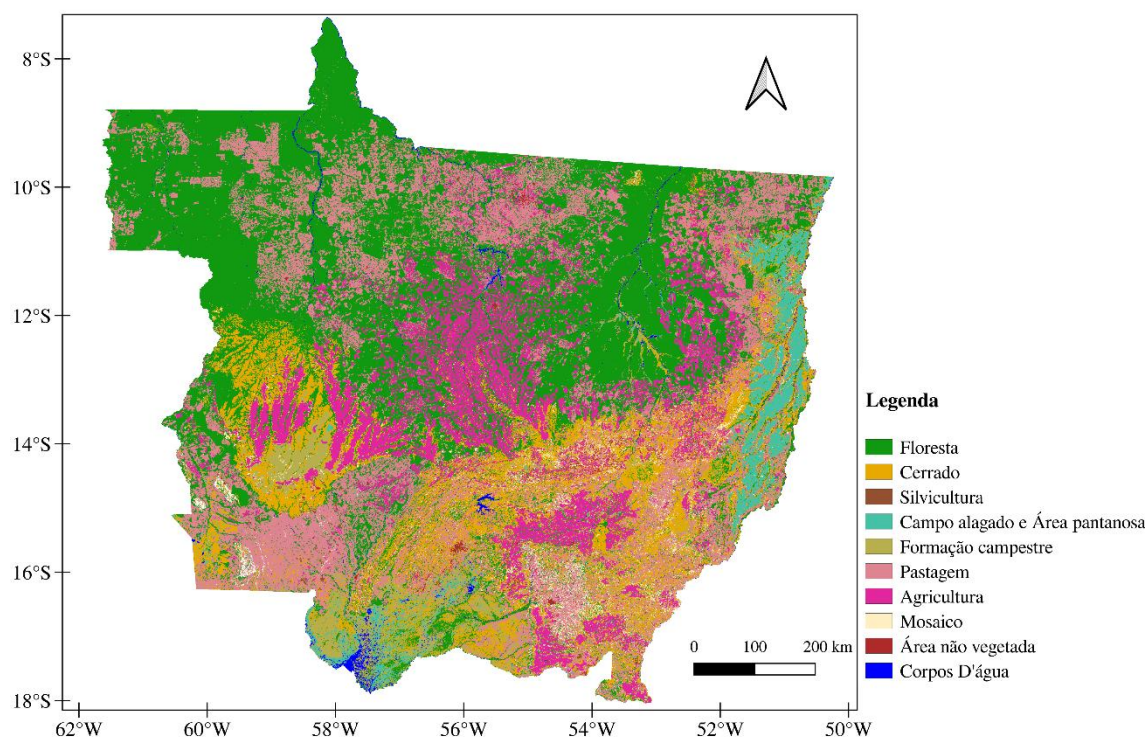


Figura 7.4 - Distribuição dos usos e coberturas do solo no estado de Mato Grosso.

Tabela 7.2 - Áreas das classes de uso do solo para o estado de Mato Grosso

Classes	Área (ha)
Floresta	35.570.503
Cerrado	12.039.323
Silvicultura	152.995
Campo alagado e área pantanosa	3.306.823
Formação campestre	3.086.385
Pastagem	20.911.438
Agricultura	11.777.045
Mosaico	1.871.593
Área não vegetada	871.499
Corpos D'água	711.646

O polo de irrigação do Médio Norte possui a maior parte do seu território coberto com floresta (~6,59 Mha), agricultura (~4,25 Mha) e pastagem (~1,13 Mha). Há também no polo, cerrado (~0,33 Mha), mosaico de usos (~0,059 Mha), corpos d'água (~0,046 Mha) e

área não vegetada (~0,044 Mha). Os usos com menores áreas são: formação campestre (~0,032 Mha), campo alagado e área pantanosa (~0,024 Mha) e silvicultura (~0,013 Mha) (Tabela 7.2).

No polo do Rio das Mortes há a predominância de cerrado (~1,65 Mha), pastagem (~1,58 Mha) e agricultura (~1,16 Mha). A classe de mosaico de usos apresenta uma área de cerca de 0,31 Mha. A classe de floresta e a classe de campo alagados e área pantanosa correspondem a cerca de 0,613 Mha e 0,652 Mha, respectivamente. As áreas não vegetadas e corpos d'água equivalem a cerca de 0,067 Mha e 0,027 Mha. Os usos com menores áreas no polo do Rio das Mortes são: formação campestre (~0,043 Mha) e silvicultura (~0,012 Mha) (Tabela 7.3).

A distribuição espacial desses usos para os polos do Médio Norte e Rio das Mortes é demonstrado na Figura 7.5.

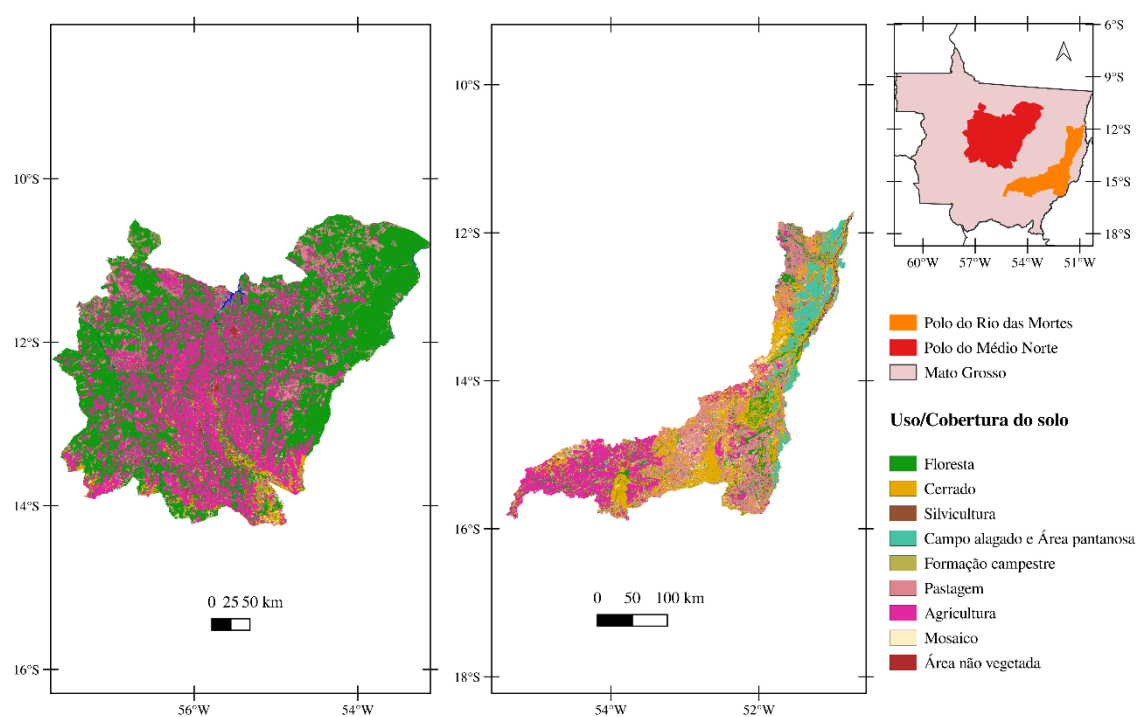


Figura 7.5 - Distribuição dos usos e coberturas do solo para os polos do Médio Norte e Rio das Mortes.

Tabela 7.3 - Áreas das classes de uso do solo para os polos de irrigação do Rio das Mortes e do Médio Norte.

Classes	Área (ha)	
	Rio das Mortes	Médio Norte
Floresta	613.562	6.593.275
Cerrado	1.650.838	327.100
Silvicultura	12.655	13.199
Campo alagado e área pantanosa	652.142	24.744
Formação campestre	43.547	32.140
Pastagem	1.580.620	1.126.251
Agricultura	1.155.089	4.246.330
Mosaico	313.344	59.726
Área não vegetada	67.451	44.103
Corpos D'água	27.097	46.328

7.3 IDENTIFICAÇÃO DE ZONAS COM POTENCIAL PARA AUMENTO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA

A execução desta etapa está condicionada à conclusão das metas 4 e 5, pois os dados e diagnósticos gerados por essas metas são essenciais para subsidiar a identificação das zonas com maior potencial de ampliação da disponibilidade hídrica.

7.4 MELHORIA DA EFICIÊNCIA DAS ÁREAS IRRIGADAS

A realização desta etapa depende diretamente da finalização das metas 4 e 5, visto que os resultados obtidos nelas fornecerão os parâmetros técnicos necessários para orientar as ações de melhoria da eficiência nas áreas irrigadas.

7.5 GARANTIA DOS USOS MÚLTIPLOS DAS BACIAS

Em andamento, com atividades em desenvolvimento de acordo com as condições operacionais atuais. As ações estão sendo conduzidas com acompanhamento técnico, prevendo sua finalização conforme o planejamento em curso.

8 META 8 - SISTEMA DE VISUALIZAÇÃO ONLINE PARA INTELIGÊNCIA HÍDRICA

8.1 LEVANTAMENTO DE DADOS GEOESPACIAIS DA REGIÃO DO ESTUDO

8.1.1 Introdução

No contexto da Meta 8, etapa 1, a equipe técnica de tecnologia de geoinformação IMAFIR, direcionou seus esforços para o desenvolvimento e implementação de uma infraestrutura de banco de dados geoespacial avançada. Esta infraestrutura foi projetada para integrar e gerenciar, de forma eficaz, os dados fornecidos por diversas instituições em níveis federal, estadual e municipal. Também estão contextualizadas neste trabalho os dados pertinentes ao cadastramento físico, ambiental e fundiário, com ênfase particular no setor de irrigação do estado de Mato Grosso.

A implementação dessa infraestrutura visa possibilitar o armazenamento, a consulta e a análise de grandes volumes de dados, assegurando a interoperabilidade entre as diferentes fontes de informação. A infraestrutura de banco de dados é estruturada para abrigar dados complexos, abrangendo desde o mapeamento cadastral até informações detalhadas sobre características ambientais e fundiárias, necessárias para uma gestão integrada e sustentável dos recursos naturais.

Paralelamente, está apto para os futuros levantamentos abrangentes de dados geoespaciais na área de estudo, utilizando tecnologias de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG). Estes levantamentos incluirão a coleta de informações climáticas, mapeamento da área irrigada, medições de vazão de sistemas de irrigação, monitoramento da vazão dos rios, análise potenciométrica das águas subterrâneas, além de dados sobre o uso e ocupação do solo. Esses dados são fundamentais para a modelagem hidrológica e para a avaliação da sustentabilidade dos recursos hídricos na região.

Por fim, a integração desses dados na infraestrutura de banco de dados geoespacial proporcionará uma base sólida para a tomada de decisões estratégicas, permitindo a análise integrada dos aspectos físicos, ambientais e fundiários. A disponibilidade e acessibilidade desses dados são cruciais para o planejamento eficiente do setor de irrigação, garantindo a gestão adequada dos recursos hídricos e contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região.

8.1.2 Atividades realizadas e resultados totais e parciais

No contexto desta etapa são assim discriminados os dados em relação às equipes técnicas da UFV e do IMAFIR:

8.1.2.1 Levantamento de dados geoespaciais da região do estudo - meta 8 - Equipe IMAFIR;

8.1.2.1.1 [Uso do solo](#) - meta 8 etapa 1 - Equipe IMAFIR - MapBiomass v9;

8.1.2.2 [Dados de pivôs centrais](#) - meta 3 - Equipe UFV - Prof. Marcos Heil Costa;

8.1.2.3 [Dados de área irrigada](#) - meta 9 etapa 1 - Equipes UFV - Prof. Marcos Heil Costa e IMAFIR respectivamente;

8.1.2.4 [Dados de vazão de irrigação](#) - Meta 9 etapas 1 e 2 - Equipe UFV - Prof. Everardo Mantovani;

8.1.2.5 [Vazão de rios](#) - Equipe UFV - meta 4 - Prof. Michel e Prof. Ricardo;

8.1.2.6 [Potenciometria de águas subterrâneas](#) - Equipe UFRJ/UFV - meta 5 - Prof. Gerson e Prof. Eduardo;

8.1.2.7 [Uso do solo](#) - Equipe UFV - meta 7 - Prof. [Marcos Heil Costa](#) - MapBiomass v8;

8.1.2.8 [Outros dados relevantes Equipe IMAFIR](#) - GeoPortal SEMA.

Por se tratar de dados digitais, os quais oferecem uma série de vantagens em termos de acessibilidade, fiscalização e transparência, a apresentação dos mesmos será realizada através do Google Drive. Essa plataforma, localizada na Workspace do IMAFIR, permite que todos os interessados acessem o conteúdo de maneira simples e eficiente. Para isso, foi disponibilizado o link: Google Drive, que garante a disseminação dos dados de forma segura e controlada, mantendo a integridade e a confidencialidade das informações.

É importante esclarecer algumas questões relacionadas aos dados apresentados neste relatório, especialmente no que tange à cronologia em que estão inseridos. A organização cronológica dos dados foi realizada com o objetivo específico de comprovar sua existência ao longo do tempo. Essa disposição temporal não implica em uma sequência definitiva dos eventos, mas sim em um registro documental que respalde a trajetória e a evolução do projeto em questão.

Os dados apresentados desempenham um papel ativo no desenvolvimento do projeto, sendo fundamentais para sua homogeneização e para a interação com outras fontes de informação. Esse processo de integração é crucial, pois eleva o status dos dados para o nível

de informação consolidada, tornando-os mais úteis e relevantes para as análises subsequentes. No entanto, devido à natureza dinâmica desse processo, é importante destacar que os dados estão sujeitos a revisões e atualizações conforme o projeto avança e novas informações são incorporadas.

Além disso, a escolha por utilizar uma plataforma como o Google Drive reflete a necessidade de uma gestão eficiente e colaborativa dos dados. A capacidade de compartilhar documentos em tempo real, associada à possibilidade de controlar o acesso de usuários específicos, assegura que todas as partes envolvidas no projeto possam contribuir e acompanhar o progresso de forma transparente. Essa abordagem não apenas facilita a fiscalização e o monitoramento dos dados, mas também fortalece a confiança entre os stakeholders, ao garantir que as informações sejam precisas e estejam sempre atualizadas.

Por fim, é relevante destacar que, devido à possibilidade de alterações nos dados, todos os usuários e interessados devem estar cientes de que as informações disponíveis no Google Drive representam o estado atual do conhecimento e podem sofrer modificações à medida que o projeto evolui. A documentação digital e sua disposição cronológica visam assegurar que todas as mudanças sejam rastreadas e documentadas, oferecendo assim um histórico completo e transparente de todo o processo.

No caso específico da meta 4, item 2.5 os dados de vazão deverão ser apresentados no final do projeto uma vez que devem ter a regionalização e os resultados preliminares de monitoramento como elementos fundamentais na sua determinação, entretanto, os componentes necessários referentes aos dados coletados estão relacionados neste relatório.

8.2 PADRONIZAÇÃO DOS DADOS E ELABORAÇÃO DE METADADOS

8.2.1 Introdução

O desenvolvimento e implementação de sistemas robustos de gestão de recursos hídricos demandam uma abordagem metódica na coleta, armazenamento e análise de dados. A Meta 8, Etapa 2, insere-se nesse contexto, focando na estruturação de um ambiente de metadados que permita a interoperabilidade e a integridade das informações coletadas em campo. Este processo é fundamental para garantir que todas as feições geoespaciais sejam adequadamente documentadas, facilitando a rastreabilidade e a conformidade com as normas técnicas vigentes.

O uso de metadados, especialmente em projetos de larga escala, como o gerenciamento de recursos hídricos, assegura a qualidade e a consistência das informações

ao longo do ciclo de vida dos dados. A criação de um repositório centralizado de metadados é uma etapa crucial para a padronização dos processos de coleta e armazenamento, permitindo que os dados sejam facilmente acessíveis e utilizáveis por diferentes stakeholders, desde pesquisadores até gestores públicos.

Nesta etapa, foram delineados processos técnicos específicos para a implantação de um sistema de metadados, incluindo a seleção e instalação de software especializado, a parametrização das estruturas de dados e o desenvolvimento de protocolos para a integração de dados em tempo real. Estas ações são parte integrante de uma estratégia mais ampla de modernização e digitalização do gerenciamento de recursos hídricos, que visa à sustentabilidade e à eficiência na tomada de decisões.

8.2.2 Atividades realizadas e resultados parciais

No decorrer deste período, uma das atividades centrais foi a análise comparativa e a subsequente seleção de um software de gestão de metadados, o GeoNode. Esse software foi escolhido por sua capacidade de suportar a catalogação eficiente de grandes volumes de dados geoespaciais, garantindo a conformidade com padrões internacionais como ISO 19115 e FGDC. O GeoNode oferece um ambiente integrado que facilita a documentação, pesquisa e disseminação de metadados, permitindo que as feições geográficas sejam associadas a descrições detalhadas, garantindo a rastreabilidade e reutilização dos dados em diferentes contextos.

A instalação do GeoNode foi conduzida em um ambiente controlado, focando na parametrização dos elementos de sistema, como esquemas de metadados, perfis de usuários e políticas de segurança. Durante essa fase, o sistema foi configurado para oferecer suporte à indexação avançada de metadados, permitindo que as consultas sejam realizadas de forma eficiente, mesmo em bancos de dados de grande escala. Além disso, foram implementados mecanismos de controle de versão, assegurando que qualquer modificação nos metadados seja registrada e rastreável, promovendo a transparência e a integridade dos dados.

Além dos aspectos técnicos, o GeoNode também foi configurado para integrar-se com sistemas de informações geográficas (SIG) existentes, permitindo a visualização e análise espacial dos dados diretamente a partir da interface de metadados. Isso amplia a utilidade do sistema, transformando-o em uma ferramenta não apenas de catalogação, mas também de suporte à decisão, ao permitir a visualização geoespacial em tempo real.

8.2.3 Próximas atividades a serem desenvolvidas

A próxima fase do projeto inclui o desenvolvimento de um plano de capacitação para os usuários do sistema, com foco na utilização das principais funcionalidades do GeoNode. Os treinamentos programados abordarão desde a criação e edição de metadados até a execução de consultas avançadas e a geração de relatórios detalhados. A capacitação será crucial para garantir que todos os usuários adquiram a expertise necessária para operar o sistema de forma eficiente, maximizando os benefícios da nova solução implementada.

Por fim, será realizada uma migração inicial dos metadados de feições já coletadas para o novo sistema, o que permitirá que o GeoNode esteja plenamente funcional desde o início de sua operação. Este processo de migração incluirá a verificação e validação dos dados, assegurando que não haja perda ou distorção das informações durante a transição. A implementação de rotinas automatizadas para a importação de dados também será considerada, visando a minimizar os riscos associados à migração manual e garantir a continuidade operacional.

Essas etapas são fundamentais para assegurar que o sistema de gestão de metadados se torne uma ferramenta central no gerenciamento dos recursos hídricos, oferecendo uma base sólida e confiável para as futuras iniciativas de monitoramento e planejamento.

8.3 DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA PARA COMPARTILHAMENTO DE DADOS GEOESPACIAIS

8.3.1 Introdução

A Meta 8 do projeto de inteligência para gestão de recursos hídricos tem como objetivo central o desenvolvimento de uma plataforma tecnológica que permita o compartilhamento eficiente de dados geoespaciais (Figura 8.1). Este sistema é essencial para integrar as diversas fontes de dados utilizadas na gestão hídrica, facilitando o acesso a informações críticas para a tomada de decisões em tempo real. A plataforma visa não apenas a centralização dos dados, mas também a disponibilização de ferramentas analíticas avançadas que possibilitem uma visualização clara e detalhada dos fenômenos hídricos.

A escolha das tecnologias a serem empregadas nesta plataforma é de suma importância. O sistema precisa suportar grandes volumes de dados, oriundos de diferentes fontes, como satélites, estações meteorológicas e sensores in situ. Além disso, a plataforma deve garantir a interoperabilidade com outros sistemas já existentes, respeitando padrões

internacionais como os estabelecidos pelo Open Geospatial Consortium (OGC). Essa compatibilidade é vital para assegurar que os dados possam ser trocados e utilizados em uma ampla gama de aplicações, promovendo a colaboração entre diferentes entidades e setores.

Por fim, a plataforma desempenhará um papel fundamental nas fases subsequentes do projeto, servindo de base para o desenvolvimento de ferramentas mais complexas, como modelos preditivos e análises de cenários futuros. A eficácia e a robustez dessa plataforma determinarão, em grande parte, o sucesso das metas mais ambiciosas do projeto de inteligência para a gestão de recursos hídricos.



Figura 8.1 - Sistema de Informações Hídricas Unificado de Bacias (SIHUB) e SPIMRH - Sistema Piloto de Monitoramento de Recursos Hídricos.

8.3.2 Atividades realizadas e resultados parciais

Durante a Etapa 3 da Meta 8, o foco principal está sendo o desenvolvimento inicial da plataforma de software. A primeira atividade envolveu a especificação detalhada dos requisitos do sistema, tanto funcionais quanto não funcionais. Estão sendo definidas as

categorias de dados a serem manipulados, como dados raster, vetoriais e séries temporais, bem como a necessidade de integrar esses dados com serviços externos, incluindo APIs para dados meteorológicos e hidrológicos.

Após a definição dos requisitos, foi realizada a seleção das ferramentas e tecnologias a serem utilizadas. O PostgreSQL/PostGIS foi escolhido como o sistema de banco de dados principal devido à sua robustez no gerenciamento de dados espaciais. Além disso, foram configurados ambientes de desenvolvimento e integração contínua, garantindo que a equipe pudesse iterar rapidamente sobre o código e testar novas funcionalidades em um ambiente controlado.

O desenvolvimento inicial da plataforma começou com a implementação dos módulos básicos de manipulação de dados geoespaciais. Isso incluiu a criação de APIs para ingestão e processamento de dados, bem como a implementação de algoritmos de geoprocessamento para tarefas como interpolação espacial e análise de redes de drenagem. Essas funcionalidades são essenciais para garantir que os dados sejam processados corretamente antes de serem visualizados ou compartilhados.

8.3.3 Próximas atividades a serem desenvolvidas

As próximas etapas do desenvolvimento da plataforma serão focadas na construção de ferramentas de visualização de mapas e séries temporais. Estas ferramentas são componentes críticos da plataforma, pois permitirão que os usuários explorem e analisem os dados de forma intuitiva e visual. A implementação dessas funcionalidades exigirá uma profunda integração entre o frontend e o backend, utilizando bibliotecas especializadas em visualização geoespacial, como Leaflet ou OpenLayers.

Outro ponto essencial será o desenvolvimento do backend, com ênfase na criação de uma infraestrutura de armazenamento eficiente, escalável e de alta disponibilidade. Utilizando tecnologias de contêineres e microserviços, o sistema será modular, facilitando atualizações e expansões futuras, de acordo com a evolução das demandas. Essa arquitetura assegura que os dados estejam sempre acessíveis e protegidos, mantendo a integridade e a continuidade do serviço.

Também será integrada uma camada de autenticação e controle de acesso, garantindo que apenas usuários autorizados possam visualizar e manipular os dados. Isso é especialmente relevante no contexto da gestão de recursos hídricos, onde frequentemente

são tratadas informações sensíveis. A segurança e a privacidade das informações serão prioridades desde a concepção da plataforma.

Paralelamente, será necessário avançar nas funcionalidades de análise de séries temporais, permitindo a detecção de tendências, identificação de anomalias e previsão de eventos hidrológicos. A aplicação de algoritmos de machine learning e métodos estatísticos será fundamental para gerar insights valiosos a partir dos dados históricos e em tempo real. Essa etapa incluirá ainda a integração de mecanismos de alerta, que poderão notificar os usuários sobre condições críticas, como enchentes ou secas iminentes.

Além disso, será implementada uma ferramenta para download dos resultados apresentados na plataforma. Essa funcionalidade permitirá a exportação de dados geoespaciais e análises em formatos padronizados, facilitando a interoperabilidade com outros sistemas e softwares. A ferramenta será desenvolvida com foco em acessibilidade e usabilidade, garantindo que usuários com diferentes níveis de familiaridade técnica possam utilizá-la com eficiência.

Complementando o desenvolvimento, foi realizada uma análise detalhada das possíveis integrações com sistemas de monitoramento ambiental já existentes, como estações hidrometeorológicas e sensores remotos. Essa análise envolveu a identificação de protocolos de comunicação compatíveis e a definição de metodologias para a ingestão contínua de dados em tempo real, o que permitirá à plataforma fornecer informações sempre atualizadas.

Também foi conduzida uma prova de conceito (PoC) para testar a escalabilidade do sistema em cenários de alta carga. Utilizando dados históricos de grandes bacias hidrográficas, o sistema foi submetido a testes de estresse que demonstraram a eficácia da arquitetura modular e das tecnologias adotadas para garantir desempenho sob condições extremas.

Por fim, foram realizados workshops com stakeholders para validação dos protótipos e refinamento dos requisitos com base no feedback recebido. Essa interação foi essencial para garantir que as funcionalidades desenvolvidas estejam alinhadas às necessidades reais dos usuários finais — desde gestores públicos até técnicos de campo —, assegurando que a plataforma contribua efetivamente para a gestão eficiente dos recursos hídricos.

8.4 TESTES E VALIDAÇÃO DA PLATAFORMA

8.4.1 Introdução

Considerando o contexto de expansão da irrigação no estado do Mato Grosso e a variabilidade climática, é importante formular um diagnóstico da situação hídrica nessas regiões.

8.4.2 Atividades realizadas e resultados parciais

Nesta atividade foram utilizados produtos de dois sensores: MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, a bordo dos satélites Terra e Aqua) e VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite, a bordo do satélite Suomi-NPP).

8.4.3 Próximas atividades a serem desenvolvidas

As próximas atividades a serem desenvolvidas nesta etapa envolvem: (i) o download e processamento dos dados de sensoriamento remoto da precipitação nos pivôs, e (ii) o cálculo da demanda de irrigação.

8.5 DISPONIBILIZAÇÃO DA PLATAFORMA PARA O PÚBLICO

Em andamento, com atividades em desenvolvimento de acordo com as condições operacionais atuais. As ações estão sendo conduzidas com acompanhamento técnico, prevendo sua finalização conforme o planejamento em curso.

9 META 9 - IRRIGAÇÃO E AGRICULTURA IRRIGADA

9.1 IDENTIFICAR AS ÁREAS IRRIGADAS E SEUS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

9.1.1 Introdução

A agricultura irrigada desempenha um papel fundamental na segurança alimentar global, permitindo o cultivo de culturas em regiões com escassez hídrica ou em períodos de estiagem prolongada. Os sistemas de irrigação, que variam desde métodos tradicionais, como a irrigação por superfície, até tecnologias modernas, como a irrigação por pivô central e gotejamento, são essenciais para aumentar a produtividade agrícola (LI *et al.*, 2020), promovendo não apenas o fornecimento de alimentos, mas também o desenvolvimento econômico (ALI *et al.*, 2020). No entanto, a expansão da agricultura irrigada deve ser realizada de forma consciente, respeitando tanto os aspectos sociais quanto ambientais (SALMORAL *et al.*, 2020). Uma das etapas essenciais para isso é identificar a quantidade de áreas irrigadas em uma região, bem como os sistemas implementados. A identificação de áreas irrigadas em regiões extensas, como o estado de Mato Grosso, é viável com o suporte do sensoriamento remoto, utilizando tanto análises quantitativas quanto qualitativas. Essa tecnologia utiliza dados de satélites para mapear a distribuição e o uso da irrigação, permitindo identificar os sistemas de irrigação mais proeminentes, como os pivôs centrais. Os pivôs são equipamentos fáceis de visualizar em imagens de satélite, pois ocupam grandes áreas e têm formato circular que é facilmente identificado. Por outro lado, sistemas de gotejamento e aspersão são mais difíceis de monitorar, tanto pelo fato de ocuparem áreas menores quanto por não apresentarem um formato geométrico tão visível nas imagens de satélite.

Com base nisso, este estudo objetivou identificar as áreas irrigadas no Polo do Rio das Mortes e no Polo Médio Norte.

9.1.2 Atividades realizadas e resultados

9.1.2.1 Mapeamento da área ocupada por pivôs centrais

O mapeamento das áreas instaladas com pivôs centrais para o período 2001-2022 foi feito por procedimento de digitalização a partir das imagens dos satélites Landsat 5, 7 e 8 devidamente corrigidas dos efeitos da atmosfera e nuvens. Inicialmente as imagens utilizadas foram selecionadas dentro da plataforma Google Earth Engine, recortadas para a

região e o período de interesse. Para o mapeamento anual, a imagem de referência foi escolhida durante o período seco do ano (que compreende de abril a setembro) para a obtenção de melhores imagens sem contaminação de nuvens. O mapeamento dos pivôs foi realizado na plataforma SIG do QGIS de maneira visual, com o reconhecimento das feições em composição RGB (Vermelho – Verde – Azul).

O mapeamento realizado nesta etapa mostrou que em 2022, o estado possuía cerca de 177.000 ha ocupados por pivôs centrais, representando um total de 1387 pivôs. O crescimento da área foi expressivo no polo de Irrigação do Médio Norte de Mato, formado por dezenove municípios da região do Alto Teles Pires, e na bacia do Rio das Mortes (Figura 9.1, Tabela 9.1).

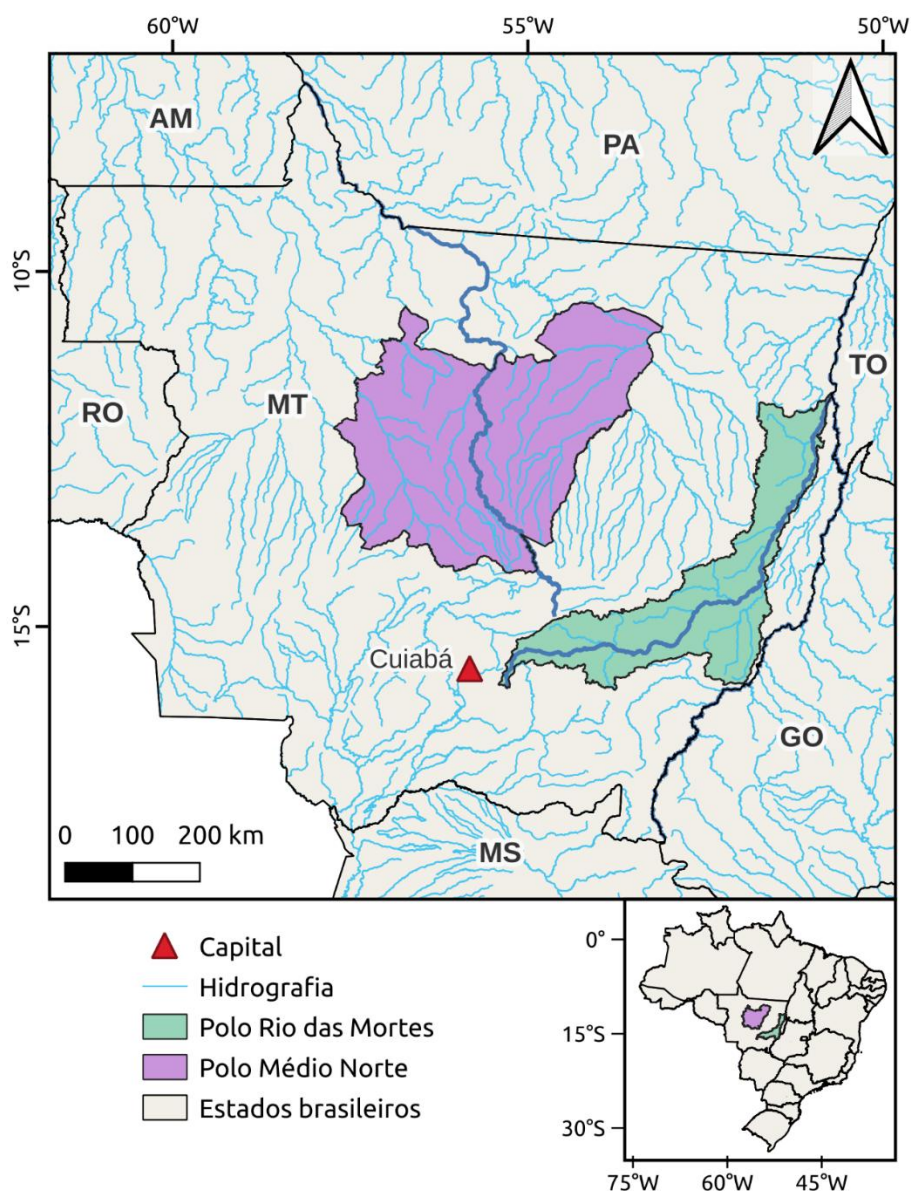


Figura 9.1 - Localização do estado do Mato Grosso e dos principais polos irrigantes do estado, Médio Norte (em lilás) e Rio das Mortes (em verde).

Tabela 9.1 - Evolução da área ocupada por pivôs centrais entre os anos de 2001 e 2022 no estado do Mato Grosso e para os polos de irrigação do Médio Norte e bacia do Rio das Mortes (em 1000 ha).

Anos	Polo Médio Norte	Rio das Mortes	Mato Grosso
2001	3,4	8,6	19,3
2002	4,3	16,6	29,0
2003	6,1	17,1	31,0
2004	11,5	18,8	38,1
2005	12,3	18,4	42,2
2006	12,5	18,1	42,6
2007	12,8	18,5	43,0
2008	13,4	19,8	45,0
2009	13,4	21,0	46,2
2010	13,5	22,5	48,1
2011	14,4	23,0	49,8
2012	17,8	23,8	54,2
2013	26,4	27,5	67,0
2014	32,1	34,1	80,9
2015	38,5	35,7	89,9
2016	44,3	40,6	100,5
2017	51,5	42,4	111,1
2018	58,8	47,1	125,1
2019	70,8	47,1	139,8
2020	81,9	47,4	152,9
2021	90,0	49,8	165,8
2022	97,5	50,0	177,3

A partir da Tabela 9.1 e da Figura 9.2, nota-se um crescimento expressivo da área irrigada por pivô central no Polo Médio Norte. De 2001 a 2022, esse crescimento foi de 2.767,65%, sendo que de 2001 a 2012 o aumento foi de 423,53% e de 2012 a 2022, 447,65%.

No caso do Rio das Mortes, o crescimento, comparado ao Polo Médio Norte, foi mais discreto. De 2001 a 2022, houve um aumento de 481,40%, com o crescimento mais intenso ocorrendo entre 2001 e 2012, com 176,4%, mas que reduziu entre 2012 e 2022, com um crescimento de 110,08%.

Para o estado, nota-se que de 2001 a 2022 o crescimento foi na ordem de 818,13%, sendo que entre 2001 e 2012 o aumento foi de 180,83%, e entre 2012 e 2022 esses valores saltaram para 227,59%.

Dessa forma, observa-se que tanto o Polo Médio Norte quanto o estado de Mato Grosso tiveram um crescimento acelerado após 2012, o que não foi observado no Rio das Mortes.

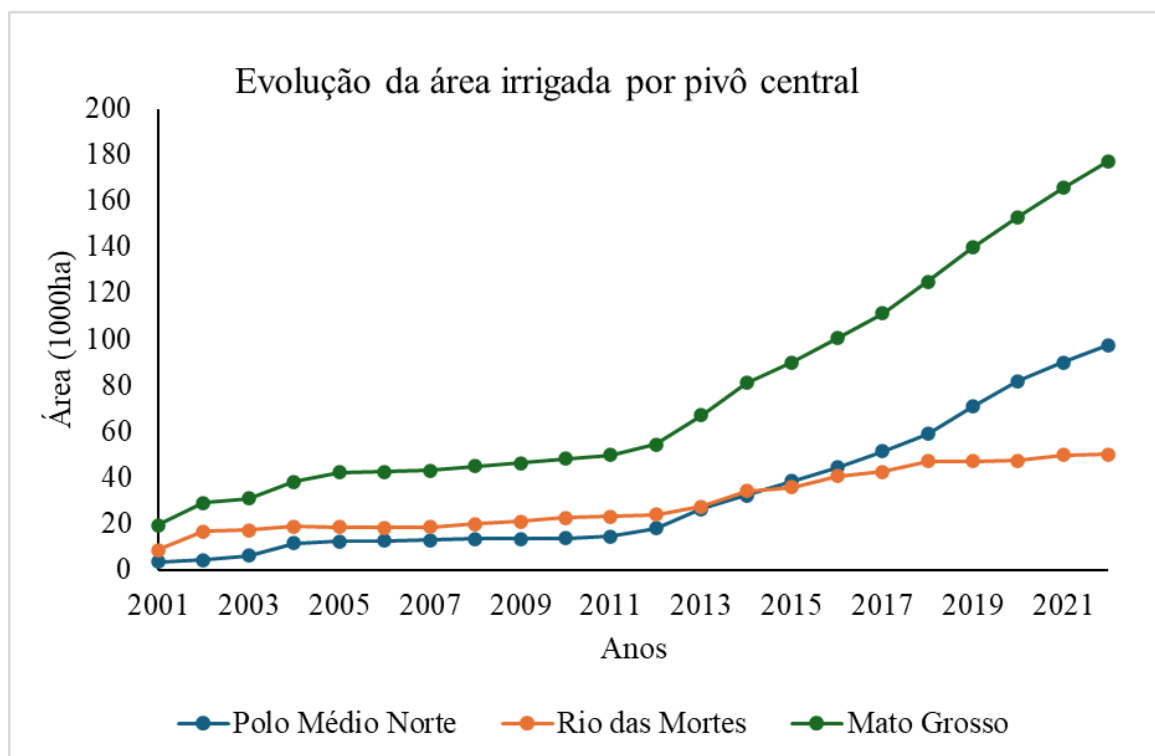


Figura 9.2 - Evolução das áreas ocupadas com pivô centrais entre 2001-2022

9.1.2.2 Mapeamento da área ocupada por outros sistemas

O estudo para identificar áreas que não são irrigadas por pivôs centrais ainda não foi finalizado devido a alguns desafios técnicos e práticos. A identificação dessas áreas é mais complexa, pois elas não possuem uma geometria tão definida quanto os pivôs, o que dificulta sua detecção precisa por meio de técnicas de sensoriamento remoto. Além disso, uma análise qualitativa sugere que essas áreas representam uma parcela menor das atividades agrícolas do estado, sendo de menor relevância. Contudo, com mais esforço intelectual e abordagens mais robustas de inteligência artificial integradas ao sensoriamento remoto, essas áreas poderão ser identificadas

9.2 AVALIAR A QUALIDADE, MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

9.2.1 Introdução

A demanda crescente por eficiência nos sistemas agrícolas é impulsionada por desafios globais significativos. Estima-se que, até 2050, o aumento populacional elevará a necessidade de produção alimentar em 50% (FAO *et al.*, 2022). Essa exigência deve ser atendida em um cenário de mudanças climáticas que predizem condições extremas e incertas, aumentando os riscos de insegurança alimentar (ABRAHÃO & COSTA, 2018; IPCC, 2022). Adicionalmente, espera-se que a maior parte do aumento da produção agrícola ocorra em áreas já cultivadas, destacando a necessidade de maximizar a eficiência no uso dos recursos disponíveis (FAO, 2020).

A agricultura irrigada emerge como uma estratégia crucial para enfrentar essas incertezas, proporcionando não apenas a redução do impacto da sazonalidade climática, mas também aumentando a produtividade das culturas e melhorando a qualidade dos produtos agrícolas (BERNARDO *et al.*, 2019; HAMIDOV & HELMING, 2020). No Brasil, a irrigação é praticada em cerca de 8 milhões de hectares, um número pequeno se comparado ao potencial estimado de 63 milhões de hectares (ANA, 2021; EMBRAPA, 2017).

Este trabalho foca nos Polos de Irrigação do Alto Rio das Mortes e do Alto Teles Pires, que se destacam como os principais polos de irrigação do Mato Grosso, abrangendo uma área significativa com sistemas predominantemente de pivô central (ANA, 2021). As regiões, caracterizadas por sua diversidade de cultivos e intensa atividade agrícola (IBGE, 2023), enfrentam desafios complexos relacionados ao manejo da água e da energia necessários para a irrigação.

O objetivo deste estudo é avaliar a qualidade, manutenção e operação dos sistemas de irrigação nos Polos de Irrigação do Mato Grosso, com foco na uniformidade de distribuição de água, nas condições de pressurização dos equipamentos e na qualidade do sistema de movimentação. Esta avaliação é essencial para direcionar a implementação de práticas de manejo mais sustentáveis e eficientes, que possam contribuir significativamente para a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental das regiões.

9.2.2 Métodos

9.2.2.1 Área de Estudo

Este trabalho apresenta os estudos realizados em duas regiões distintas do estado do Mato Grosso, Brasil: o Polo de Irrigação do Alto Rio das Mortes (ARM) e o Polo de Irrigação do Alto Teles Pires (ATP). Ambas as regiões são cruciais para a agricultura irrigada no estado, utilizando sistemas de pivô central para maximizar a eficiência hídrica e a produtividade agrícola.

De acordo com a classificação climática de Köppen definida para o território brasileiro (ALVARES *et al.*, 2013), o ARM possui a classificação de Aw – tropical com inverno seco, enquanto o ATP possui classificações Aw e Am – tropical de monções. Essas condições climáticas são cruciais para compreender as práticas agrícolas locais.

Nas duas regiões, o solo dominante é o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico de textura média (IBGE, 2001), que é altamente propício para a agricultura irrigada, favorecendo o cultivo intensivo.

Atualmente, ARM e ATP possuem cerca de 72.292 e 63.573 hectares irrigados, respectivamente, com um potencial de expansão efetivo para até 384.642 e 703.497 hectares (ANA, 2021). Em ambas as regiões, a prática de múltiplas safras anuais nas áreas irrigadas é predominante em mais de 90% dos pivôs centrais, permitindo uma produção contínua ao longo do ano, o que destaca a eficiência e a importância da irrigação nessas regiões (ANA, 2023).

A Figura 9.3 ilustra a geolocalização das regiões estudadas e a disposição dos equipamentos de irrigação por pivô central, incluindo os pivôs que foram objeto de avaliações em testes de campo. As partes (a) e (b) destacam uma visão geral dos polos de irrigação ATP e ARM, bem como a localização dos pivôs centrais das regiões e os avaliados neste estudo. A parte (c) detalha a área do estado do Mato Grosso, bem como as delimitações de regiões e fases do projeto.

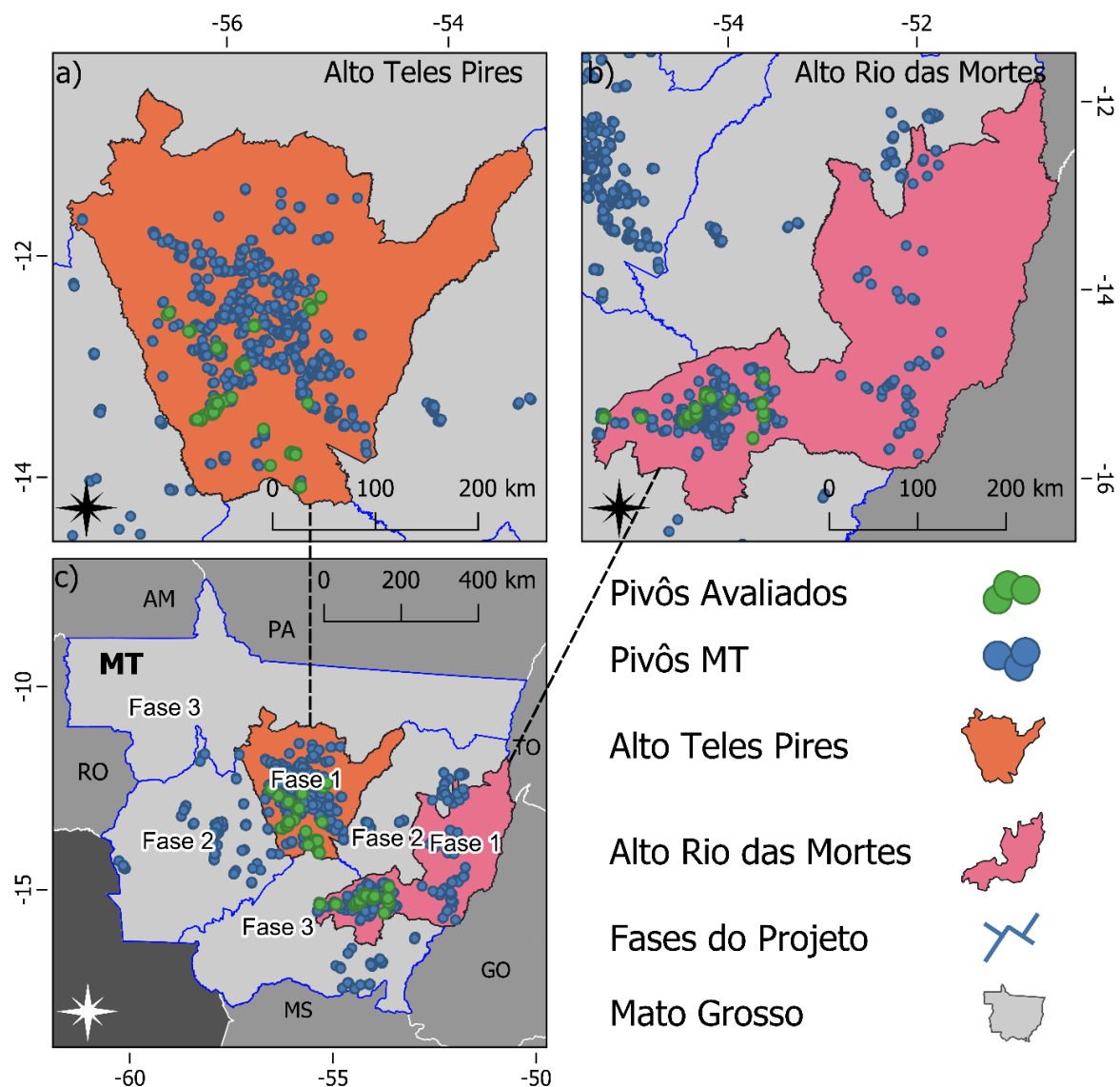


Figura 9.3 - Distribuição dos pivôs de irrigação no estado do Mato Grosso, Brasil. (a e b) Visão geral dos pivôs de irrigação no Polo de Irrigação do Alto Teles Pires (ATP) e Alto Rio das Morte (ARM), respectivamente. Cada ponto azul representa a localização de um pivô das regiões e cada ponto verde representa um pivô avaliado. (c) Visão geral do estado do Mato Grosso, destacando as regiões dos polos de irrigação e as fases do projeto.

9.2.2.2 Uniformidade de Distribuição de Água

No ARM e no ATP os testes de campo foram realizados para a avaliação dos equipamentos de irrigação (pivôs centrais) com o objetivo de determinar a uniformidade de distribuição de água. Durante este período, 40 equipamentos que pertencem à delimitação do ARM e outros 3 equipamentos nas proximidades, pertencentes a 16 fazendas, foram

avaliados. A performance da uniformidade de distribuição de água foi quantificada pelo coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) (BERNARDO *et al.*, 2019; CHRISTIANSEN, 1942; HEERMANN & HEIN, 1968) obtido pela lâmina coletada por coletores durante uma irrigação e lâmina estimada pela carta de aspersão do fabricante de cada equipamento.

O teste de campo consistiu na disposição de uma fileira de coletores, em linha reta, partindo do centro do equipamento em direção ao ponto mais alto da área para coletar a lâmina de irrigação após a passagem do equipamento. O espaçamento adotado entre os coletores variou entre 10 e 20 metros. O espaçamento do primeiro coletor até o centro do pivô central foi padronizado em 10 metros. A partir dos dados de lâmina coletada e distância do coletor ao centro do pivô central, o CUC foi calculado com base na equação abaixo:

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i \left| X_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right|}{\sum_{i=1}^n X_i S_i} \right]$$

em que, CUC é o coeficiente de uniformidade de Christiansen (BERNARDO *et al.*, 2019; CHRISTIANSEN, 1942; HEERMANN & HEIN, 1968); X_i é a lâmina coletada ou estimada; S_i é a distância do coletor ou emissor ao centro do pivô central.

Tanto no ARM quanto no ATP, os testes para determinar a uniformidade potencial na distribuição de água também foram realizados através da análise da carta de emissores dos pivôs centrais. Esta análise envolve o registro de todos os emissores instalados no equipamento, desde a base até o último emissor. A comparação entre os emissores existentes e suas vazões de catálogo possibilitou estimar a lâmina de água aplicada em cada ponto do equipamento.

Para considerar a sobreposição das lâminas de água dos emissores, foi calculado que a lâmina em cada ponto é composta por 50% da vazão do emissor local e 25% da vazão dos emissores adjacentes (anteriores e posteriores).

Durante a avaliação, foram analisados 94 pivôs centrais distribuídos em 19 fazendas dentro do ATP e todos os 43 pivôs avaliados no ARM, como ilustrado na Figura 9.1. A eficácia da uniformidade de distribuição de água foi quantificada utilizando o coeficiente de uniformidade de Christiansen (BERNARDO *et al.*, 2019; CHRISTIANSEN, 1942; HEERMANN & HEIN, 1968), ajustado para a determinação via carta de emissores do

equipamento (CUCCE). O CUCCE foi calculado com base nas lâminas de água estimadas pela carta de aspersão fornecida pelo fabricante de cada emissor.

Os cálculos foram baseados na seguinte equação, que considera os dados de vazão dos emissores e a distância de cada emissor até o centro do pivô central:

$$CUCCE = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i \left| Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n Y_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right|}{\sum_{i=1}^n Y_i S_i} \right]$$

$$Y_i = \frac{0.5X_i + 0.25X_{i-1} + 0.25X_{i+1}}{A_i}$$

em que, CUCCE representa o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen ajustado pela carta de emissores do equipamento; Y_i é a vazão ponderada do emissor; S_i é a distância do emissor ao centro do pivô central; X_i é a vazão de catálogo do emissor; A_i é a área de irrigação de cada emissor.

9.2.2.3 Pressurização do Sistema

No ATP, a avaliação da conformidade da irrigação também incluiu a avaliação da pressurização do sistema de irrigação, que foi realizada através da medição da pressão em três pontos estratégicos, utilizando manômetros adequados para este propósito. Inicialmente, o pivô foi posicionado apontando para o ponto mais alto do terreno, garantindo a condição crítica da pressurização. Neste estado, a primeira medição de pressão ocorreu no segundo tubo após a última torre de sustentação, diretamente na tubulação pendural dos emissores e antes da válvula reguladora de pressão. Esta localização foi designada como "Pressão na Ponta".

Segue-se a "Pressão na Base", medida no tubo de subida da torre central durante a operação do equipamento com a vazão ainda estabilizada. A terceira medição, "Pressão na Motobomba", foi realizada imediatamente após a motobomba, também durante operação normal do sistema.

A Figura 9.4 ilustra de forma esquemática os pontos exatos de medição, fornecendo uma visualização clara da configuração e localização das medições essenciais para a análise da eficácia da pressurização no sistema de irrigação.

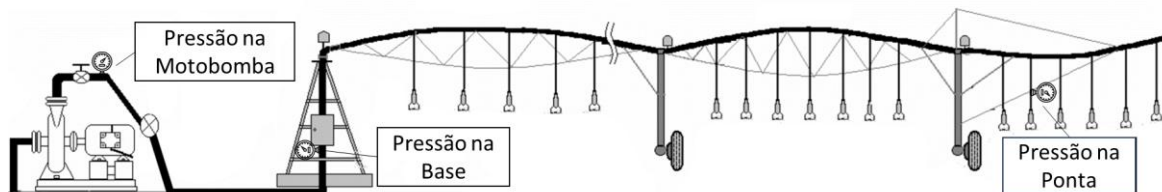


Figura 9.4 - Esquema dos pontos de medição de pressão no sistema de irrigação por pivô central. Pressão na Motobomba: local de medição da pressão imediatamente após a motobomba, indicando a pressão de saída do sistema de bombeamento. Pressão na Base: ponto de medição localizado no tubo de subida da torre central, refletindo a pressão no início do sistema de distribuição de água. Pressão na Ponta: ponto de medição na extremidade do pivô, após o último emissor, antes da válvula reguladora de pressão, mostrando a pressão no ponto final do alcance do sistema.

9.2.2.4 Movimentação do Sistema

A conformidade da irrigação no ATP foi avaliada também considerando a movimentação do sistema de pivô central, através de dois métodos principais: teste de velocidade e verificação da adequação do percentímetro. O teste de velocidade começou com a marcação de três bandeiras, posicionadas a partir de 10 metros da roda dianteira do sistema, espaçadas por 10 metros cada. Após a estabilização da velocidade do equipamento na primeira bandeira, mediu-se o tempo necessário para a roda dianteira alcançar cada bandeira subsequente. A média desses tempos forneceu a base para calcular a velocidade de movimentação do sistema em metros por minuto, representando a velocidade operacional a 100%.

A verificação do percentímetro envolveu testes em diferentes configurações de velocidade (80%, 60%, 40% e 20% da capacidade total), onde a medição precisa do tempo de movimentação e do tempo de parada ofereceu uma análise da velocidade percentual real em comparação com a esperada.

A Figura 9.5 ilustra o esquema de montagem dos testes, mostrando os pontos específicos onde as medições foram realizadas. Este esquema visual ajuda a entender como os testes foram configurados e fornece uma referência clara para a localização das medições e a configuração das bandeiras.

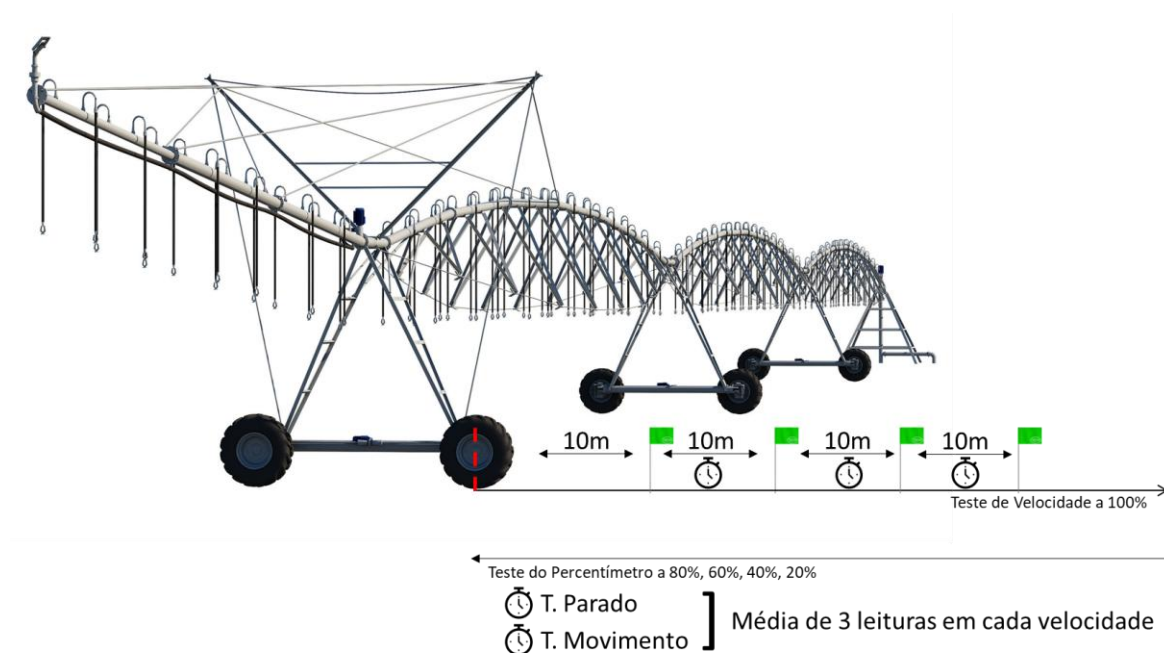


Figura 9.5 - Esquema de montagem para os testes de movimentação do sistema de pivô central. Localização das Bandeiras: as bandeiras estão posicionadas a partir de 10 metros da roda da frente, com um espaçamento de 10 metros entre elas, indicadas por retângulos verdes. Roda com Marcação Vermelha: indica a roda dianteira do sistema, onde inicia a medição da distância.

Sistemas que operam com movimentação contínua foram excluídos, dado que suas características operacionais (controle por inversor de frequência) não se alinham com o método de teste de parada e partida tradicional, não refletindo os resultados da avaliação de movimentação padrão.

9.2.2.5 Análises

A análise de dados realizada abordou várias dimensões críticas do desempenho dos equipamentos de irrigação por pivô central, detalhando desde a caracterização geral dos sistemas até análises específicas de uniformidade, pressurização e movimentação. Inicialmente, identificamos as características gerais dos equipamentos, incluindo a área irrigada média por equipamento e a quantidade de testes executados. A lâmina bruta de água aplicada, medida durante a operação a 100% e em um período contínuo de 21 horas, forneceu resultados sobre a capacidade operacional e a eficiência dos sistemas.

Para a avaliação da uniformidade da aplicação de água, medida pelo CUC e CUCCE, foi considerado o valor de 95% como o limiar inferior para indicar uma boa adequação dos sistemas, bem como as faixas de adequação de CUC indicadas pelas metodologias

disponíveis (BERNARDO *et al.*, 2019; CHRISTIANSEN, 1942; HEERMANN & HEIN, 1968).

Nossa análise das pressões medidas em pontos críticos do sistema (Ponta, Torre e Motobomba) comparou os valores observados com as pressões recomendadas. Estabelecemos que pressões abaixo de 90% da recomendação indicavam inadequação, ajudando a identificar sistemas potencialmente em risco de falha operacional.

Além disso, a movimentação dos sistemas foi rigorosamente testada, e uma variação de até 5% em relação à velocidade esperada foi considerada aceitável. Este rigor nos permite identificar precisamente quais sistemas possuem problemas de movimentação que podem afetar a aplicação uniforme de água.

Complementando estas análises, diagramas de coexistência de problemas foram utilizados para ilustrar visualmente como problemas de distribuição de água, pressurização e movimentação podem se sobrepor, destacando a complexidade do manejo e manutenção destes sistemas.

9.2.3 Resultados e Discussão

9.2.3.1 Características Gerais dos Equipamentos

O ARM possui atualmente 351 equipamentos de irrigação por pivô central, 44.621 hectares irrigados e área média por pivô central de 127 ± 46 hectares. O ATP dispõe de 731 equipamentos de irrigação por pivô central, irrigando uma área total de 96.282 hectares. A área média irrigada por cada pivô é de $131,71 \pm 50,47$ hectares.

No ARM, 43 equipamentos foram selecionados, abrangendo 5.652 hectares, o que representa 12,66% da área irrigada da região, enquanto no ATP, para este estudo, foram selecionados 94 equipamentos, abrangendo 11.003 hectares, o que representa 11,42% da área total irrigada. Esta seleção foi intencional e direcionada por estudos anteriores, visando incluir uma variedade representativa de fabricantes, configurações operacionais e diferentes idades de equipamentos, garantindo que os resultados sejam robustos e amplamente aplicáveis.

A lâmina de irrigação coletada nos testes de 43 pivôs centrais avaliados no ARM variou entre 1,59 e 13,94 mm, com média de $5,68 \pm 2,14$ mm. No ATP, as características operacionais dos sistemas foram minuciosamente registradas, incluindo a lâmina bruta de água que, na configuração de 100%, foi de $4,68 \pm 1,38$ mm. Durante um período operacional contínuo de 21 horas, que representa a aplicação máxima de água durante o dia, foi de 8,23

$\pm 2,80$ mm. Esses dados são cruciais para entender a eficiência, o potencial de economia de água dos sistemas, e compreender as características intrínsecas ao manejo de irrigação nestas áreas.

A movimentação dos equipamentos (ARM e ATP), quando operada a velocidade de 100%, mostrou uma velocidade média de $4,77 \pm 0,54$ m/min. Esta velocidade indicou que a velocidade projetada para trabalho em de 21 horas (aplicando a lâmina máxima diária) variou significativamente, de 27,05% a 87,58%, o que indica que a eficiência de irrigação pode ser afetada pela conformidade do percentímetro dos equipamentos.

A exclusão de 21 equipamentos com sistemas de movimentação contínua no ATP foi necessária para manter a integridade dos dados, uma vez que suas características operacionais únicas poderiam distorcer a avaliação da movimentação intermitente, fundamental para este estudo.

9.2.3.2 Adequação da Uniformidade de Distribuição de Água

Os equipamentos de irrigação avaliados no ARM apresentaram valores de CUC entre 76,96 e 93,14%, com valor médio de 86,06%. Conforme as classificações propostas por Bernardo *et al.* (2019) e Keller e Bliesner (1990), 10 equipamentos foram classificados com uniformidade de aplicação “excelente” ($CUC \geq 90\%$), 30 equipamentos como “bom” ($80\% \leq CUC < 90\%$), e 3 equipamentos como “moderado” ($70\% \leq CUC < 80\%$). Estes resultados estão sumarizados na Figura 9.6, enquanto a Tabela 9.2 apresenta os valores de CUC para cada equipamento. Os principais pontos negativos observados nos equipamentos com menor CUC foram a inadequação da carta de emissores e entupimentos.

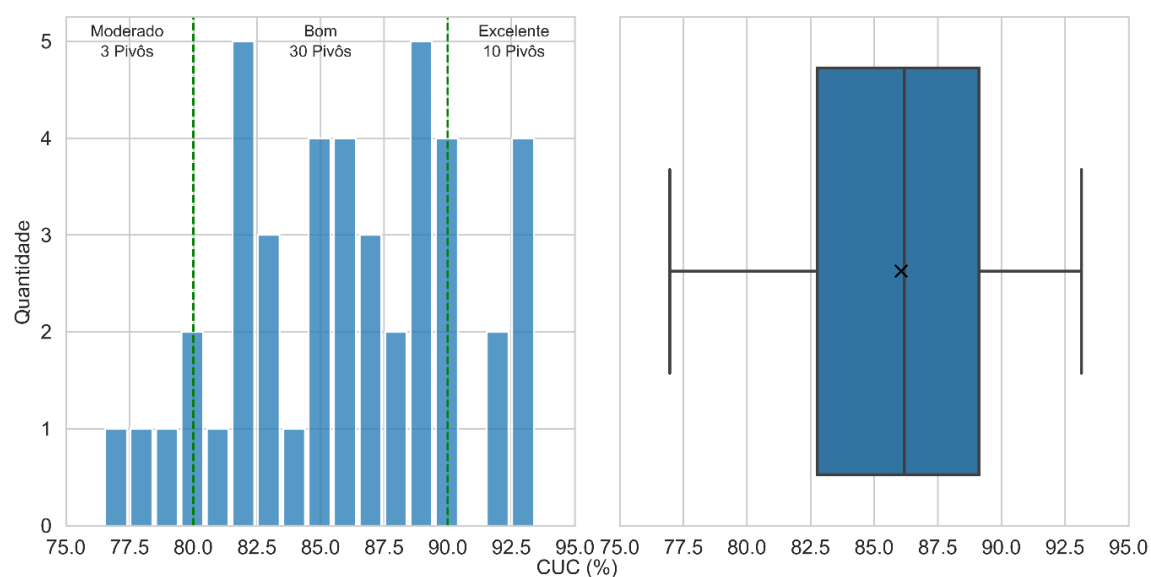


Figura 9.6 - Distribuição da quantidade de pivôs em função da classificação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC, %) para o polo do ARM. As linhas verticais verdes delimitam as classes para classificação do CUC adaptadas de Bernardo et al. (2019) e Keller e Bliesner (1990).

Tabela 9.2 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC, %) para cada equipamento do ARM.

Fazenda	Pivô	CUC (%)	Fazenda	Pivô	CUC (%)
AGN	P01	87,19	LOA	P01	83,41
	P02	78,64		P02	85,29
BRA	P07	88,7		P03	84,83
	P08	76,96		P07	89,74
	P09	80,04	LUC	P05	82,41
CFE	P01	81,06	MA4	P01	93,03
	P02	85,38	MAN	P02	93,14
	P03	88,76		P03	92,16
	P04	85,24		P04	89,89
	P06	83,25		P04	86,29
	P07	89,21	PER	P05	81,85
	P08	81,92		P06	86,6
CRZ	P01	87,01		P01	87,71
	P02	83,11	PVA	P02	82,21
FER	P02	82,08		P03	89,02
	P03	93,09		P04	86,18
	P04	88,27		P01	80,09
FI3	P01	89,67	RDP	P02	77,76
	P02	92,25		P03	83,47
	P03	92,79	SCA	P01	88,62
LAG	P01	85,73		P02	90,44
	P02	86,11			

A uniformidade de distribuição de água nos equipamentos de irrigação no ATP foi extensivamente analisada, revelando valores de CUCCE variando de 79,39% a 98,20%, com uma média de $94,96 \pm 3,67\%$. Foi estabelecido um limiar de 95% de CUCCE para demarcar uma distribuição considerada adequada. Segundo este critério, 65 equipamentos foram classificados como tendo uma distribuição adequada, enquanto 29 foram considerados inadequados, conforme visualizado na Figura 9.7.

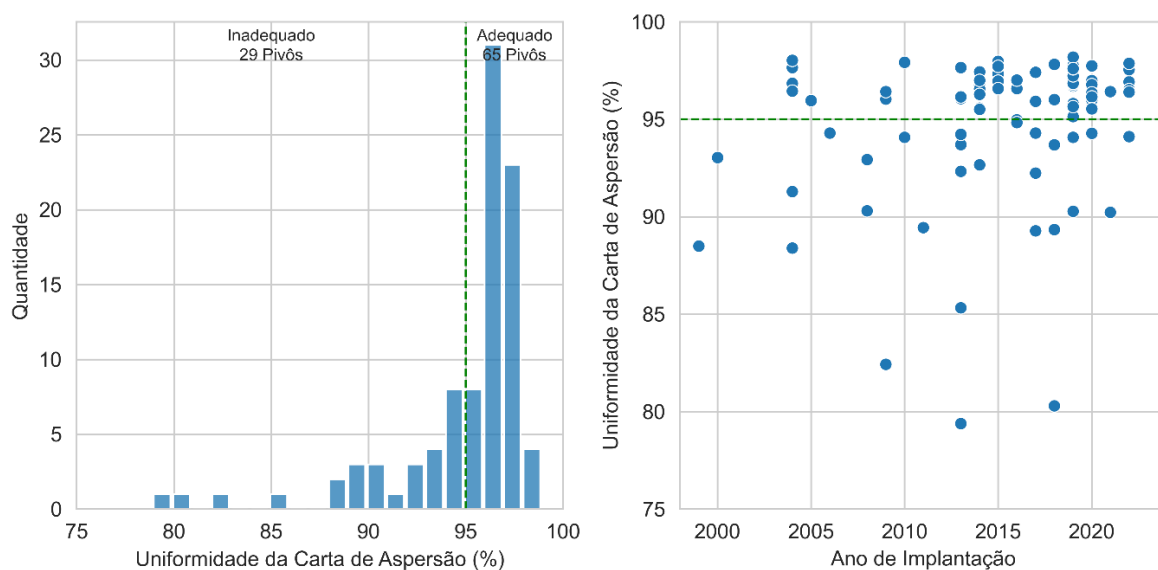


Figura 9.7 - A esquerda, distribuição dos valores de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen via carta de aspersão (CUCCE, %) entre os equipamentos do ATP, destacando a linha de limiar em 95% que separa classificações de uniformidade potencialmente adequadas (acima da linha) de inadequadas abaixo da linha). À direita, dispersão dos valores de CUCCE por ano de implantação, indicando a ausência de tendência ou padrão ao longo do tempo.

Uma análise adicional não encontrou correlação estatisticamente significativa entre o CUCCE e o ano de implantação dos equipamentos ($\alpha = 0,05$) no ATP. Esta falta de correlação sugere que a idade dos equipamentos, por si só, não é um determinante crítico da eficiência da distribuição de água. Em vez disso, práticas de manutenção adequadas parecem desempenhar um papel mais crucial na preservação ou no aprimoramento da uniformidade de distribuição. Esta observação sublinha a importância de implementar programas de manutenção regulares e eficazes, que podem ser mais impactantes do que a renovação de equipamentos baseada apenas na idade.

A Tabela 9.3 detalha o CUCCE para cada equipamento avaliado no ATP, fornecendo uma visão ampla dos resultados individuais e reforçando a compreensão dos níveis de uniformidade alcançados em várias fazendas do polo. Esta tabela serve como uma

ferramenta essencial para identificar especificamente quais sistemas podem requerer atenção imediata ou ajustes nas práticas de manutenção.

Tabela 9.3 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen via carta de aspersão (CUCCE, %) para cada equipamento avaliado no ATP.

Fazenda	Pivô	CUCCE (%)	Fazenda	Pivô	CUCCE (%)	Fazenda	Pivô	CUCCE (%)
CPL	P01	97,93	JCN	P05	93,04	GRI	P03	96,01
CPL	P02	94,08	JCN	P06	96,16	FCO	P01	94,83
CPL	P03	89,45	JCN	P07	97,55	SPZ	P01	94,22
CPL	P04	96,58	JCN	P08	96,4	SPZ	P02	95,51
ESP	P01	95,88	JCN	P09	94,12	SPZ	P03	96,99
ESP	P02	95,99	JCN	P10	97,87	AGD	P01	97,81
ESP	P03	96,36	NSC	P01	96,42	EBS	P09	97,58
DNI	P01	92,33	NSC	P02	90,23	EBS	P10	96,79
DNI	P02	93,7	MTV	P03	97,44	EBS	P11	97,7
DNI	P03	92,67	MTV	P04	96,15	EBS	P12	96,83
DNI	P04	85,33	HMV	P01	95,81	EBS	P13	97,33
DNI	P05	80,3	HMV	P02	95,58	EBS	P14	96,96
DNI	P06	89,28	HMV	P03	96,56	EBS	P15	96,58
DNI	P07	92,24	HMV	P04	93,69	EBS	P18	97,97
DNI	P08	94,29	HMV	P05	96,92	EBS	P19	97,71
FLR	P01	94,3	HMV	P06	96,52	EBS	P21	96,7
FLR	P02	96,78	HMV	P07	96,28	EBS	P22	97,06
FLR	P03	97,02	VKN	P04	94,27	EBS	P23	96,99
FLR	P04	88,39	VKN	P05	90,27	EBS	P24	96,32
FLR	P05	97,66	VKN	P06	95,54	EBS	P25	94,07
FLR	P06	91,29	MTZ	P01	88,49	EBS	P26	96,85
FLR	P07	96,45	CLS	P01	79,39	EBS	P33	97,74
FLR	P08	82,43	SSG	P01	96,03	EBS	P34	96,77
FLR	P09	90,3	SSG	P02	95,95	EBS	P35	95,14
FLR	P10	92,93	SSG	P03	96,44	EBS	P36	96,8
FLR	P11	97,41	SSG	P04	97,59	EBS	P37	97,77
FLR	P12	89,35	SSG	P05	97,6	BGN	P01	94,97
JCN	P01	96,85	STZ	P01	96,42	BGN	P03	96,05
JCN	P02	98,2	STZ	P02	95,91	BGN	P04	97,65
JCN	P03	95,66	GRI	P01	98,02	BGN	P06	96,25
JCN	P04	97,23	GRI	P02	96,84	BGN	P07	96,72
						BGN	P08	97,49

No ARM houve uma leve tendência de equipamentos mais novos apresentar valores de CUC maiores (Figura 9.8), porém, a regressão não foi significativa ($\alpha = 0,05$). O que indica que mesmo equipamentos de irrigação mais antigos podem apresentar uma uniformidade de distribuição de água adequada, desde que a manutenção do sistema seja feita adequadamente. Com o tempo de uso há desgaste de emissores, válvulas reguladoras de pressão, bomba (rotor e carcaça) e motor elétrico. Por isso, o monitoramento constante e a substituição de componentes após sua vida útil são fundamentais para manter a performance do equipamento.



Figura 9.8 - Regressão e resíduos da regressão entre Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC, %) e ano de implantação do equipamento de irrigação no ARM. No gráfico a esquerda, a linha horizontal verde indica a média dos resultados, a linha azul representa a regressão linear entre as variáveis e a faixa azulada representa o intervalo de confiança da regressão ($\alpha = 0,05$).

A lâmina de irrigação coletada no teste de campo do ARM apresentou positiva correlação com lâmina de irrigação esperada com base carta de aspersores (Figura 9.9). No entanto, observou-se que a lâmina coletada variou entre -39,63 e 26,09 % comparado com a lâmina de irrigação esperada, sendo em média -13,37% inferior. Esses resultados indicam que os equipamentos tendem a ter uma lâmina de irrigação real menor do que a lâmina esperada. Essa variação é causada devido à condição climática durante o teste. Alta valores de velocidade do vento, temperatura do ar e radiação solar e baixa umidade relativa do ar são condições climáticas que aumentam as perdas de água por evaporação e arraste pelo vento (LOURENÇO, 2018; PLAYÁN *et al.*, 2005; TARJUELO *et al.*, 2000). Além disso,

pode haver problemas hidráulicos que compromete a pressão de operação dos emissores. O que causa assimetria entre lâmina de irrigação coletada e esperada.

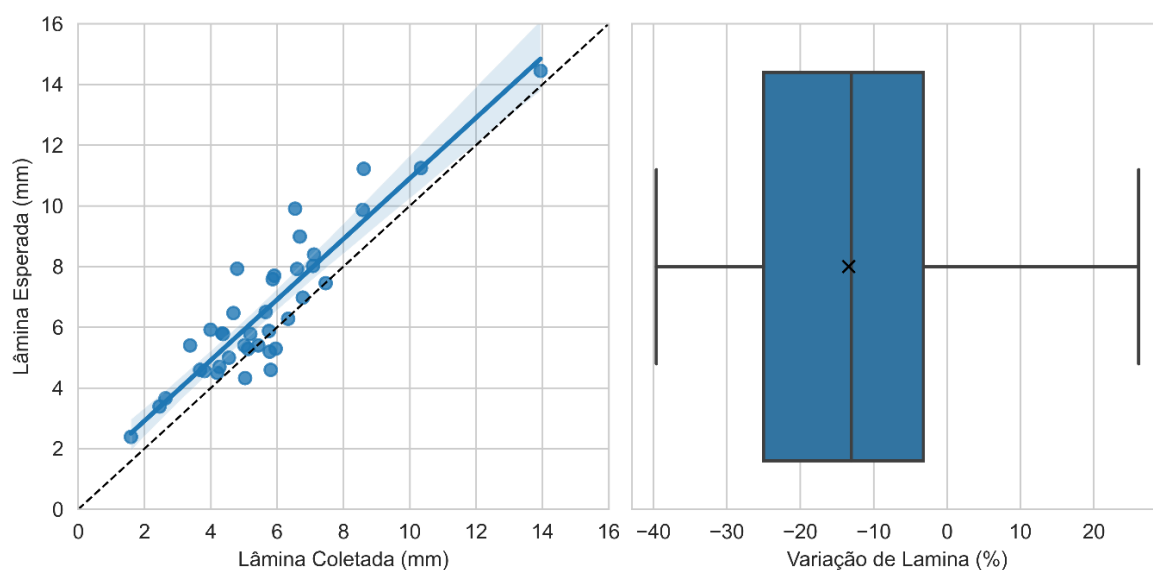


Figura 9.9 - Relação entre a lâmina média coletada e esperada durante o teste de CUC no ARM bem como sua distribuição. A linha azul representa a regressão linear, enquanto a faixa azulada representa o intervalo de confiança da regressão ($\alpha = 0,05$). Pontos acima da linha preta pontilhada indicam que a lâmina coletada foi menor que a esperada.

Os valores de CUC com base na lâmina coletada e na lâmina estimada no ARM apresentaram positiva correlação (Figura 9.10). Contudo, a análise de regressão indicou ausência de diferença. O que indica que a análise da carta de aspersores para obter a lâmina esperada e, conseqüente, o valor de CUC se mostrou metodologia útil. Com isso, a análise da performance do equipamento pode ser feita de forma preliminar sem necessidade de acionar a irrigação, economizando água e energia elétrica, gerando maior escalabilidade para avaliar muitos equipamentos.

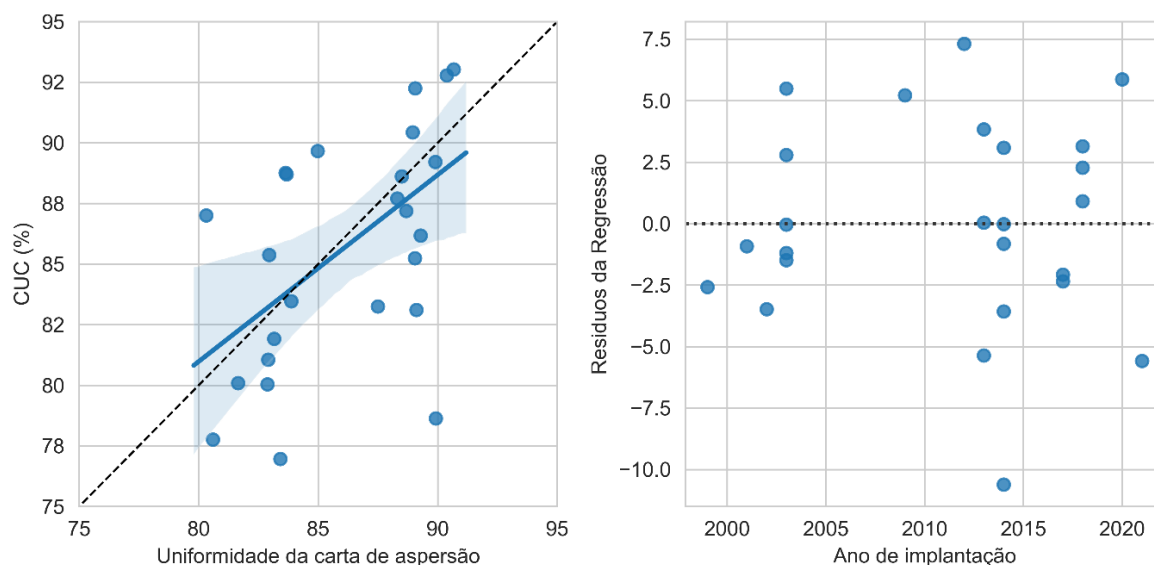


Figura 9.10 - Relação entre a uniformidade da carta de aspersão e o CUC no ARM. A linha azul representa a regressão linear, enquanto a faixa azulada representa o intervalo de confiança da regressão ($\alpha = 0,05$).

Os equipamentos avaliados neste estudo do ARM e ATP apresentam uniformidade de distribuição de água considerados bons ou excelentes (BERNARDO *et al.*, 2019; KELLER & BLIESNER, 1990). A adoção de emissores rotativos em todos os equipamentos confirma este resultado, dado que este tipo de emissor tende a ter uma melhor uniformidade de distribuição de água dado as características da gota produzida (FACI *et al.*, 2001). Apesar da tendência de que equipamentos mais novos possuam valores mais altos de uniformidade, a insignificância da regressão demonstra que outros fatores podem ser mais significativos neste valor, como exemplo o estado de manutenção do equipamento. A redução significativa na lâmina de irrigação observada durante os testes pode impactar fortemente o manejo de irrigação, reduzindo sua eficiência.

Mesmo que a uniformidade constatada nos testes seja adequada, a avaliação dos equipamentos deve ser feita constantemente. A verificação contínua da uniformidade pode ser feita através da verificação da carta de aspersão, significativa para determinar o coeficiente de distribuição de água dos equipamentos. Esta prática pode ser adotada em combinação a operações básicas de manutenção dos equipamentos como desentupimento dos emissores e aferição das pressões.

9.2.3.3 Adequação das Pressões

A avaliação das pressões nos sistemas de irrigação do ATP foi realizada em três pontos críticos: na Ponta, na Torre e na Bomba do sistema. A análise estatística das pressões, utilizando o teste T, indicou que não há variações significativas entre os pontos de medição, com um p-valor entre 0,05 e 1, sugerindo uma distribuição uniforme dos problemas de pressurização ao longo do sistema quando existentes.

Especificamente, a pressão média na Ponta foi de 1,28 vezes a pressão esperada, com um desvio padrão significativo de 0,71, indicando variações substanciais que alcançaram um máximo de 4,01 vezes a pressão esperada. Na Torre, a pressão média foi de 1,12 vezes a esperada, com uma variação de 0,03 a 3,45 vezes a pressão esperada. Similarmente, a Bomba mostrou uma pressão média de 1,12 vezes a esperada, variando de 0,74 a 1,57 vezes, com um desvio padrão menor de 0,30.

Os resultados do limite de adequação das pressões, estabelecidos em 90% da pressão recomendada, mostraram que 28.0% dos equipamentos na Ponta, 31.2% na Torre, e 30.0% na Bomba operaram abaixo deste limiar. Esses dados são visualizados na Figura 9.11, que apresenta a distribuição das pressões relativas e destaca a proporção de equipamentos que não atingiram a adequação nas respectivas categorias.

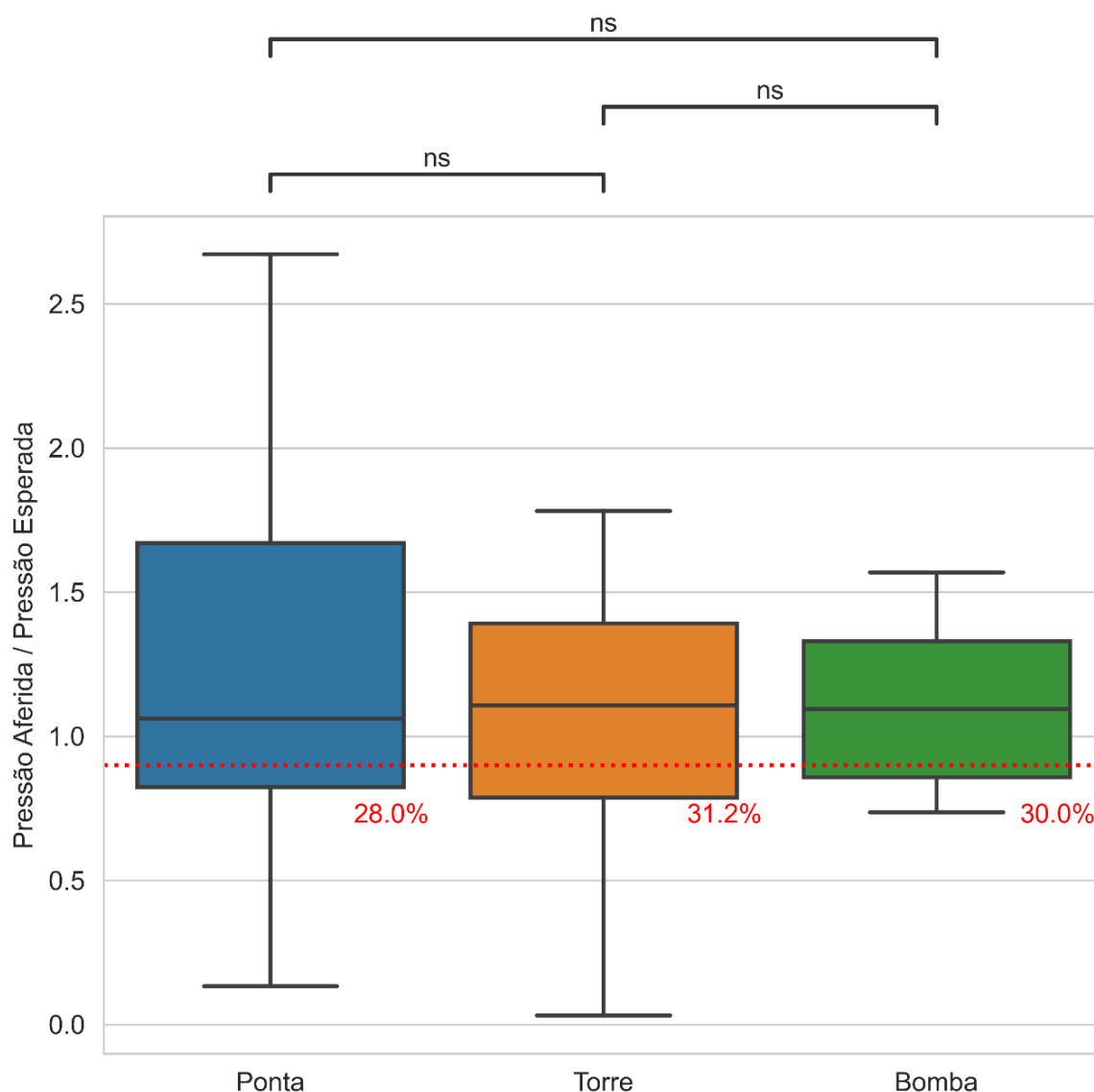


Figura 9.11 - Distribuição das pressões relativas observadas em relação à pressão esperada para cada componente do sistema (Bomba, Torre e Ponta) no ATP. Os limites de adequação de 90% estão marcados por linhas tracejadas vermelhas, indicando a proporção de equipamentos que não atingiram a adequação nas respectivas categorias. Barras sobre os grupos indicam o resultado do teste estatístico de médias (teste T) que não demonstrou diferenças significativas entre os grupos ($0,05 < p \leq 1$).

A ausência de diferenças estatísticas significativas entre os pontos de medição sugere que os problemas de pressurização são igualmente prováveis em qualquer parte do sistema, reforçando a necessidade de uma abordagem de manutenção abrangente e regular para prevenir falhas operacionais e garantir a eficiência do sistema de irrigação.

9.2.3.4 Adequação da Movimentação

A análise da adequação da movimentação dos equipamentos de irrigação foi conduzida por meio de testes que mediram a precisão das velocidades percentuais aferidas em relação às velocidades esperadas. Os resultados demonstraram alta precisão na maioria das configurações, com destaque para as mais altas, onde a precisão foi quase perfeita. Especificamente, a 20% de configuração, 77,4% das medições foram precisas; a 40%, a precisão alcançou 95,2%; a 60%, 98,4%; e a 80%, a precisão foi de 100%.

A Figura 9.12 ilustra visualmente esses resultados, mostrando uma clara concentração de medições dentro das especificações desejadas para as velocidades mais altas. As cruzes vermelhas representam medições fora da precisão desejada, enquanto os círculos verdes indicam medições dentro da especificação.

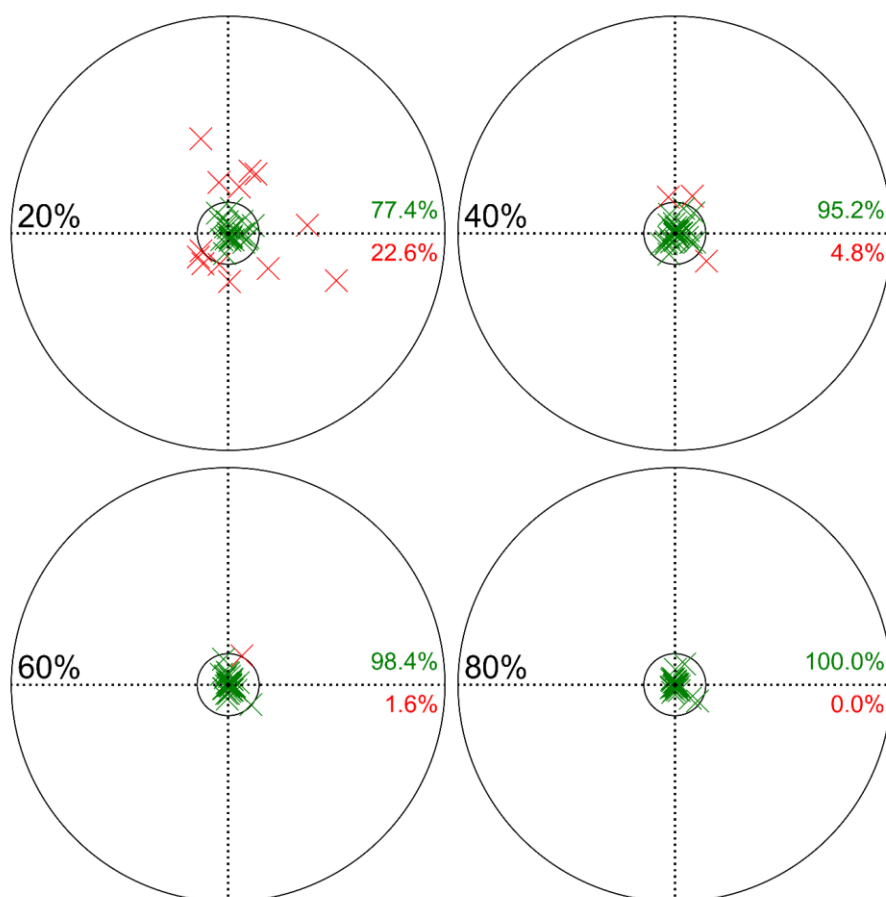


Figura 9.12 - Visualização da precisão da movimentação em diferentes configurações de velocidade, onde as cruzes vermelhas representam medições fora da precisão desejada e os círculos verdes indicam medições dentro da especificação, dado pelo círculo interno que representa o limite de desvio absoluto de 5%.

A importância da manutenção do sistema de movimentação é enfatizada, especialmente para as configurações de baixa velocidade, onde pequenas variações podem ter impactos significativos na distribuição uniforme da água. A manutenção regular e o ajuste fino dos equipamentos são essenciais para assegurar que mesmo as velocidades mais baixas sejam mantidas dentro de um limite de precisão aceitável, evitando assim a subirrigação ou a superirrigação e promovendo uma aplicação eficiente da água.

Os desvios nas configurações mais baixas podem ser devidos a variações no terreno ou condições mecânicas dos equipamentos, que impactam mais as velocidades reduzidas. Essas observações sugerem a necessidade de uma abordagem proativa na manutenção e calibração dos sistemas para garantir que a movimentação seja consistentemente precisa, independentemente da configuração de velocidade escolhida.

Esta análise reforça a eficácia dos mecanismos de controle e a adequação dos sistemas de movimentação em operações de campo, destacando a importância de práticas operacionais sólidas e manutenção cuidadosa para uma irrigação eficiente e sustentável.

9.2.3.5 Coexistência de Problemas

A análise da coexistência de problemas nos equipamentos de irrigação revela interações complexas e significativas entre uniformidade, pressurização e movimentação, conforme ilustrado na Figura 9.13. Este diagrama de Venn destaca não apenas a prevalência de problemas isolados, mas também a frequente sobreposição entre as categorias.

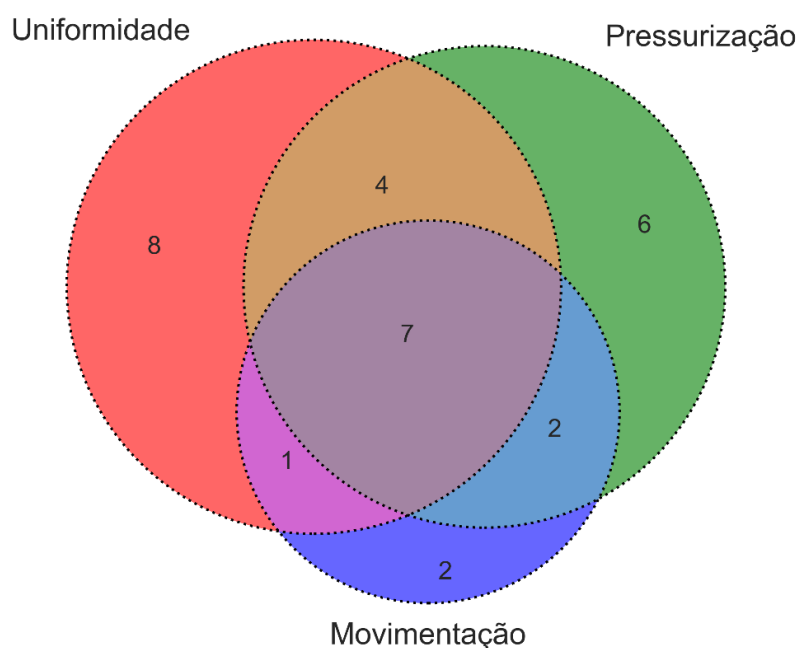


Figura 9.13 - Diagrama de Venn mostrando a distribuição e sobreposição dos problemas observados em uniformidade, pressurização e movimentação nos equipamentos avaliados. Cada círculo representa uma categoria de problema, e os números indicam a quantidade de equipamentos afetados por problemas isolados ou combinados.

Dos 94 equipamentos avaliados que apresentaram problemas: 8 equipamentos mostraram falhas exclusivamente na uniformidade de distribuição de água; 6 enfrentaram problemas apenas na pressurização; e 2 tiveram dificuldades restritas à movimentação; 4 equipamentos apresentaram problemas que afetaram tanto a uniformidade quanto a pressurização; 1 equipamento exibiu problemas simultâneos em uniformidade e movimentação; 2 equipamentos apresentaram falhas em pressurização e movimentação; e 7 equipamentos sofreram com problemas em todas as três áreas.

Essas interações indicam que os problemas geralmente não ocorrem isoladamente e podem se influenciar mutuamente, complicando as estratégias de manutenção e otimização. A coexistência de múltiplos problemas em um único equipamento frequentemente sugere uma necessidade de revisão abrangente do sistema. Tais revisões devem envolver não apenas ajustes no equipamento em si, mas também uma recalibração detalhada das configurações operacionais para garantir a eficácia do sistema.

Identificar onde esses problemas coexistem é crucial para o desenvolvimento de intervenções eficazes, que não apenas resolvem problemas imediatos, mas também minimizam impactos sobre a eficiência geral do sistema e sustentam o uso dos recursos

hídricos. Abordagens integradas de diagnóstico e manutenção, que considerem todas as variáveis críticas, são essenciais para prevenir a recorrência de falhas e para garantir uma operação otimizada e sustentável dos sistemas de irrigação.

9.2.4 Conclusão

Este estudo realizado nos Polos de Irrigação do ARM e ATP proporcionou informações valiosas sobre a eficácia e os desafios operacionais dos sistemas de irrigação por pivô central. Através de uma abordagem metódica em diversas análises, abrangendo a área de estudo, uniformidade de distribuição de água, pressurização, movimentação e a coexistência de problemas, foi possível obter uma compreensão abrangente das dinâmicas e eficiências desses sistemas de produção.

Considerando os equipamentos avaliados em cada uma das regiões, os seguintes pontos principais foram observados: (1) No geral, os equipamentos de irrigação das duas regiões possuem uma adequada uniformidade de distribuição de água, porém problemas como a redução significativa da lâmina de água aplicada em relação à esperada, e problemas de movimentação dos equipamentos podem afetar significativamente a eficiência da irrigação das regiões; (2) Dado a não observação de relação entre a idade dos equipamentos avaliados com sua eficiência, nota-se que a adoção de estratégias de manutenção preventiva e corretiva pelos agricultores é o principal fator de melhoria da eficiência de irrigação; (3) Não foram encontradas diferenças significativas nas pressões medidas em diferentes pontos do sistema, indicando a possibilidade de problemas de pressurização uniformes ao longo dos sistemas; (4) Os testes de movimentação destacaram uma alta precisão nas velocidades altas, com variabilidade maior em velocidades baixas, enfatizando novamente a necessidade de manutenção rigorosa para garantir a distribuição uniforme da água, especialmente quando aplicadas lâminas de irrigação mais altas; (5) Além disso, os resultados mostraram uma sobreposição frequente de problemas nos equipamentos, sugerindo que as falhas são interdependentes e complexas, reforçando a importância de uma abordagem integrada na manutenção e diagnóstico dos sistemas de irrigação.

Em suma, este estudo enfatiza a importância de uma gestão e manutenção eficaz dos sistemas de irrigação por pivô central. Através de uma manutenção proativa e ajustes baseados em dados precisos, é possível melhorar significativamente a eficiência da irrigação, minimizar o desperdício de água e garantir a sustentabilidade das práticas agrícolas nos Polos de Irrigação.

9.3 CARACTERIZAR A EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO E DO USO DE ÁGUA NOS CULTIVOS IRRIGADOS

9.3.1 Introdução

A crescente demanda por eficiência nos sistemas agrícolas é motivada por desafios globais significativos. Estima-se que até 2050, o aumento populacional exigirá um incremento de 50% na produção de alimentos (FAO et al., 2022). Essa necessidade surge em um contexto de mudanças climáticas que preveem condições extremas e imprevisíveis, intensificando os riscos de insegurança alimentar (ABRAHÃO & COSTA, 2018; IPCC, 2022). Além disso, a maior parte desse aumento na produção agrícola deve ocorrer em áreas já cultivadas, ressaltando a importância de maximizar a eficiência no uso dos recursos disponíveis (FAO, 2020).

A agricultura irrigada se destaca como uma estratégia essencial para enfrentar essas incertezas, pois reduz o impacto da sazonalidade climática e aumenta a produtividade das culturas, melhorando a qualidade dos produtos agrícolas (BERNARDO *et al.*, 2019; HAMIDOV & HELMING, 2020). No Brasil, a irrigação é praticada em cerca de 8 milhões de hectares, um número pequeno comparado ao potencial estimado de 63 milhões de hectares (ANA, 2021; EMBRAPA, 2017).

Este estudo foca nos Polos de Irrigação do Alto Rio das Mortes e do Alto Teles Pires, principais regiões de irrigação do Mato Grosso, que possuem uma área significativa dedicada a sistemas de pivô central (ANA, 2021). Essas áreas enfrentam desafios complexos relacionados ao manejo da água e da energia para irrigação, em um cenário de diversidade de cultivos e intensa atividade agrícola (IBGE, 2023).

O objetivo deste estudo é caracterizar a eficiência dos sistemas de irrigação e o uso da água nos cultivos irrigados dos Polos de Irrigação do Mato Grosso, com ênfase na eficiência do manejo de irrigação, na eficiência energética e na eficiência do uso da água. A análise detalhada desses aspectos é crucial para desenvolver práticas de manejo mais sustentáveis e eficientes, contribuindo assim para a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental dessas regiões.

9.3.2 Métodos

9.3.2.1 Área de Estudo

Este estudo foi realizado em duas regiões distintas do estado do Mato Grosso, Brasil: o Polo de Irrigação do Alto Rio das Mortes (ARM) e o Polo de Irrigação do Alto Teles Pires (ATP). Ambas são fundamentais para a agricultura irrigada no estado, utilizando predominantemente sistemas de pivô central para otimizar a eficiência hídrica e aumentar a produtividade agrícola.

Conforme a classificação climática de Köppen para o Brasil (ALVARES *et al.*, 2013), o ARM é classificado como Aw (tropical com inverno seco), enquanto o ATP abrange as classificações Aw e Am (tropical de monções). Essas características climáticas são essenciais para compreender as práticas agrícolas locais.

O solo predominante em ambas as regiões é o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico de textura média (IBGE, 2001), altamente favorável à agricultura irrigada e ao cultivo intensivo. Atualmente, o ARM e o ATP possuem cerca de 72.292 e 63.573 hectares irrigados, respectivamente, com um potencial de expansão para até 384.642 e 703.497 hectares (ANA, 2021). A prática de múltiplas safras anuais é comum, com mais de 90% dos pivôs centrais realizando produções contínuas ao longo do ano, evidenciando a importância e a eficiência da irrigação nessas regiões (ANA, 2023).

A Figura 9.14 ilustra a geolocalização das áreas estudadas e a distribuição dos pivôs de irrigação, incluindo aqueles avaliados em campo. As partes (a) e (b) mostram uma visão geral dos polos de irrigação ATP e ARM, bem como a localização das fazendas que contribuíram com dados para este estudo. A parte (c) apresenta uma visão geral do estado do Mato Grosso, destacando as regiões dos polos de irrigação e as fases do projeto.

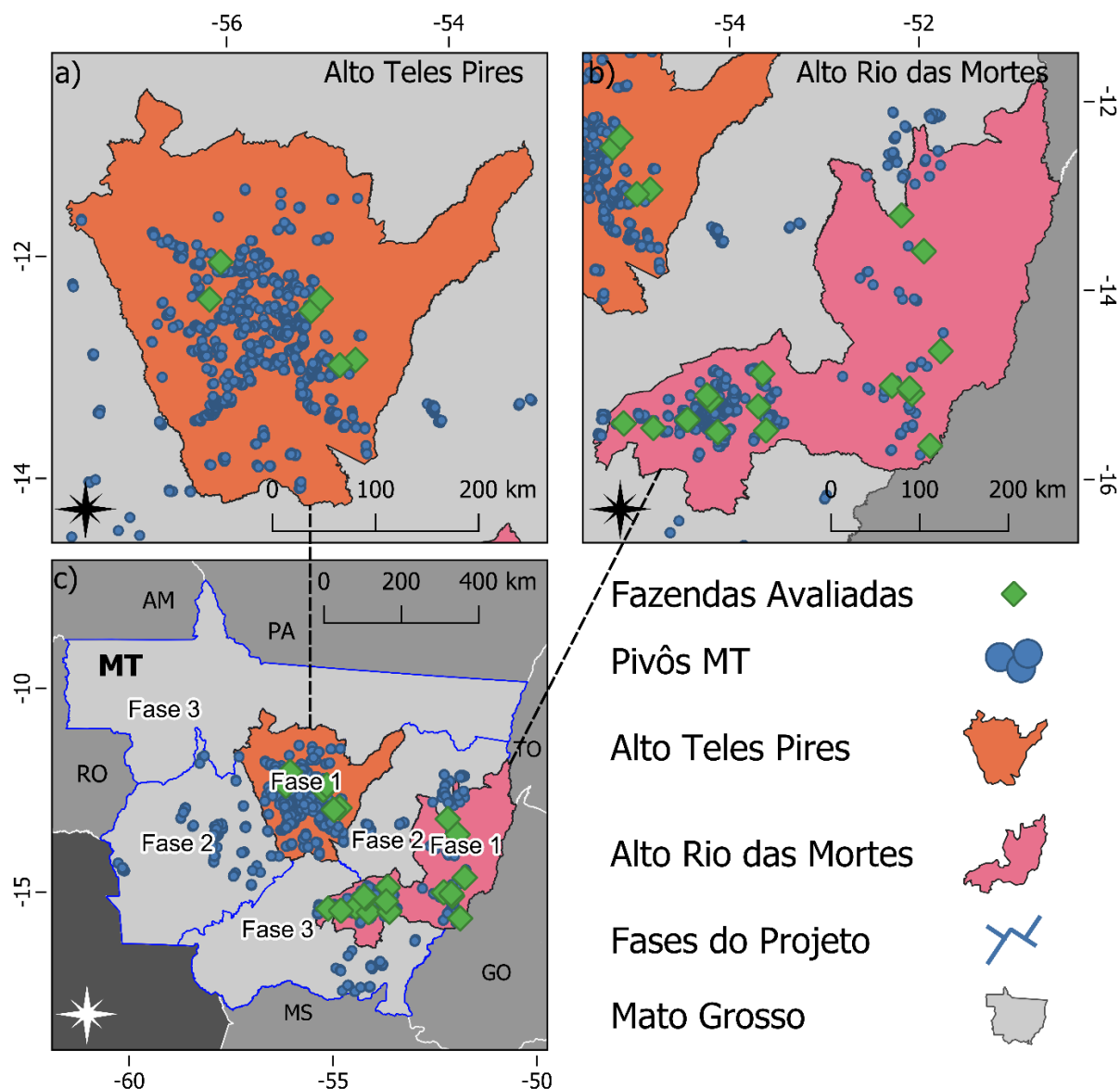


Figura 9.14 - Distribuição dos pivôs de irrigação no estado do Mato Grosso, Brasil. (a e b) Visão geral dos pivôs de irrigação no Polo de Irrigação do Alto Teles Pires (ATP) e Alto Rio das Mortes (ARM), respectivamente. Cada retângulo verde representa a localização de uma fazenda das regiões. (c) Visão geral do estado do Mato Grosso, destacando as regiões dos polos de irrigação e as fases do projeto.

9.3.2.2 Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada por meio de consultas diretas a produtores e consultores especializados em manejo e gestão de irrigação nas regiões estudadas. Foram coletadas informações de 23 fazendas, abrangendo 101 pivôs centrais e uma área total de 9.764 hectares, além de 33 contratos de energia elétrica. No total, foram registrados 1.425 dados de consumo de energia elétrica, 3.659 registros mensais de irrigação e 590 registros

de safra. Esses dados foram essenciais para a análise da eficiência energética e do uso da água.

9.3.2.3 Eficiência do Manejo de Irrigação

A eficiência do manejo de irrigação foi avaliada com base em métricas como o acumulado de irrigação (mm), precipitação (mm) e evapotranspiração das culturas (mm). Foram considerados o índice de estresse hídrico acumulado durante a safra (%), a irrigação efetiva mensal das fazendas (%) e a irrigação efetiva acumulada (%) para cada cultivo.

9.3.2.4 Eficiência do Energética

A eficiência energética foi analisada considerando o consumo de energia elétrica (kWh) em diferentes períodos: ponta (HP), fora de ponta (HFP) e reservado (HR). Também foram avaliados a relação entre a demanda utilizada e a demanda contratada (kW), o percentual de energia reativa e as tarifas elétricas aplicadas em cada período (R\$).

9.3.2.5 Eficiência do Uso da Água

Os dados de safra forneceram informações sobre a produtividade das culturas (kg/ha), receita gerada (R\$), custo de produção (R\$), acumulado de evapotranspiração (ETc) (mm), precipitação (mm), irrigação (mm), excessos totais de água (mm) e custo total de irrigação por safra (R\$/mm/ha). A produtividade da água (kg/m^3) foi calculada pela relação entre a produção total e a quantidade de água utilizada pela cultura. A produção total foi obtida multiplicando a produtividade da cultura (kg/ha) pela área cultivada (ha). A água utilizada pela cultura (mm) foi calculada somando o acumulado de irrigação e a precipitação, descontando os excessos totais de água. Para converter a água utilizada de mm para m^3 , multiplicou-se o valor por 10, convertendo de mm para m^3/ha , e em seguida, multiplicou-se o resultado pela área plantada. A lucratividade do cultivo (R\$) foi calculada subtraindo-se os custos de produção da receita gerada, enquanto a lucratividade da água (R/m^3) foi obtida dividindo a lucratividade pelo volume total de água utilizada pela cultura.

9.3.2.6 Análises

A análise dos dados foi conduzida com uma abordagem abrangente para avaliar a eficiência dos sistemas de irrigação e o uso dos recursos nas regiões estudadas. Inicialmente,

focou-se na eficiência do manejo de irrigação, onde foram examinados o acumulado de irrigação, a precipitação e a evapotranspiração das culturas. Esses dados foram essenciais para calcular o índice de estresse hídrico acumulado durante a safra, permitindo uma avaliação detalhada das práticas de irrigação e seu impacto nas culturas. A irrigação efetiva mensal e acumulada também foi analisada para identificar possíveis padrões e deficiências na gestão da água.

No que tange à eficiência energética, a análise foi direcionada ao consumo de energia elétrica em diferentes períodos do dia: ponta, fora de ponta e reservado. Essa análise ajudou a determinar o perfil de consumo das fazendas e a adequação dos contratos de energia. A relação entre a demanda utilizada e a contratada foi avaliada para identificar possíveis economias e oportunidades de otimização. Além disso, foram considerados os percentuais de energia reativa e as tarifas elétricas aplicadas para entender seu impacto nos custos totais de irrigação.

Para avaliar a eficiência do uso da água, foram calculadas a produtividade da água e a lucratividade da água. A produtividade da água foi obtida pela relação entre a produção total de cada cultura e a quantidade de água utilizada, que inclui a irrigação e a precipitação, descontando os excessos totais de água. A lucratividade da água foi calculada dividindo a lucratividade do cultivo pelo volume total de água utilizada, fornecendo uma medida de retorno financeiro por unidade de água empregada.

A análise estatística foi conduzida utilizando linguagem de programação Python por meio da biblioteca seaborn, aplicando testes de hipóteses e análises de variância (ANOVA) para determinar a significância estatística dos resultados com um nível de significância de $\alpha = 0,05$. Essa abordagem permitiu comparar de forma rigorosa as médias dos indicadores de eficiência entre as diferentes culturas e regiões.

9.3.3 Resultados e Discussão

9.3.3.1 Eficiência do Manejo de Irrigação

A Figura 9.15 apresenta as médias da lâmina de irrigação, precipitação e evapotranspiração de cultura (ETc) para as safras de 2017/18 a 2023/24, considerando os cultivos de soja, algodão, milho semente, milho grão e feijão. A ETc variou entre 180 e 370 mm ao longo das safras analisadas. Para as culturas de soja, algodão e milho semente, a precipitação foi significativamente superior à ETc, resultando em uma menor necessidade de irrigação. Em contraste, os cultivos de milho grão e feijão, realizados na 2ª e 3ª safra,

respectivamente, apresentaram índices pluviométricos iguais ou inferiores à ETc, demandando uma maior lâmina de irrigação. No caso do feijão, a lâmina de irrigação foi notavelmente superior à precipitação registrada.

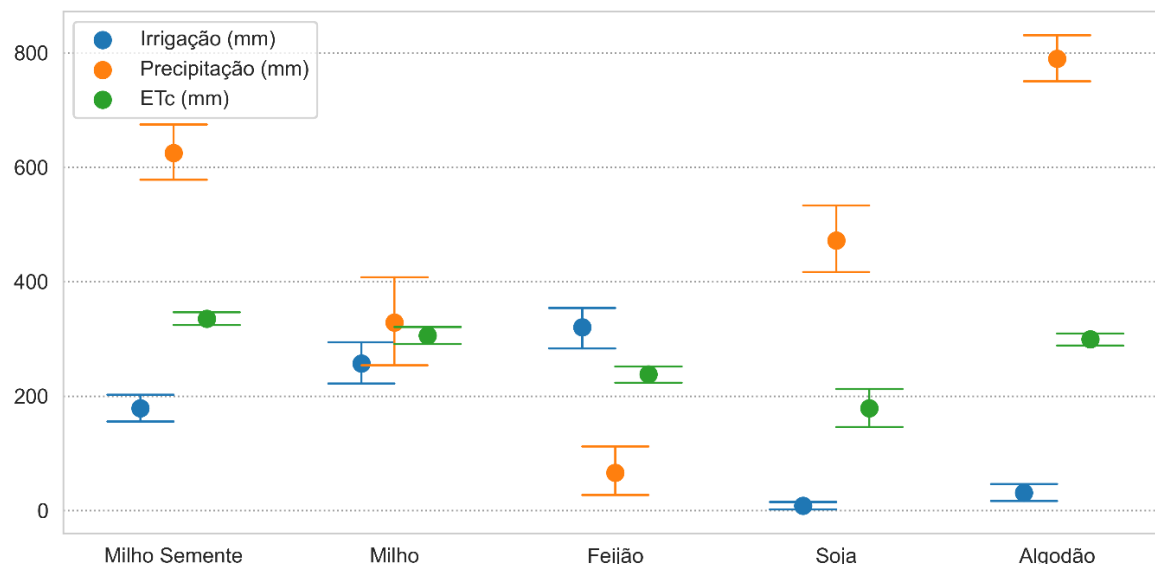


Figura 9.15 - Acumulado de irrigação, precipitação e evapotranspiração de cultura (ETc) durante as safras para as culturas analisadas. Os pontos representam a média das observações, e as barras indicam o intervalo de confiança de 95% da análise ($\alpha = 0,05$).

O índice de estresse hídrico, que mede a fração da evapotranspiração potencial da cultura não repostada por precipitação ou irrigação, foi significativamente superior para a soja em comparação com os demais cultivos analisados (Figura 9.16). Os baixos índices de estresse observados para as culturas de milho semente, milho grão, feijão e algodão indicam que as práticas de manejo de irrigação nessas culturas tendem a manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo durante todo o ciclo, sem a adoção de estratégias para induzir estresse hídrico controlado. De acordo com Santos *et al.* (2020), manter um índice de estresse baixo nem sempre resulta em aumento de produtividade para muitas culturas. Os autores observaram que o manejo da irrigação com índices de estresse de até 12% para milho grão, 13% para feijão e 20% para soja e algodão não compromete a produtividade. Portanto, fica evidente que o manejo de irrigação pode ser aprimorado pela redução da lâmina de irrigação, resultando em economia de água e energia.

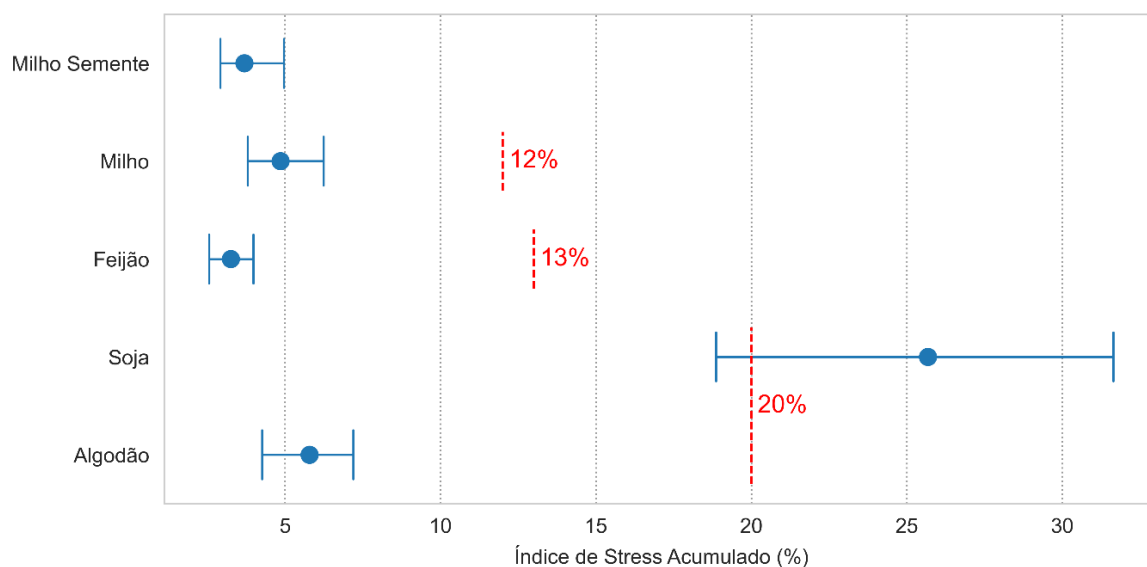


Figura 9.16 - Índice de estresse hídrico acumulado durante a safra para as culturas avaliadas. Os pontos representam a média das observações, e as barras indicam o intervalo de confiança de 95% da análise ($\alpha = 0,05$). As linhas pontilhadas vermelhas verticais representam os limites do índice de estresse acumulado que, segundo Santos *et al.* (2020), não causam redução significativa na produtividade: 12% para milho, 13% para feijão e 20% para soja e algodão.

Ao longo dos meses, observou-se uma redução significativa ($\alpha = 0,05$) nos valores de irrigação efetiva nos meses de fevereiro, junho e novembro (Figura 9.17). Esses resultados sugerem que, durante o período chuvoso, a lâmina de irrigação excedeu o necessário, possivelmente devido à manutenção da umidade do solo pelas chuvas. A baixa irrigação efetiva em junho pode estar associada à falta de ajuste na lâmina de irrigação em resposta à menor demanda hídrica da atmosfera, característica do clima de inverno. Esses achados indicam que o manejo da irrigação pode ser aprimorado, especialmente em períodos com condições climáticas extremas.

A irrigação efetiva média observada variou entre 70% e 95% ao longo do ano, o que indica uma ineficiência considerável no manejo de irrigação, dependendo da cultura e do período. Considerando que os dados deste estudo provêm de fazendas com assessoria em irrigação, é provável que essa ineficiência seja ainda maior em propriedades que não contam com esse tipo de serviço especializado.

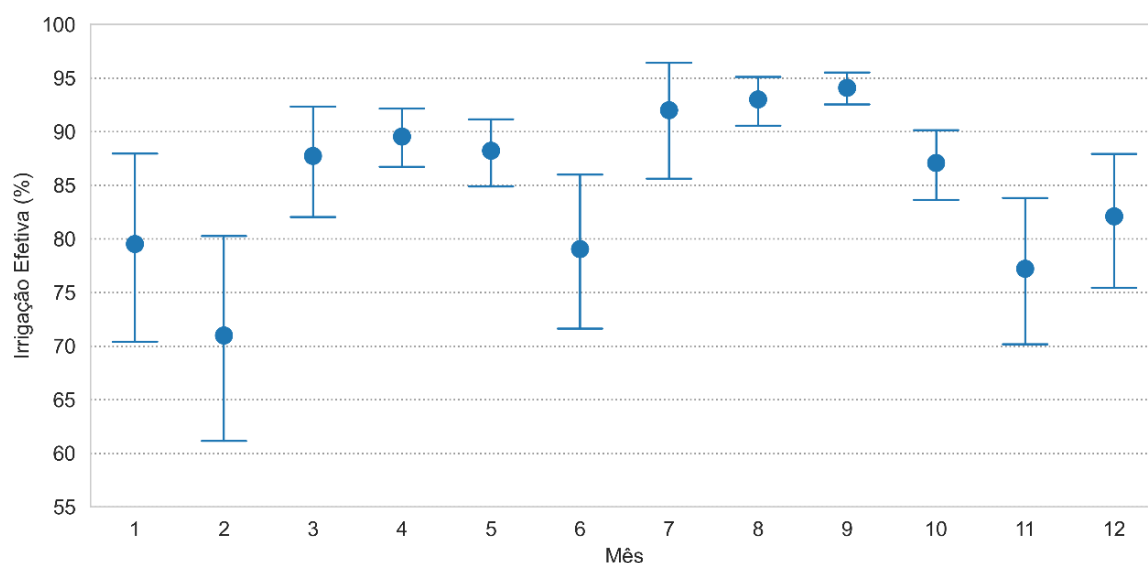


Figura 9.17 - Irrigação efetiva ao longo do ano. Os pontos representam a média dos resultados, enquanto as barras indicam o intervalo de confiança de 95% dos dados ($\alpha = 0,05$).

A irrigação efetiva variou significativamente ($\alpha = 0,05$) entre os cultivos analisados (Figura 9.18). Os cultivos de algodão e milho semente apresentaram maior irrigação efetiva, o que pode ser atribuído à associação entre o maior valor econômico dessas culturas, o uso mais intensivo de boas práticas agrícolas e a maior sensibilidade das plantas à disponibilidade hídrica. A soja mostrou grande variabilidade na irrigação efetiva, sugerindo que houve irrigações mesmo em condições de umidade do solo adequada, possivelmente motivadas pela preocupação em evitar reduções de produtividade devido aos bons preços de mercado. O milho grão apresentou uma irrigação efetiva intermediária. O feijão, por sua vez, teve a menor irrigação efetiva entre os cultivos, apesar de apresentar um baixo índice de estresse hídrico (Figura 9.18). Isso indica uma ineficiência significativa no manejo da irrigação, com aplicação de água em excesso. A irrigação excessiva não só aumenta os custos de produção devido ao maior consumo de energia elétrica, como também promove a lixiviação de nutrientes por percolação profunda. Esses resultados ressaltam a necessidade de melhorias no manejo da irrigação para otimizar a eficiência hídrica e reduzir custos.

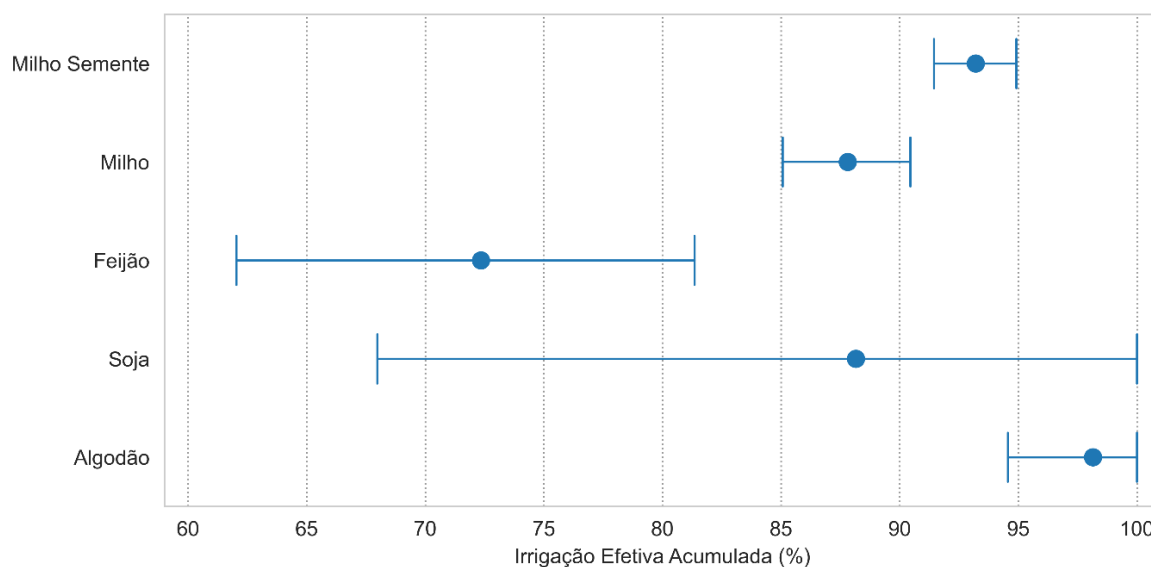


Figura 9.18 - Irrigação efetiva acumulada por cultivo. Os pontos representam a média das observações, enquanto as barras indicam o intervalo de confiança de 95% da análise ($\alpha = 0,05$). Barras que ocupam o mesmo valor no eixo horizontal indicam igualdade significativa entre os grupos.

Os resultados apresentados destacam a variabilidade na eficiência da irrigação entre os diferentes cultivos, evidenciando a influência de fatores econômicos, práticas agrícolas e sensibilidade das plantas. A maior eficiência observada nos cultivos de algodão e milho semente reflete o impacto positivo do uso de boas práticas de manejo, enquanto a variabilidade na soja e a ineficiência no manejo do feijão sugerem oportunidades significativas para a otimização da irrigação. A correlação entre irrigação excessiva e aumento dos custos de produção, aliada ao risco de lixiviação de nutrientes, reforça a necessidade de ajustes no manejo hídrico para alcançar maior eficiência e sustentabilidade, contribuindo para a redução de custos e a preservação dos recursos naturais.

9.3.3.2 Eficiência Energética

O consumo de energia elétrica pelos agricultores segue um padrão em conformidade com as recomendações das principais consultorias de irrigação (Figura 9.19). Com exceção de janeiro, ao longo de todo o ano, a maior parte do consumo elétrico ocorre durante o horário reservado (HR), que geralmente apresenta a tarifa mais baixa. A partir de abril, o consumo médio no HR supera significativamente 50% do consumo total. Nos meses de abril a outubro, período caracterizado por menores índices pluviométricos e maior demanda por irrigação, o consumo médio no horário fora de ponta (HFP) foi inferior a 40%. O consumo no horário de ponta (HP), que possui a tarifa mais elevada, manteve-se em torno de 5% ao

longo do ano, com exceção de junho, setembro e outubro, quando foi ainda menor. O ideal é que o consumo no HR permaneça acima de 50% e que o consumo no HFP seja minimizado para garantir uma tarifa elétrica mais econômica.

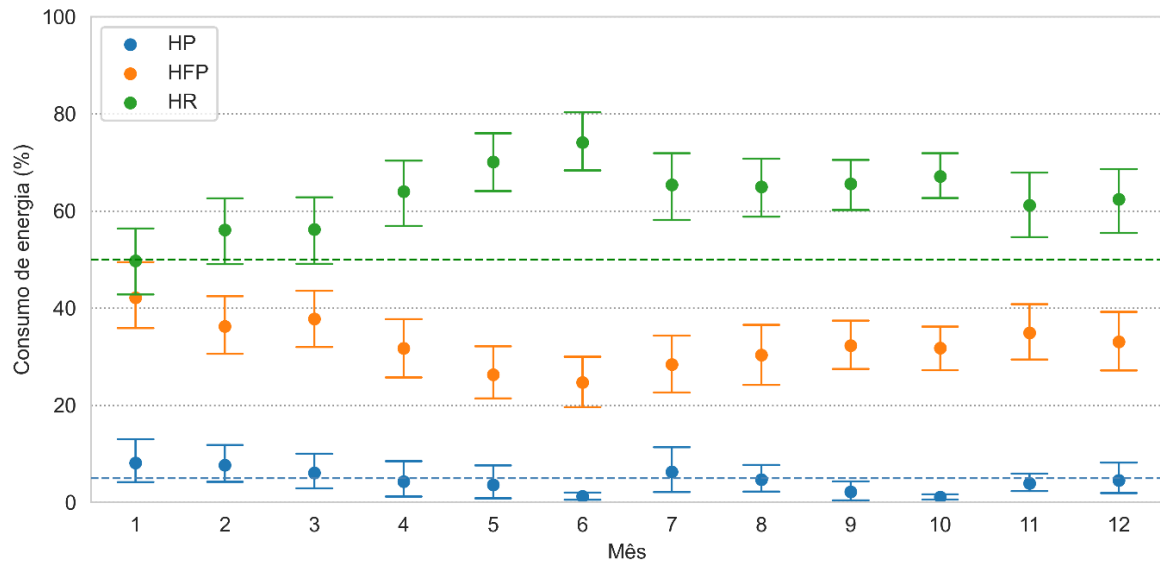


Figura 9.19 - Perfil de consumo de energia ao longo do ano nos horários reservado (HR, com menor tarifa), fora de ponta (HFP) e de ponta (HP, com maior tarifa). Os pontos representam a média das observações, enquanto as barras indicam o intervalo de confiança da análise ($\alpha = 0,05$). A linha verde pontilhada representa o limite mínimo de 50% para consumo no horário reservado, conforme indicado pelas consultorias de irrigação. A linha azul pontilhada representa o limite máximo de 5% para consumo no horário de ponta.

O uso da demanda contratada pelos agricultores também segue um padrão em geral adequado. Embora em alguns meses o consumo tenha excedido o limite de 5% acima da demanda contratada, resultando em multas por ultrapassagem, na maioria dos casos o consumo permaneceu dentro dos limites estabelecidos. Observa-se ainda uma concentração significativa dos dados em até 25% do valor da demanda contratada, o que indica que o uso de energia foi, na maior parte do tempo, muito inferior ao limite contratado. Esse aspecto exige atenção especial, pois, se em três meses do ano a demanda utilizada não superar 90% da demanda contratada, uma multa por demanda complementar também poderá ser aplicada na fatura de energia elétrica. A Figura 9.20 ilustra os resultados referentes ao uso da demanda contratada.

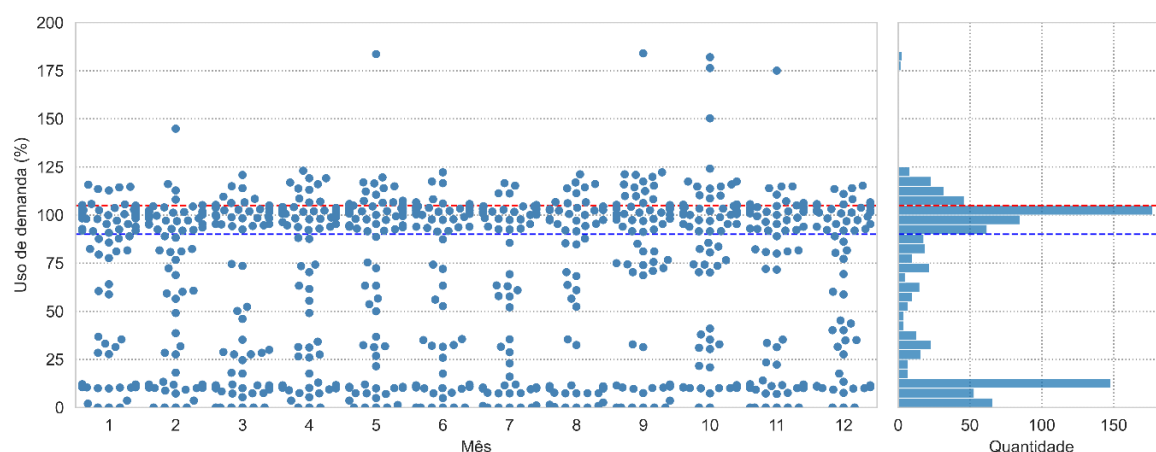


Figura 9.20 - Percentual de uso de demanda em relação à demanda contratada. A linha vermelha pontilhada representa o limite de 5% acima da demanda contratada, acima do qual há aplicação de multa por ultrapassagem de demanda. A linha azul pontilhada indica o limite inferior de 90% da demanda contratada, abaixo do qual, se não atingido em três meses do ano, resulta em multa por demanda complementar.

O custo com energia reativa manteve-se consistentemente abaixo de 10% do consumo total (Figura 9.21). A maioria dos resultados demonstra que esse valor tende a ficar inferior a 5% ao longo do ano. É ideal que o consumo de energia reativa seja minimizado, pois trata-se de um tipo de consumo que não realiza trabalho útil, como o bombeamento, sendo, portanto, indesejável.

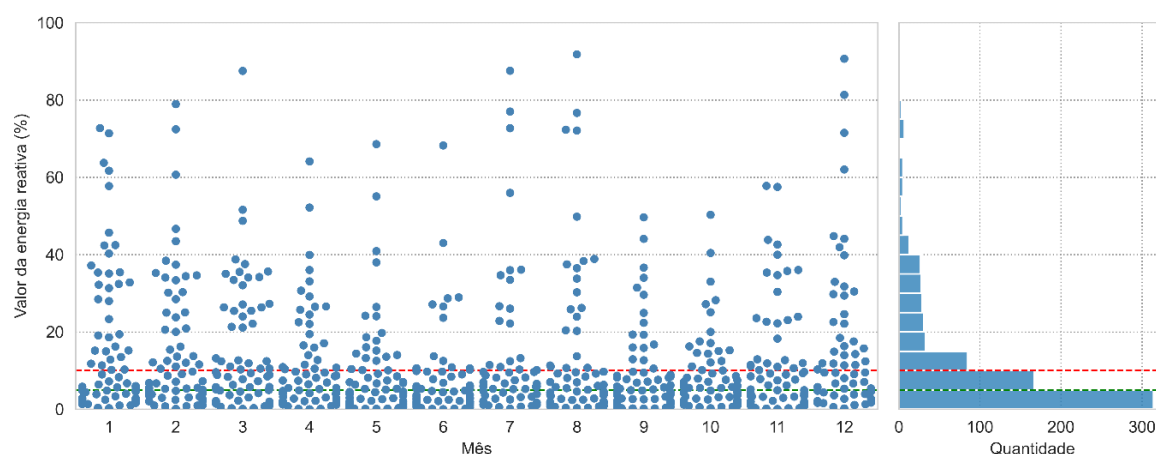


Figura 9.21 - Percentual de uso de energia reativa em relação ao consumo total. As linhas pontilhadas vermelha e verde indicam os valores de 10% e 5% de energia reativa, respectivamente.

A análise da evolução das tarifas de energia ao longo dos anos revela um aumento expressivo na tarifa elétrica durante o horário de ponta (HP), enquanto as tarifas nos horários fora de ponta (HFP) e reservado (HR) permanecem estáveis. Esse aumento na tarifa de ponta

provavelmente visa desencorajar o uso de energia nesse período, reduzindo a competição com outros consumidores, como residências. Esse padrão sugere que otimizar a escolha dos horários de irrigação, priorizando HR e HFP, pode resultar em maior eficiência energética e redução de custos para os irrigantes.

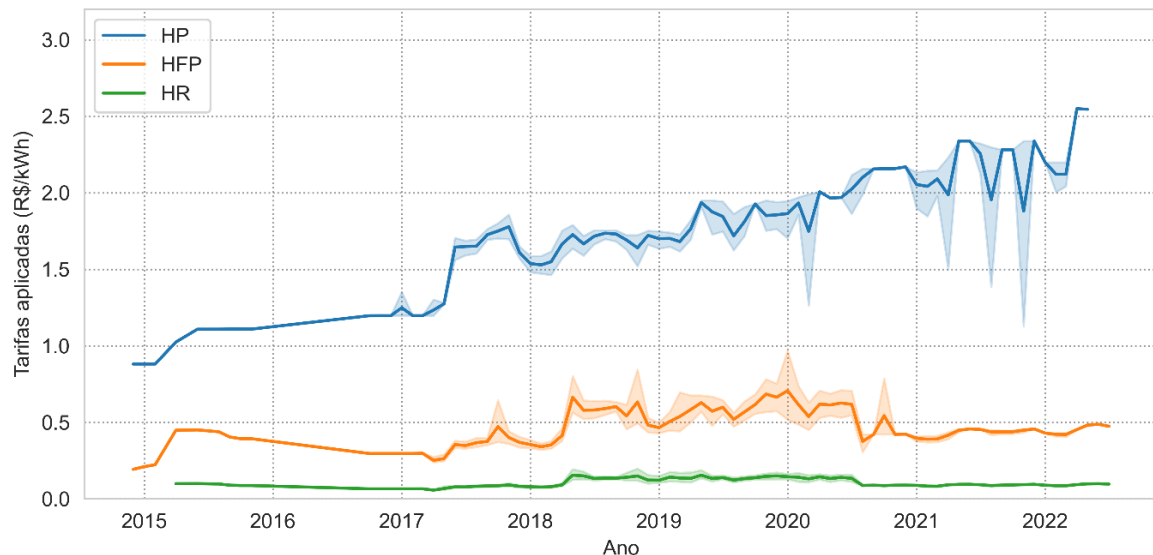


Figura 9.22 - Evolução das tarifas de energia ao longo dos anos nos horários de ponta (HP), fora de ponta (HFP) e reservado (HR). As linhas representam a média dos resultados, enquanto as faixas indicam o intervalo de confiança da análise ($\alpha = 0,05$).

As implicações do perfil de consumo de energia, das tarifas elétricas aplicadas, do uso de demanda e do percentual de energia reativa são evidentes no custo total de irrigação das safras. A análise dos custos revela que o maior custo médio de irrigação ocorre na cultura do algodão. Embora o custo para o algodão seja superior ao de outras culturas, a única diferença estatisticamente significativa foi observada em comparação com o feijão, que apresenta o menor custo médio de irrigação. O milho semente e a soja não apresentam diferenças significativas em termos de custo, com médias superiores às do feijão e do milho. Os resultados do custo de irrigação por hectare para as diferentes safras estão ilustrados na Figura 9.23.

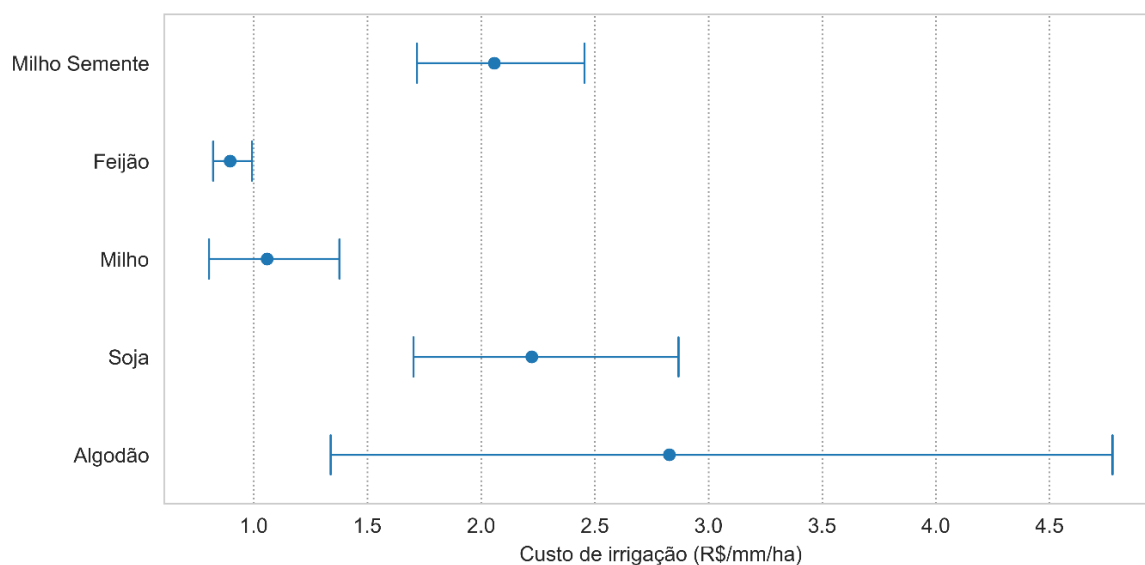


Figura 9.23 - Custo de irrigação por hectare para as culturas analisadas. Os pontos representam a média das observações e as barras indicam o intervalo de confiança da análise ($\alpha = 0,05$).

Com base na análise da eficiência energética, os resultados indicam que a maioria dos agricultores segue práticas adequadas em relação ao consumo de energia, com exceção notável em alguns meses. O consumo de energia elétrica foi predominantemente concentrado nos horários reservados (HR), que apresentam tarifas mais baixas, especialmente a partir de abril, quando a demanda de irrigação é maior. No entanto, há uma necessidade de otimizar ainda mais o consumo nos horários fora de ponta (HFP) e reduzir o uso durante o horário de ponta (HP) para evitar custos elevados. O uso de energia reativa se manteve abaixo de 10% do total, com a maioria dos valores abaixo de 5%, embora a minimização desse tipo de consumo ainda seja desejável. O perfil de demanda contratada revela uma utilização geralmente inferior ao limite contratado, com concentrações em valores abaixo de 25%, o que pode levar a multas por demanda complementar se não for gerenciado adequadamente. Esses resultados sugerem que um ajuste mais preciso nos horários de irrigação e na gestão da demanda pode melhorar a eficiência energética e reduzir os custos operacionais associados à irrigação.

9.3.3.3 Eficiência no Uso da Água

Os resultados de produtividade da água revelam que o milho e o milho semente apresentam as maiores médias, com valores de $4,04 \pm 1,49$ e $3,80 \pm 2,01$ kg/m³, respectivamente. Embora a cultura do algodão tenha uma média de $2,76 \pm 0,84$ kg/m³, ela

não difere significativamente do milho ($\alpha = 0,05$). A soja, com uma média de $1,95 \pm 1,44$ kg/m³, apresenta uma produtividade significativamente inferior ($\alpha = 0,05$) em comparação com as culturas mencionadas. O feijão, por sua vez, possui a menor média de produtividade da água entre as culturas avaliadas, com um valor de $1,24 \pm 0,88$ kg/m³. Esses resultados estão detalhados na Figura 9.24.

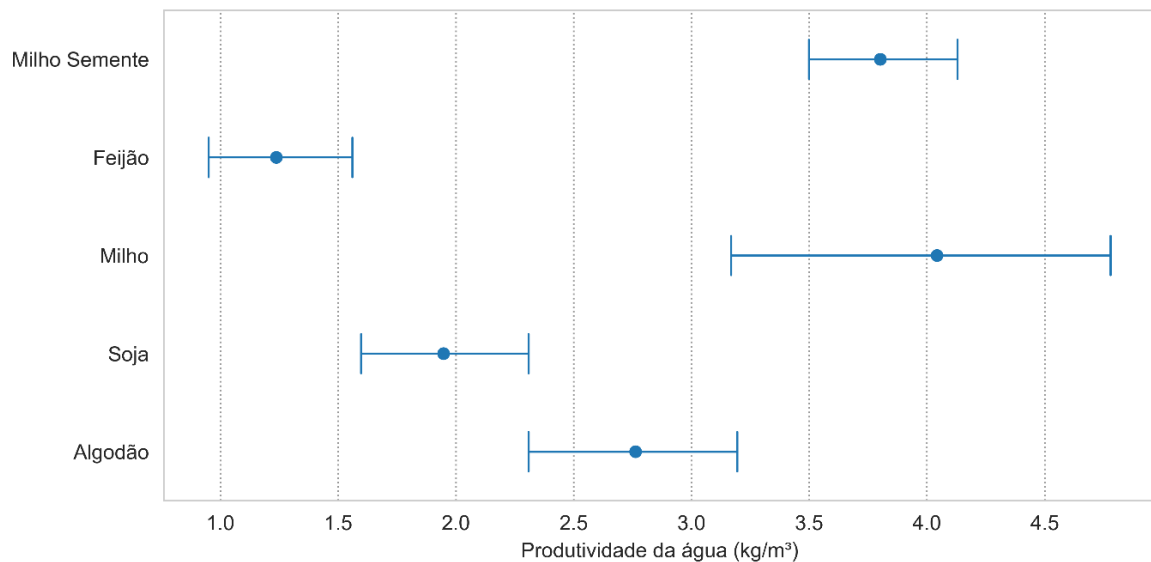


Figura 9.24 - Produtividade da água para as culturas analisadas. Os pontos representam a média das observações e as barras indicam o intervalo de confiança da análise ($\alpha = 0,05$).

O algodão demonstrou a maior rentabilidade por volume de água, com uma média de $13,12 \pm 1,67$ R\$/m³, sendo estatisticamente superior às demais culturas ($\alpha = 0,05$). O feijão e a soja apresentaram médias estatisticamente equivalentes, com valores de $3,56 \pm 2,66$ e $3,15 \pm 2,00$ R\$/m³, respectivamente. Já o milho semente e o milho mostraram médias também estatisticamente semelhantes, com $2,04 \pm 1,53$ e $1,66 \pm 1,21$ R\$/m³, respectivamente. Esses resultados estão ilustrados na Figura 9.25.

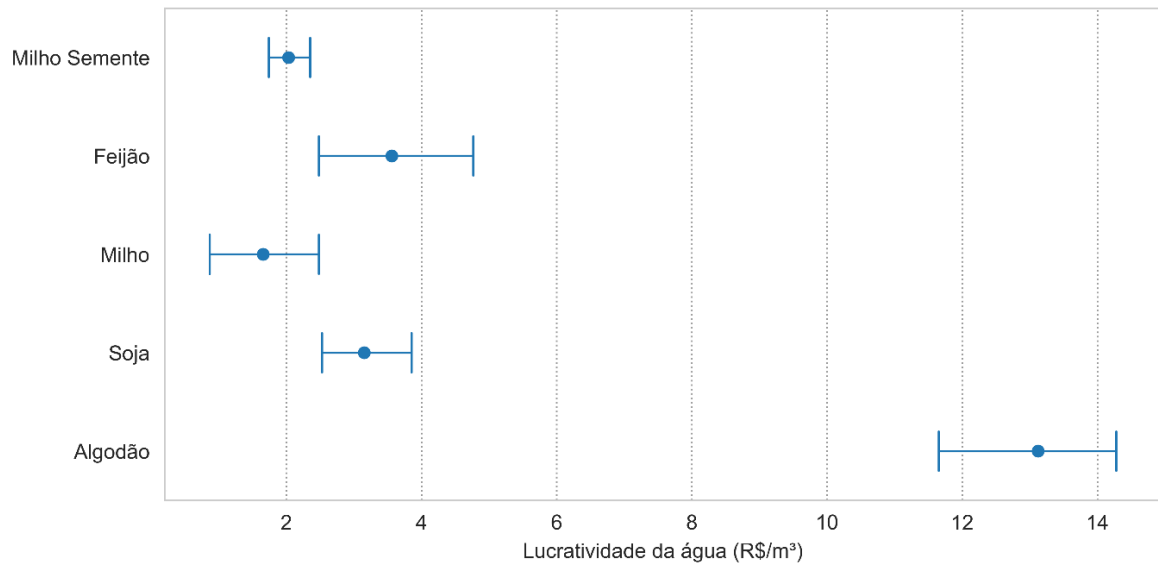


Figura 9.25 - Lucratividade da água, em R\$/m³, para as culturas analisadas. Os pontos representam a média das observações e as barras indicam o intervalo de confiança da análise ($\alpha = 0,05$).

A análise da eficiência no uso da água revela variações significativas entre as diferentes culturas avaliadas. O algodão se destaca como a cultura mais eficiente em termos de rentabilidade por volume de água, com um valor médio de 13,12 R\$/m³, indicando uma alta eficiência econômica no uso da água. Em contraste, o feijão e a soja apresentam médias de rentabilidade significativamente menores, de 3,56 e 3,15 R\$/m³, respectivamente, enquanto o milho semente e o milho mostram os menores valores, com médias de 2,04 e 1,66 R\$/m³, respectivamente. Esses resultados sugerem que, devido ao maior valor agregado do cultivo do algodão por unidade produzida, e a sua geração de maior receita, outras culturas podem se beneficiar de estratégias aprimoradas de manejo da água para melhorar sua eficiência econômica. A variabilidade observada ressalta a importância de otimizar o uso da água com base nas características específicas de cada cultura para maximizar a rentabilidade e a sustentabilidade agrícola.

9.3.4 Conclusão

Este estudo proporcionou uma análise detalhada da eficiência dos sistemas de irrigação por pivô central nos Polos de Irrigação do ARM e ATP, oferecendo insights valiosos sobre o desempenho desses sistemas. A avaliação minuciosa das variáveis, incluindo a eficácia da irrigação, o consumo de energia, o uso da água e a rentabilidade, revelou vários pontos críticos.

Em relação ao manejo da irrigação, observou-se que a tomada de decisão pode ser aprimorada, especialmente para a cultura do feijão, que apresentou o menor índice de irrigação efetiva acumulada, sugerindo a necessidade de um ajuste mais fino nas práticas de irrigação. A análise do índice de stress dos cultivos também indicou oportunidades para melhorar a eficiência da irrigação. O perfil de consumo de energia foi geralmente adequado, embora as multas por ultrapassagem de demanda e o consumo de energia reativa tenham potencial para elevar os custos de irrigação. A produtividade da água variou significativamente entre as culturas, com milho e milho semente apresentando as maiores médias, enquanto o feijão mostrou a menor eficiência. Notou-se também que o algodão proporcionou a maior rentabilidade por volume de água, destacando-se entre as culturas avaliadas.

Em resumo, este estudo sublinha a importância de uma gestão e manutenção eficaz dos sistemas de irrigação por pivô central. Através de ajustes baseados em dados precisos e uma abordagem proativa para a manutenção, é possível melhorar significativamente a eficiência da irrigação, reduzir o desperdício de água e garantir a sustentabilidade das práticas agrícolas. Estratégias de otimização devem ser adaptadas às necessidades específicas de cada sistema, considerando as interações complexas entre os diversos fatores identificados.

9.4 REALIZAR ESTUDOS DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL PARA A TERCEIRA SAFRA

9.4.1 Introdução

A segurança alimentar, um direito humano fundamental, enfrenta desafios significativos devido ao aumento previsto de 35% a 56% na demanda mundial por alimentos (van Dijk et al., 2021). Essa preocupação é agravada pelos eventos adversos das mudanças climáticas, que têm potencial para impactar negativamente a produção agrícola global (IPCC, 2023; WEF, 2023). Diante desse cenário, torna-se imperativo desenvolver estratégias que elevem e assegurem a produção agrícola, especialmente em condições climáticas desfavoráveis.

A agricultura irrigada emerge como uma possível solução para a produção agrícola sustentável, capaz de mitigar os impactos causados pelas mudanças climáticas (Bernardo et al., 2019). Esta técnica apresenta vantagens notáveis em comparação à agricultura de sequeiro, incluindo a maior produtividade dos cultivos, redução dos riscos de produção, uso

contínuo da área e equipamentos e integração com tecnologias complementares, além de permitir a produção de culturas alimentares como arroz, feijão e trigo sem competir com a janela produtiva tradicional (ANA, 2021; CONAB, 2023).

O estado do Mato Grosso destaca-se, como um polo agrícola de grande relevância na produção nacional de alimentos. Atualmente, a área irrigada no estado abrange cerca de 220 mil hectares, com um potencial de expansão estimado em até 3,93 milhões de hectares a curto e médio prazo (ANA, 2021). Notavelmente, a região se caracteriza pela produção de commodities como soja, milho e algodão, responsáveis por 98% do valor bruto da produção (IBGE, 2022). Para evitar a competição com a janela produtiva destas culturas, a incorporação de uma terceira safra se apresenta como uma estratégia possivelmente viável.

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade econômica, os principais aspectos agronômicos e as estratégias de manejo de irrigação para cultivos de Feijão, Arroz, Girassol e Trigo cultivados em terceira safra nos polos de Irrigação Nacionais do Alto Teles Pires e Alto Rio das Mortes.

9.4.2 Métodos

9.4.2.1 Área de Estudo

O estudo foi conduzido nos polos nacionais de agricultura irrigada do Alto Teles Pires (ATP) e Alto Rio das Mortes (ARM), localizados no estado do Mato Grosso (ANA, 2020). A localização geográfica do estado compreende a latitude de 18,04° S a 7,34° S e longitude 61,63° W a 50,22° W, região Centro-Oeste do Brasil. O clima, segundo a classificação Köppen, é categorizado como Am (clima tropical úmido ou sub-úmido), norte do estado; e Aw (tropical com inverno seco), centro-sul do estado (Alvares et al., 2013). Atualmente, a área irrigada no estado é de aproximadamente 220 mil hectares, com um potencial de expansão de até 3,93 milhões de hectares (ANA, 2021).

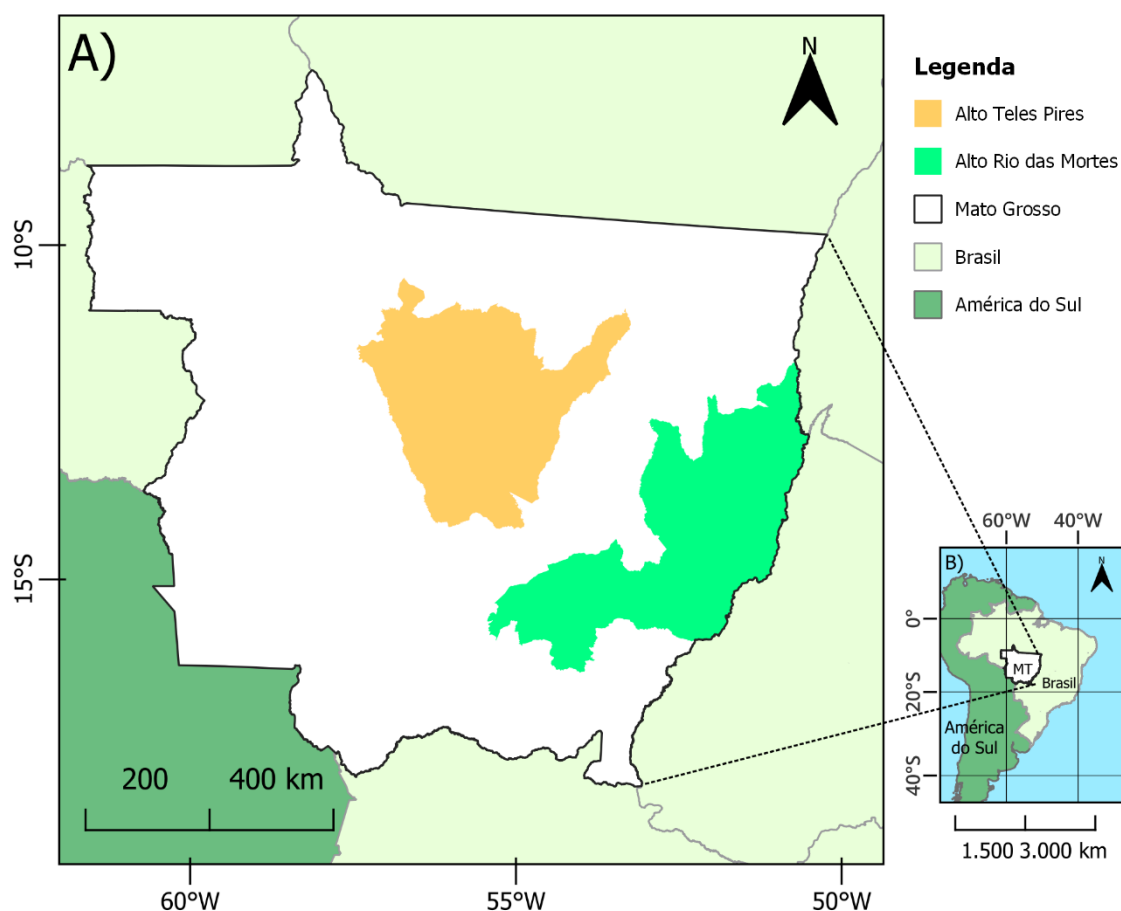


Figura 9.26 - Mapa da área de estudo com a delimitação das bacias do Alto Teles Pires e Alto Rio das Mortes. (A) Limites das bacias hidrográficas, destacando os polos nacionais de irrigação delimitados pela ANA. (B) Localização do estado do Mato Grosso e do Brasil no contexto da América do Sul.

9.4.2.2 Definição do Sistema de Simulação

Foi desenvolvido um algoritmo utilizando a versão 3.0.7 da biblioteca AquaCrop-OSPy, uma implementação do modelo AquaCrop em Python® (Kelly & Foster, 2021), com o objetivo de realizar simulações de cultivo de diversas culturas em diferentes condições climáticas e de solo. O algoritmo oferece a flexibilidade de realizar quantas simulações forem necessárias, permitindo definir a data de plantio inicial, o intervalo entre as datas de plantio e o número total de simulações a serem realizadas, proporcionando um controle preciso sobre o planejamento das culturas e a análise de diferentes cenários.

9.4.2.3 Aquisição de Dados

Os dados utilizados nas simulações e análises foram provenientes do “*Brazilian Daily Weather Gridded Data*” (BR-DWGD); Companhia Nacional de Abastecimento

(CONAB); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

9.4.2.3 Aquisição de Dados

9.4.2.3.1 BR-DWGD - Brazilian Daily Weather Gridded Data

As variáveis climáticas utilizadas nas simulações foram obtidas a partir da nova grade de dados climáticos diários proposta por (Xavier et al., 2022), abrangendo o período de 01/01/2001 a 20/03/2024. Para realizar o recorte espacial dos dados, foi empregada a biblioteca ‘*geopandas*’ junto a um arquivo *shapefile* das regiões estudadas. A partir disso, calculou-se a média diária das variáveis climáticas para os polos ATP e ARM.

9.4.2.3.2 CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

O comportamento e evolução das culturas estudadas serão caracterizados com base nos levantamentos de safra disponibilizados pelo órgão, bem como o calendário de plantio. Os custos de produção serão obtidos a partir das séries históricas produzidas pela CONAB, conforme a disponibilidade de cada uma.

9.4.2.3.2 CONAB – IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Foram obtidos os valores absolutos de produção, área plantada e outras informações disponíveis na Pesquisa Agrícola Municipal – PAM, desenvolvida pelo IBGE, que foram utilizadas para caracterização do cenário da terceira safra e produção de grãos do estado.

9.4.2.4 Simulação dos Cultivos

As simulações foram conduzidas utilizando o algoritmo descrito anteriormente, abrangendo as duas regiões estudadas e totalizando 132.480 execuções. As parcelas experimentais foram submetidas a diferentes estratégias de manejo de irrigação, utilizando o método 4 do *IrrigationManagement* no AquaCrop-OSPy, no qual a irrigação é acionada quando a umidade do solo atinge os limites de 20%, 40%, 60%, 80% e 100% da capacidade de campo, além de uma condição de sequeiro, conforme o método descrito por (Kelly & Foster, 2021).

Foram avaliadas quatro culturas – feijão, arroz, girassol e trigo – com datas de plantio estabelecidas de forma padronizada: todas iniciam em 01/04, com intervalos de 15 dias entre as datas. O número de simulações variou conforme a cultura, totalizando 8 datas para o feijão, 5 para o arroz, 5 para o girassol e 6 para o trigo.

Tabela 9.4 - Parâmetros utilizados para cada uma das culturas nas simulações ao longo de 23 anos.

Cultura	Início	Nº de datas de plantio	Intervalo	Total de Simulações
Feijão	01/04	8	15	44.160
Arroz	01/04	5	15	27.600
Girassol	01/04	5	15	27.600
Trigo	01/04	6	15	33.120

Os dados climáticos diários – ETo, temperaturas máximas e mínimas e precipitação – foram obtidos a partir da BR-DWGD. Adicionalmente, as simulações consideraram cinco tipos de solo, especificamente: *Clay*, *ClayLoam*, *Loam*, *Sand* e *SandyLoam*. Essa abordagem permitiu avaliar a resposta das culturas em diferentes condições edafológicas, contribuindo para uma compreensão abrangente da interação entre manejo de irrigação, características do solo e desempenho econômico.

Tabela 9.5 - Parâmetros das texturas de solo padrão utilizadas nas simulações.

Textura	CC%	PMP%	SAT%
<i>Clay</i>	54	39	55
<i>ClayLoam</i>	39	23	50
<i>Loam</i>	31	15	46
<i>Sand</i>	13	6	36
<i>SandyLoam</i>	22	10	41

9.4.2.4.1 Demanda Hídrica

No modelo AquaCrop, o cálculo da demanda hídrica de uma cultura é fundamental para estimar a quantidade de água necessária ao longo do ciclo de cultivo e, posteriormente, a sua produtividade. Os dados de clima disponíveis, tanto das fazendas quanto do BR-DWGD, já fornecem a evapotranspiração de referência (ET_o). A demanda hídrica é calculada com base na transpiração da cultura (Tr), que é obtida a partir do produto do coeficiente basal da cultura (K_{cb}) pela ET_o , somada à evaporação do solo (E). O K_{cb} , por sua vez, é determinado multiplicando a cobertura de dossel ou *green canopy cover* (CC) pelo K_{cbx} , que é o coeficiente quando a CC está completamente desenvolvida ($CC=1$) (Raes et al., 2009; Steduto et al., 2009). O cálculo da evaporação do solo é um processo complexo e pode ser consultado em Raes et al. (2009). As equações estão representadas abaixo:

$$ET_c = Tr + E \quad (1)$$

$$Tr = K_{cb} \times ET_o \quad (2)$$

$$K_{cb} = (CC^* \times K_{cb_x}) \quad (3)$$

aqui, CC^* refere-se à versão ajustada de CC , que considera efeitos de microadvecção e sombreamento parcial para refinar o cálculo de transpiração.

Por fim, a necessidade de irrigação é determinada subtraindo-se a precipitação efetiva da demanda hídrica total (ET_c), além de considerar a água disponível no solo (AD) e a capacidade total de água no solo (CTA).

9.4.2.4.2 Estimativa de Produtividade

O AquaCrop permite simular a resposta à água e rendimento de diferentes culturas por meio da sensibilidade de quatro coeficientes de estresse, os quais incluem expansão da copa, condutância estomática, senescência da copa e índice de colheita. Os valores de evapotranspiração são convertidos em transpiração, evitando a interferência da componente evaporação na estimativa de consumo (Raes et al., 2009). Os dados de entrada necessários para a alimentação do sistema são: Temperaturas Máxima e Mínima; Precipitação e Evapotranspiração de Referência (ET_o), além das características da cultura e de solo (Lyu et al., 2022; Raes et al., 2023). Sendo então o rendimento da cultura (Y_a) definido pelo produto

do índice de colheita (HI) pela biomassa total acumulada (B), de acordo com as equações descritas por Steduto et al. (2009).

$$B = WP \times \sum Tr \quad (4)$$

$$Ya = B \times HI \quad (5)$$

onde, B corresponde à biomassa acumulada, WP à produtividade da água e Tr à transpiração diária.

9.4.2.4.3 Lucratividade estimada

O lucro bruto (LB) da atividade agrícola pode ser expresso pela diferença entre o somatório das receitas (R, em R\$) e o somatório dos custos (C, em R\$):

$$LB = \sum R - \sum C \quad (6)$$

sendo, a R calculada a partir do produto entre o valor unitário da produção agrícola (VPU, em R\$) e a Ya.

9.4.3 Resultados e Discussão

9.4.3.1 Histórico Climático da Região

O comportamento das variáveis climáticas para as regiões ATP e ARM está ilustrado na Figura 9.27, que apresenta as médias mensais de uma série histórica de 23 anos, abrangendo precipitação, evapotranspiração de referência (ET_o), temperatura mínima e temperatura máxima. A ET_o representa a demanda atmosférica de água, enquanto a precipitação reflete o volume efetivo de chuvas em cada mês, possibilitando a análise do balanço hídrico anual.

Observa-se que os meses de maior precipitação estão concentrados no início e no final do ano, evidenciando períodos bem definidos de chuva e de seca. Em ATP, a precipitação anual totaliza 1.898 mm, enquanto a ET_o soma 1.413 mm. Embora a precipitação anual seja superior à ET_o, entre maio e setembro ocorre um cenário em que a demanda evaporativa excede o aporte hídrico, caracterizando a estação seca da região.

Na região ARM, a precipitação anual (1.486 mm) é inferior à registrada em ATP, mesmo com a ETo (1.431 mm) apresentando valores próximos aos de ATP. Essa configuração resulta em sete meses com déficit hídrico, o que indica uma maior vulnerabilidade à escassez de água durante o período seco. Adicionalmente, tanto as temperaturas mínimas quanto as máximas em ARM exibem um leve declínio nos meses centrais, coincidindo com o período de menor precipitação.

De maneira geral, os padrões de temperatura em ambas as regiões evidenciam picos de temperatura máxima durante os meses de menor precipitação, enquanto as temperaturas mínimas sofrem uma modesta redução no mesmo intervalo, características associadas ao inverno seco típico do Mato Grosso.

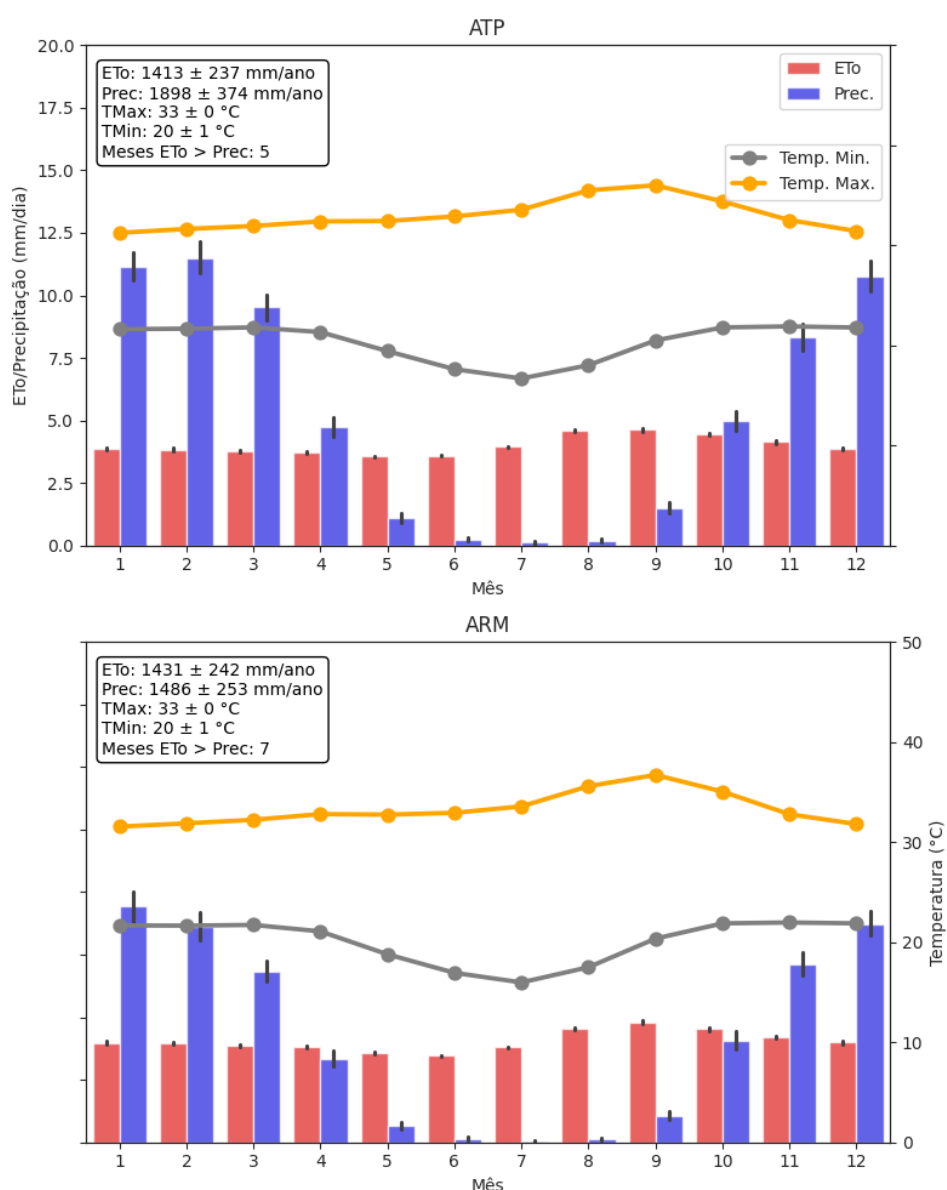


Figura 9.27 - Histórico climático das bacias hidrográficas do Alto Teles Pires e Alto Rio das Mortes.

9.4.3.2 Relevância de variáveis para a produtividade e volume irrigado

A Figura 9.28 apresenta a avaliação da relevância média de quatro atributos – manejo de irrigação, data de plantio, clima e solo – sobre a produtividade (t/ha) e o volume total irrigado (mm) para as culturas do feijão, arroz, girassol e trigo.

Os resultados indicam que o manejo de irrigação é o fator de maior influência em ambas as variáveis analisadas. Para a produtividade, a relevância varia entre 1,08 (trigo) e 1,19 (girassol), enquanto para o total de irrigação, os valores estão entre 0,92 (trigo) e 1,10 (arroz). Esses dados evidenciam que o controle dos níveis mínimos de umidade para reposição hídrica tem um impacto direto na produtividade das culturas, uma vez que períodos de déficit hídrico podem induzir estresse fisiológico, comprometendo o crescimento e o rendimento final.

A data de plantio é o segundo fator mais relevante para a produtividade, com valores de 0,39 para arroz, 0,62 para girassol e 0,63 para feijão e trigo. Esse efeito pode estar relacionado à interação entre o período de desenvolvimento das culturas e a disponibilidade hídrica ao longo do ciclo, considerando que o plantio feito mais cedo ainda pode receber precipitações isoladas. Já para o total de irrigação, a relevância da data de plantio é menor, variando entre 0,18 (arroz) e 0,25 (girassol), indicando que, embora tenha um papel no consumo hídrico, sua influência é mais expressiva na produtividade.

O clima, por sua vez, apresenta impacto reduzido sobre a produtividade, com a menor relevância observada para o arroz (0,13) e a maior para o girassol (0,24). Para o total de irrigação, sua influência é praticamente nula para todas as culturas, o que sugere que o efeito do clima foi atenuado no presente estudo, possivelmente devido ao manejo da irrigação.

Por fim, o solo demonstrou ser o fator de menor relevância, com impacto nulo na produtividade (0,00) e valores baixos para o total de irrigação, variando de 0,04 (feijão) a 0,08 (arroz). Esse resultado pode estar associado ao fato de que os solos avaliados apresentam características semelhantes ou que a irrigação tenha compensado possíveis variações na retenção de água no perfil do solo.

É importante destacar que essa análise considera exclusivamente os efeitos da disponibilidade hídrica, assumindo que outros fatores agronômicos, como fertilidade do solo, controle fitossanitário e manejo de plantas daninhas, estão adequadamente controlados.

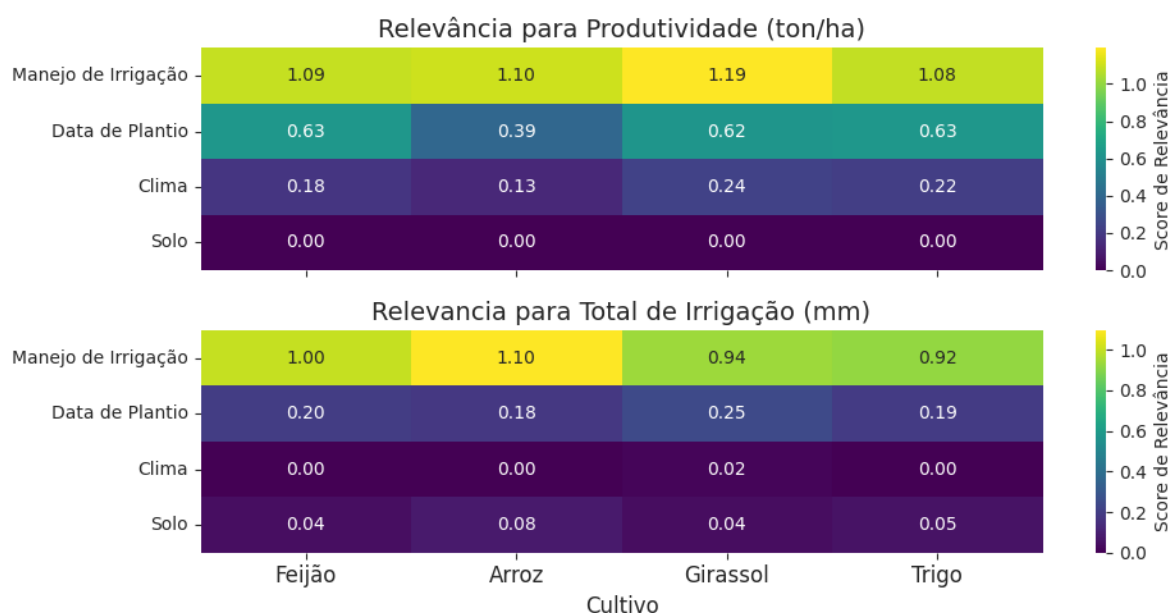


Figura 9.28 - Relevância dos atributos manejo de irrigação, data de plantio, clima e solo na produtividade e no volume total irrigado durante o ciclo do cultivo.

9.4.3.3 Produtividade em função do manejo de irrigação

A Figura 9.29 ilustra a relação entre o manejo de irrigação adotado e a produtividade estimada para diferentes culturas, utilizando uma regressão quadrática como ferramenta de análise. O eixo X representa os diferentes níveis de manejo de irrigação: Sequeiro, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%, enquanto o eixo Y indica a produtividade em toneladas por hectare (t/ha). Para todas as culturas analisadas, os resultados indicam uma tendência de maiores produtividades no ARM em comparação com o ATP.

No caso do feijão, a produtividade máxima estimada pela regressão foi de 3,05 t/ha no ARM e de 2,98 t/ha no ATP, com umidades ótimas de 78,18% e 74,87%, respectivamente. Para o arroz, a produtividade máxima foi de 7,83 t/ha no ARM e de 7,46 t/ha no ATP, sendo as umidades ótimas de 84,68% e 73,47%, respectivamente. No girassol, a maior produtividade observada foi de 4,49 t/ha no ARM e de 4,46 t/ha no ATP, com umidades ótimas associadas de 50,75% e 48,75%, respectivamente. Já para o trigo, os valores máximos foram de 6,29 t/ha no ARM e de 6,21 t/ha no ATP, com umidades ótimas estimadas de 53,25%.

A análise desses dados ressalta a influência direta do manejo da irrigação sobre o rendimento das culturas, demonstrando que a escolha da lâmina de reposição impacta significativamente a produtividade final. A regressão quadrática sugere que há um ponto ótimo de umidade para cada cultura, a partir do qual a produtividade atinge seu valor máximo

antes de começar a declinar. Dessa forma, estratégias de manejo que otimizem a irrigação podem resultar em ganhos expressivos de produtividade, além de contribuir para um uso mais eficiente dos recursos hídricos.

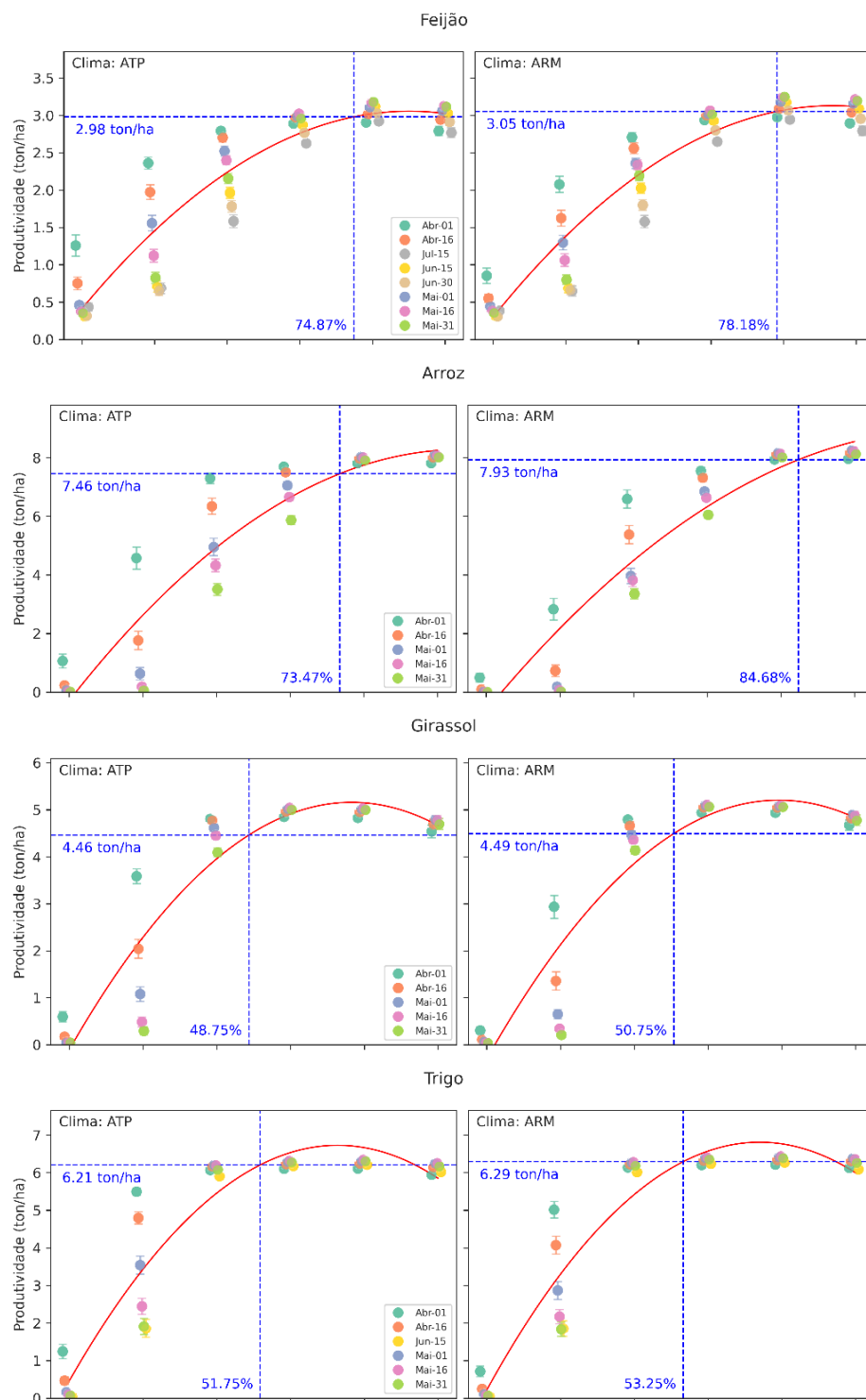


Figura 9.29 - Produtividade estimada em função do manejo de irrigação adotado nas 2 bacias para as 4 culturas estudadas. A linha vermelha indica a regressão quadrática. a linha tracejada horizontal mostra a produtividade máxima na regressão e a linha tracejada vertical indica o limite inferior ótimo de umidade para reposição de lâmina.

9.4.3.4 Produtividade em função da data de plantio

A Figura 9.30 apresenta a variação da produtividade para as datas de plantio simuladas, considerando os diferentes manejos de irrigação e as culturas estudadas. Neste gráfico, para cada cultura, foi adotado o menor valor da produtividade máxima obtida sob condições ótimas de umidade entre as regiões.

Na cultura do feijão, os manejos de 100%, 80% e 60% evidenciam valores muito próximos de produtividade, atingindo uma produtividade máxima normalizada de 2,98 t/ha. Esse comportamento sugere que, para o feijão, níveis elevados de irrigação promovem resultados semelhantes, sem variações significativas entre esses tratamentos.

Para o arroz, os cenários com manejo de 100% e 80% de irrigação apresentam praticamente os mesmos resultados, com uma produtividade máxima de 7,46 t/ha sob a umidade ótima. Esse padrão indica que ambos os níveis de irrigação são suficientes para atingir o potencial produtivo do arroz, sem que haja ganhos adicionais significativos ao se aumentar o manejo para 100%.

No girassol, os manejos de 100% e 80% também demonstram comportamentos muito parecidos, resultando em uma produtividade máxima de 4,46 t/ha. A semelhança entre esses tratamentos sugere que a cultura do girassol responde de maneira similar aos níveis mais elevados de irrigação, e que uma redução moderada no manejo pode não comprometer o rendimento.

Quanto ao trigo, os dados indicam que os manejos de 100%, 80%, 60% e até mesmo 40% conduzem a produtividades praticamente equivalentes. Esse resultado evidencia a resistência do trigo ao estresse hídrico, sugerindo que, para essa cultura, turnos de rega mais espaçados são suficientes para manter a produtividade em patamares ótimos.

Adicionalmente, observa-se que, nos manejos de sequeiro, 20% e 40%, as primeiras datas de plantio – iniciando em 1 de abril – tendem a registrar produtividades superiores em comparação com as datas posteriores. Esse padrão pode ser explicado pela ocorrência de precipitações em abril e no início de maio, que contribuem para que a cultura complete seu ciclo, mesmo que a produtividade final seja reduzida.

Os dados demonstram que tanto o manejo de irrigação quanto a data de plantio são determinantes para a produtividade das culturas estudadas. A identificação da janela ótima de plantio, aliada ao ajuste adequado dos níveis de irrigação, permite otimizar os rendimentos, garantindo resultados mais consistentes para cada cultura.

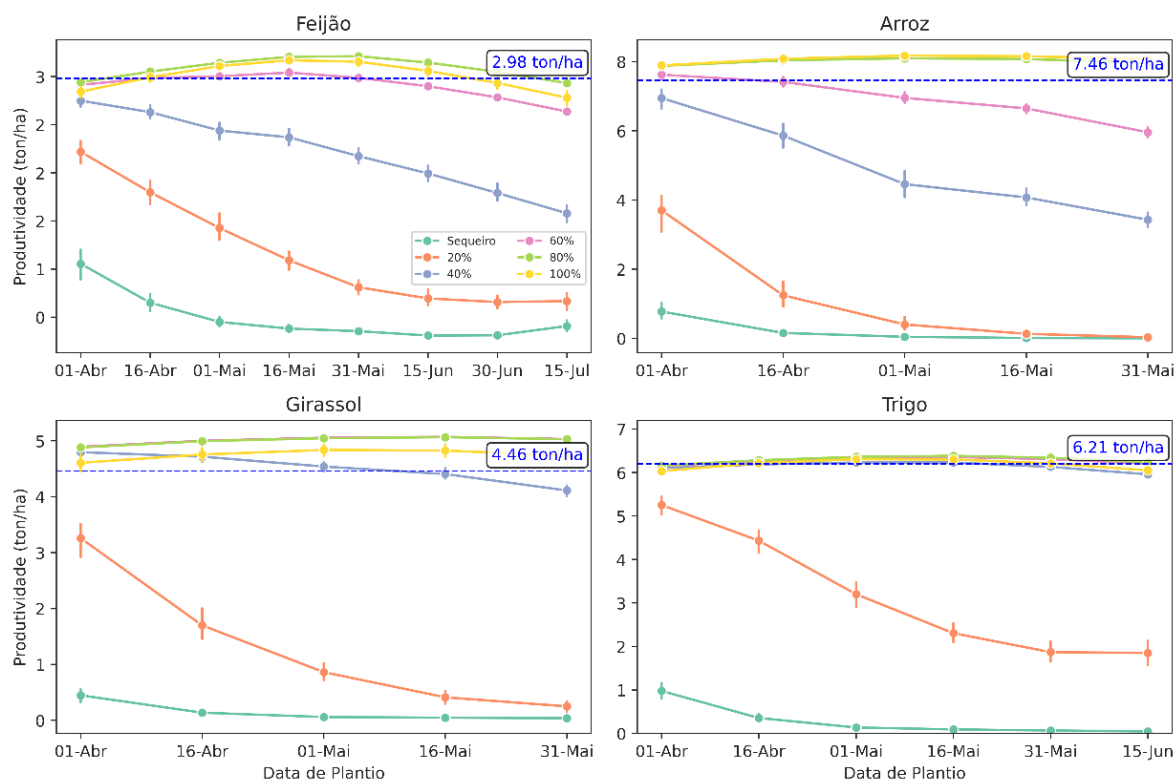


Figura 9.30 - Variação da produtividade em função da data de plantio para as quatro culturas em ambas as regiões.

9.4.3.5 Demanda Hídrica

No contexto da avaliação do consumo de água ao longo dos ciclos produtivos, foi utilizada uma regressão quadrática para estimar o acumulado de irrigação em função dos manejos adotados, ilustrada na figura 9.31. As culturas analisadas – feijão, arroz, girassol e trigo – apresentam demandas hídricas distintas, refletindo suas características fisiológicas e a umidade ótima de reposição estabelecida para cada uma.

No caso do feijão, com uma umidade ótima de 74,87%, o acumulado de irrigação foi de 233,41 mm, o menor entre as culturas, o que pode ser explicado pelo menor comprimento do seu ciclo. Para o arroz, que demanda maior disponibilidade hídrica, o acumulado atingiu 356,92 mm. O girassol, por sua vez, registrou um total de 295,47 mm com uma umidade ótima de 48,75%, e o trigo, com uma umidade ótima de 51,75%, apresentou um acumulado de 303,05 mm.

Observa-se ainda que tanto o trigo quanto o girassol possuem umidades ótimas de reposição inferiores às do feijão e do arroz, indicando que esses cultivos podem ser manejados com intervalos maiores entre as irrigações. Essa prática não compromete significativamente a produtividade e pode contribuir para a redução de custos, além de promover uma utilização mais eficiente dos recursos hídricos.

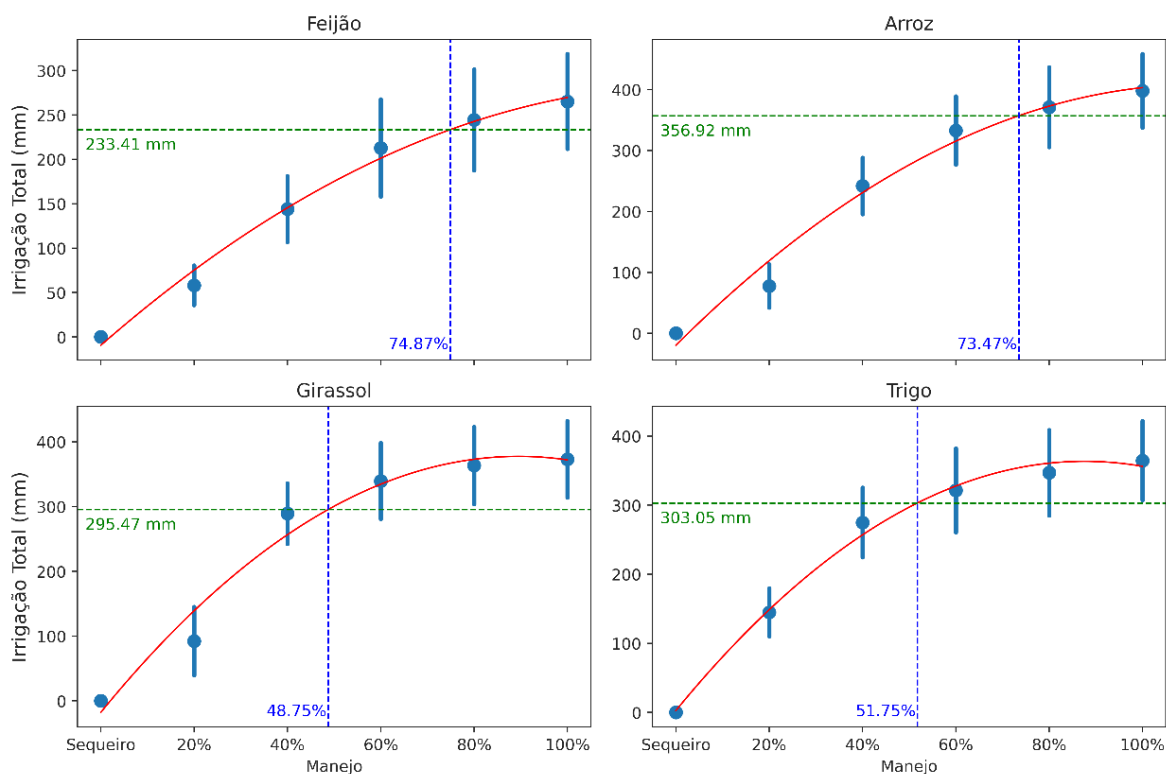


Figura 9.31 - Estimativa do acumulado de irrigação durante o ciclo de cada cultura em função do manejo de irrigação para ambas as regiões.

9.4.3.6 Produtividade da Água

A produtividade da água é definida como a quantidade de produto agrícola (em kg) obtida por unidade de água aplicada (m^3), sendo um indicador essencial da eficiência do uso desse recurso nos sistemas de produção. A Figura 9.32 apresenta os resultados das simulações realizadas para quatro culturas, evidenciando variações nos índices de produtividade da água.

Para o arroz, os valores variaram de 1,63 a 2,12 kg/m^3 , com uma média de 1,87 kg/m^3 , demonstrando um desempenho consistente e relativamente elevado. No trigo, os valores oscilaram entre 1,54 e 1,91 kg/m^3 , resultando em uma média de 1,72 kg/m^3 , o que indica uma eficiência ligeiramente inferior à observada no arroz, mas ainda representativa de um uso eficaz do recurso hídrico.

O girassol apresentou produtividade da água entre 1,16 e 1,49 kg/m^3 , apontando para uma eficiência menor em comparação com os cereais analisados, possivelmente em razão das características fisiológicas da cultura e dos manejos adotados. Já o feijão registrou os menores índices, variando de 0,95 a 1,24 kg/m^3 , o que sinaliza uma menor eficiência no uso da água, possivelmente decorrente de seu ciclo produtivo e das exigências hídricas específicas.

Essas variações podem ser atribuídas a diferenças intrínsecas entre as culturas, como os requisitos hídricos, os ciclos de crescimento e as respostas fisiológicas aos manejos de irrigação. Dessa forma, os dados apresentados ressaltam a importância de adotar práticas de manejo que não só atendam às necessidades de cada cultura, mas que também promovam a otimização do uso da água, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

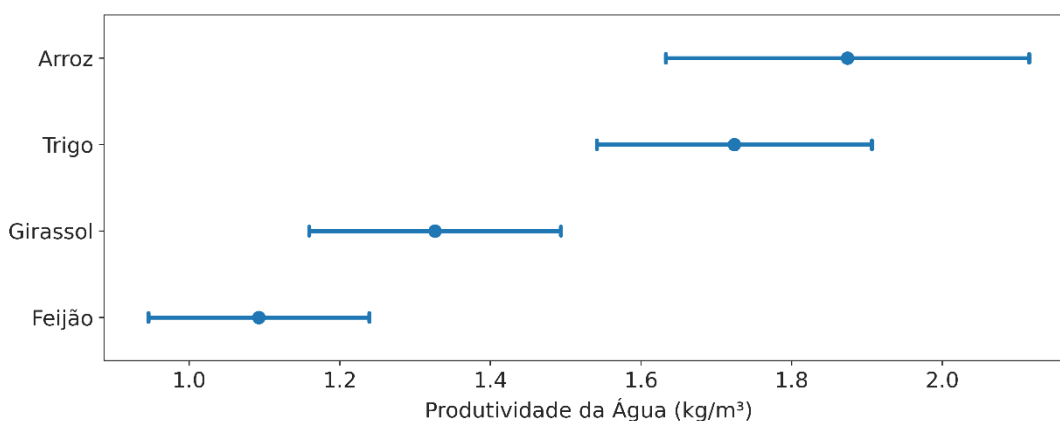


Figura 9.32 - Produtividade da água média para cada uma das culturas.

9.4.3.7 Lucratividade Estimada

A Figura 9.33 apresenta a relação entre as estratégias de manejo de irrigação adotadas em campo e a lucratividade das culturas de feijão, arroz, girassol e trigo, conforme modelada por regressões quadráticas. Cada cultura apresenta um ponto de equilíbrio econômico específico, ou seja, um limiar mínimo de irrigação a partir do qual a produção se torna rentável, seguido por um aumento na lucratividade até um valor máximo.

No caso do feijão, a lucratividade passa a ser positiva a partir de 57,31% de reposição de lâmina, atingindo o pico de aproximadamente R\$.1369/ha com 89% de manejo. Para o arroz, embora o ponto de equilíbrio ocorra com 41,51% de manejo, o modelo de regressão quadrática estima um retorno máximo de cerca de R\$3.902/ha para 115,55% de manejo. Como esse valor ultrapassa o limite prático de 100%, ele deve ser interpretado como uma indicação de que a cultura se beneficia de intervalos mais curtos entre as irrigações, ou seja, manutenção da umidade do solo na capacidade de campo. O girassol torna-se lucrativo a partir de 34,70%, com seu máximo de aproximadamente R\$2.128/ha atingido com 77,34% de manejo, enquanto o trigo apresenta viabilidade econômica a partir de 35,56%, maximizando seus ganhos, cerca de R\$2.166/ha, com 72,61% de reposição.

Esses resultados evidenciam a importância de ajustar as estratégias de manejo de irrigação às características específicas de cada cultura. A definição do limiar ideal para

acionar a irrigação não apenas otimiza o uso dos recursos hídricos, mas também maximiza os retornos econômicos, contribuindo para uma prática agrícola sustentável e economicamente viável.

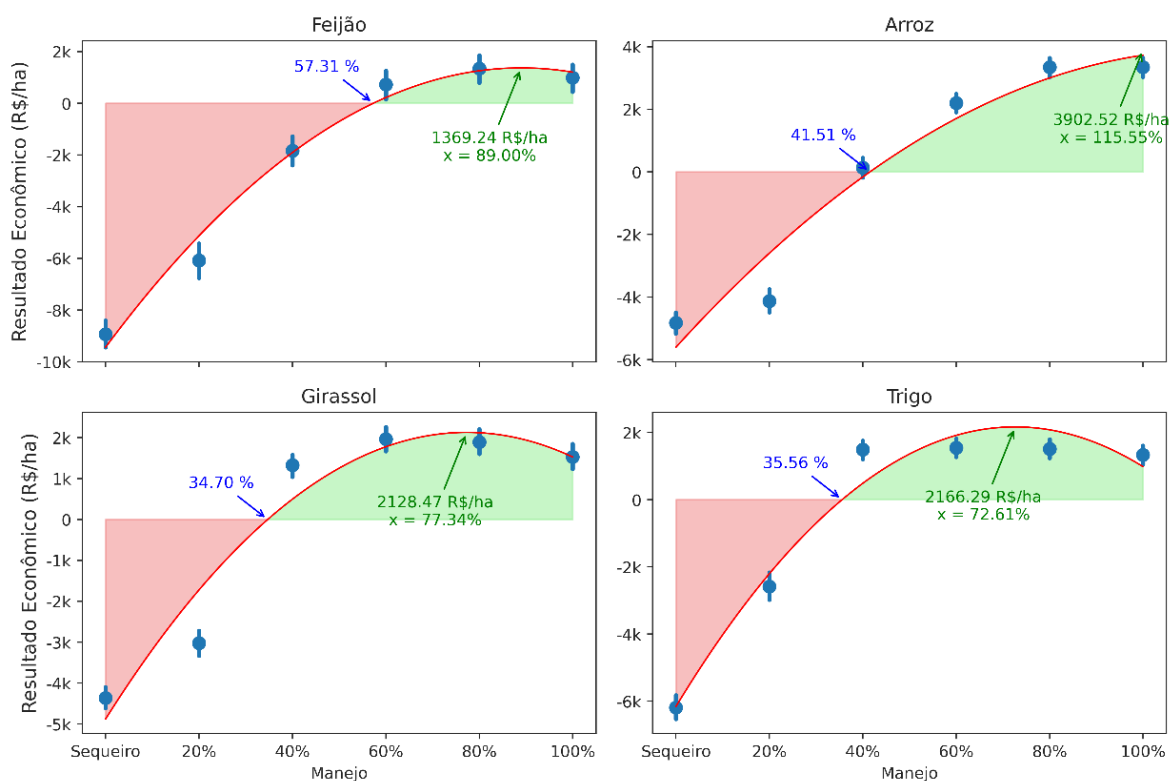


Figura 9.33 - Variação da lucratividade dos cultivos em função do manejo de irrigação utilizado.

9.4.4 Conclusão

O estudo evidenciou que o manejo de irrigação é o principal determinante da produtividade e do consumo hídrico nas culturas de feijão, arroz, girassol e trigo na terceira safra do Mato Grosso. As simulações, baseadas no modelo AquaCrop-OSPy e apoiadas em dados climáticos e edafológicos robustos, demonstraram que cada cultura apresenta um ponto ótimo de reposição hídrica, refletindo suas demandas específicas e influenciando diretamente os rendimentos obtidos. Mesmo diante de variações sazonais e regionais, o ajuste preciso dos níveis de irrigação permite a produção de forma eficiente durante a estação seca.

A data de plantio também se destacou como fator relevante, principalmente nos cenários de sequeiro e com intervalo de irrigação maiores, onde a sincronização com períodos de chuva pode compensar a menor aplicação de água. A análise dos dados revelou que, ao otimizar o *timing* do plantio, é possível potencializar os ganhos produtivos sem necessariamente aumentar o volume de irrigação, mantendo a eficiência no uso dos recursos

hídricos. Dessa forma, a combinação entre manejo adequado e calendário de plantio torna-se uma estratégia eficaz para maximizar a produtividade das culturas.

Os resultados indicam que a lucratividade das culturas depende de um manejo de irrigação que atinja um limiar mínimo, a partir do qual os retornos financeiros aumentam de forma expressiva até se estabilizarem em um ponto ótimo. Esse equilíbrio entre a quantidade de água aplicada e a eficiência do manejo não só maximiza os lucros, mas também assegura uma utilização mais sustentável dos recursos hídricos. Assim, a implementação de práticas integradas de manejo, considerando de forma detalhada os fatores climáticos e edafológicos, torna-se indispensável para garantir a viabilidade técnica, econômica e ambiental da produção irrigada na região.

9.5 PROPOR ESTRATÉGIAS PARA UM SISTEMA DE FERTIRRIGAÇÃO EFICIENTE E CONFIÁVEL EM ÁREAS IRRIGADAS

9.5.1 Resumo

Projeções indicam um aumento substancial da população nos próximos anos, ampliando a demanda por alimentos, energia e fibras. Para atender a essa demanda, a produção agropecuária deve focar no aumento da produtividade e uso intensivo da terra. A agricultura irrigada se destaca nesse contexto pelo potencial de aumentar a produtividade e mitigar os efeitos das mudanças climáticas. A caracterização dos Polos de Irrigação é crucial para compreender os desafios enfrentados pelos produtores. Este trabalho teve como objetivo caracterizar o panorama atual do manejo de irrigação e fertirrigação e modelar potencial da fertirrigação na economia de nitrogênio e incremento de produção nas áreas irrigadas dos Polos de Irrigação do Médio Norte e do Sul do estado do Mato Grosso. Mais da metade da área irrigada é gerida por métodos climáticos, com a energia elétrica e a manutenção dos sistemas de irrigação sendo os principais motivos para a adoção desses métodos. Embora a fertirrigação por pivô central não seja amplamente adotada, águas residuárias são usadas em propriedades que integram pecuária e agricultura, visando destinação adequada de resíduos, redução de custos com fertilizantes e resultados agronômicos positivos. A modelagem demonstrou que a fertirrigação com uréia possui um elevado potencial para economizar nitrogênio e aumentar a produção, promovendo uma agricultura mais sustentável. Os benefícios econômicos e produtivos justificam o investimento em equipamentos injetores para fertirrigação.

9.5.2 Introdução

Estudos projetam uma população mundial superior a nove bilhões de habitantes em 2050 (UNITED NATIONS, 2024), o que aumentará a demanda por alimentos, energia e água, recursos essenciais para a vida, crescimento econômico e progresso da humanidade (ABDI; SHAHBAZITABAR; MOHAMMADI-IVATLOO, 2020). Para atender essa demanda, a produção de alimentos precisará aumentar em 70% (BRUINSMA, 2009), enquanto a produção de energia e o consumo de água deverão crescer 80% e 55%, respectivamente, até 2050 (OECD, 2022).

Estudos indicam que 90% da expansão da produção de alimentos deverá ser por meio do aumento de produtividade e do uso intensivo da terra (FAO, 2021). A irrigação é uma estratégia potencial para incrementar a produtividade agropecuária, permitindo o cultivo de até três safras por ano. Historicamente, a agricultura irrigada foi crucial para o desenvolvimento e prosperidade de muitas civilizações antigas (BERNARDO et al., 2019). Atualmente, a agricultura irrigada é responsável por produzir cerca de 40% dos alimentos do mundo, utilizando apenas 20% da área cultivada (FAO, 2021). No futuro, a irrigação provavelmente desempenhará um papel ainda mais importante para aumentar a produção de alimentos, especialmente diante dos desafios e incertezas causados pelas mudanças climáticas globais.

A área irrigada no Brasil foi de 8,2 milhões de hectares em 2019. No entanto, o potencial total de área adicional irrigável é de 55,85 milhões de hectares, com um potencial efetivo de 13,69 milhões de hectares. A região Centro-Oeste do Brasil possui o maior potencial de área adicional irrigável, destacando-se o estado do Mato Grosso, que detém 18,6% do potencial total (3,93 milhões de ha) e 28,7% do potencial efetivo (10,36 milhões de ha) de área adicional irrigável (BRASIL, 2021).

Atualmente, a área irrigada do Mato Grosso é de pouco mais de 250 mil ha, concentrada principalmente em dois grandes Polos de Irrigação, Médio Norte e do Sul (APROFIR, 2022). O sistema de irrigação predominante é pivô central (BRASIL, 2021). A região dos Polos de Irrigação é caracterizada por sua diversidade de cultivos e intensa atividade agrícola (IBGE, 2024), o que exige a aplicação de grandes quantidades de fertilizantes para manter uma elevada produtividade.

O Brasil importa uma grande parte dos fertilizantes utilizados na produção agrícola, representando cerca de 75% do volume total e um desembolso de US\$ 24,7 bilhões em 2022, com destaque para os fertilizantes nitrogenados (COMEXSTAT, 2021). Mato Grosso é o

maior importador de fertilizantes entre os estados brasileiros. Devido à sua dinâmica no solo e ao potencial de perdas (SILVA et al., 2017), o nitrogênio é frequentemente aplicado de forma parcelada ao longo do ciclo das culturas. Diversos tipos de insumos agrícolas, incluindo fertilizantes nitrogenados, podem ser aplicados juntamente com a água de irrigação. As características dos fertilizantes nitrogenados, como a alta solubilidade em água, facilitam a aplicação através da fertirrigação. Essa técnica tem demonstrado resultados satisfatórios, com incremento de produtividade e aumento da eficiência dos fertilizantes em diversos cultivos (LI et al., 2021).

Atualmente, o estado do Mato Grosso enfrenta uma série de desafios complexos relacionados à gestão de recursos hídricos, disponibilidade de energia elétrica, morosidade no licenciamento ambiental e, principalmente, a falta de dados e informações precisas, que caracterizam e quantificam os principais desafios enfrentados pelos produtores. Diante desse cenário, estudos que avaliam o panorama atual do manejo de irrigação e a adoção da fertirrigação são cruciais para traçar estratégias de gestão governamental, visando a promoção de uma produção agrícola sustentável. Esses estudos fornecem uma base sólida para o desenvolvimento de políticas e práticas que podem melhorar a eficiência dos recursos, reduzir o impacto ambiental e aumentar a produtividade agrícola.

9.5.3 Objetivos

9.5.3.1 Objetivo Geral

Caracterizar o panorama atual do manejo de irrigação e fertirrigação e modelar potencial da fertirrigação na economia de nitrogênio e incremento de produção nas áreas irrigadas dos Polos de Irrigação do Médio Norte e do Sul do estado do Mato Grosso.

9.5.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar abrangência, tomada de decisão, motivos da adoção e métodos de manejo de irrigação.
- Caracterizar insumos aplicados, equipamentos injetores e motivos para a adoção da técnica fertirrigação.
- Modelar o potencial de economia de nitrogênio por meio da adoção da técnica fertirrigação em pivô central baseado na safra 2021/2022.

- Modelar o potencial de incremento de produtividade por meio da fertirrigação nitrogenada em pivô central baseado na safra 2021/2022.

9.5.4 Material e Métodos

9.5.4.1 Área de Estudo

A área de estudo corresponde aos Polos de Irrigação do Médio Norte e do Sul do estado de Mato Grosso, Brasil (Figura 9.34). Atualmente, o estado de Mato Grosso possui uma área irrigada de cerca de 250 mil ha. A área irrigada em cada Polo de Irrigação é aproximadamente 109,7 mil ha para Médio Norte e 53,7 mil, com área média por pivô central de 134,4 ha e 122,6 ha, respectivamente.

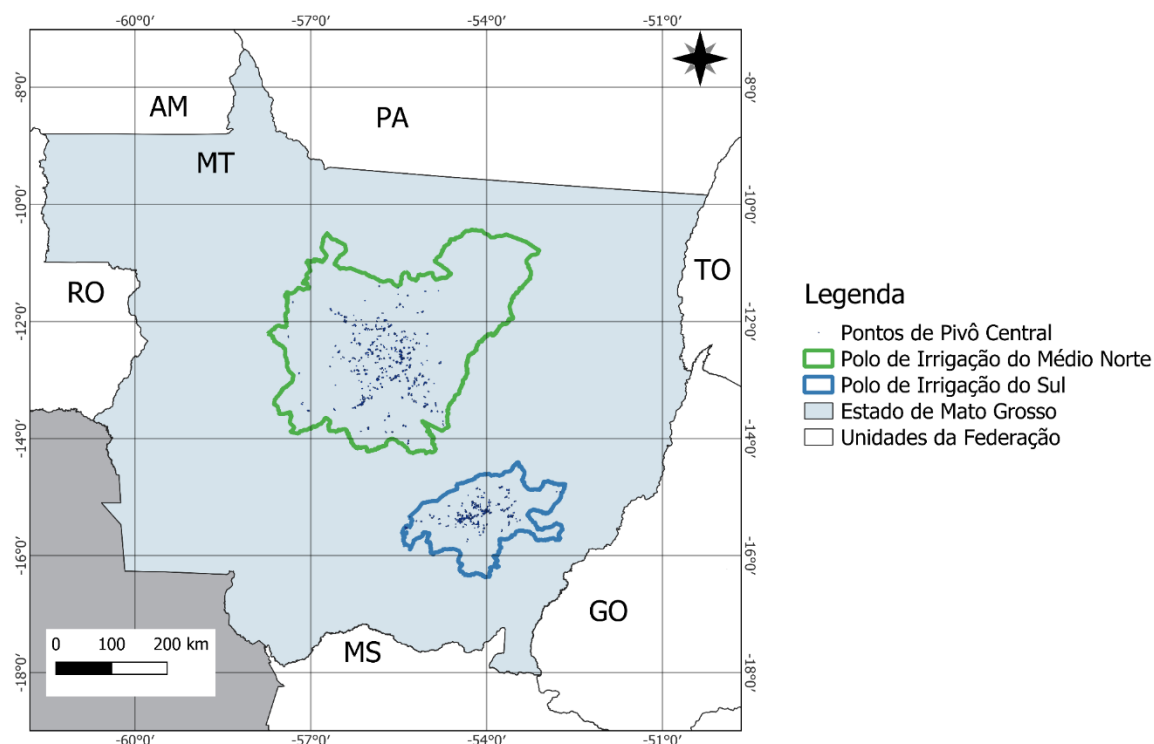


Figura 9.34 - Localização geográfica dos Polos de Irrigação do Médio Norte e do Sul do estado de Mato Grosso, Brasil, e dos pontos de pivô central.

O Polo de Irrigação Médio Norte está localizado na região do Alto Rio Teles Pires, abrangendo uma área de aproximadamente 312.878 km², sendo composto pelos municípios de Cláudia, Feliz Natal, Ipiranga do Norte, Itanhangá, Lucas do Rio Verde, Nova Mutum, Nova Ubiratã, Porto dos Gaúchos, Santa Carmem, Santa Rita do Trivelato, Sinop, Sorriso, Tapurah, União do Sul, Marcelândia, São José do Rio Claro, Nova Maringá, Vera, Tabaporã, Alta Floresta, Brasnorte, Campo Novo do Parecis, Diamantino, Gaúcha do Norte, Itaúba,

Juara, Nobres, Nova Santa Helena, Nova Canaã do Norte, Novo Horizonte do Norte, Paranatinga, Peixoto de Azevedo, Querência, São José do Xingu, Rosário Oeste, São Félix do Araguaia.

O Polo de Irrigação do Sul está localizado na região do Alto Rio das Mortes, abrangendo uma área de aproximadamente 115.552 km², sendo composto pelos municípios de Barra do Garças, Campinápolis, Campo Verde, Chapada dos Guimarães, Cuiabá, Dom Aquino, General Carneiro, Guiratinga, Jaciara, Juscimeira, Nova Brasilândia, Nova Xavantina, Novo São Joaquim, Paranatinga, Planalto da Serra, Pontal do Araguaia, Poxoréu, Primavera do Leste, São José do Povo, São Pedro da Cipa, Rondonópolis, Santo Antônio do Leste e Tesouro.

9.5.4.2 Visita de Campo

Para levantamento dos dados sobre manejo de irrigação e sobre adoção da técnica de fertirrigação foram realizadas visitas ao estado do Mato Grosso. O período de visita a campo foi entre 15/01/2024 a 02/02/2024 na Região do Polo de Irrigação do Médio Norte.

Durante a visita, 16 fazendas foram visitadas totalizando uma área irrigada de 9987 ha, sendo 98,7% da área irrigada continha sistema de irrigação por pivô central.

9.5.4.3 Coleta de Dados de Campo

A situação atual do manejo da irrigação e do uso da técnica fertirrigação no Polo de Irrigação Alto Teles Pires foi determinada por meio de questionários aplicados aos produtores durante a visita realizada. Sobre manejo de irrigação, as perguntas dos questionários foram relacionadas ao uso de manejo de irrigação, área irrigada, método de manejo, motivos para adoção e não adoção do manejo de irrigação, vantagens e desvantagens e tomada de decisão de irrigação. Sobre uso da técnica fertirrigação, as perguntas dos questionários foram relacionadas ao uso da fertirrigação, equipamentos adotados, tipos e doses de insumos aplicados, motivos para adoção e não adoção da fertirrigação, vantagens e desvantagens e desafios.

9.5.4.4 Potencialidades da Fertirrigação

Para avaliar as potencialidades da adoção da fertirrigação foi realizado uma simulação com dados da safra 2021/2022 considerando que 100% da dose de nitrogênio

praticada foi aplicada via água de irrigação. Para quantificar as potencialidades da fertirrigação foram calculados o potencial de economia de nitrogênio e potencial de incremento de produtividade.

9.5.4.4.1 Caracterização da Área Irrigada na Safra 2021/2022

Para modelagem a implementação da fertirrigação em pivô central, foi considerada a safra 2021/2022. Nessa safra, a área irrigada do estado de Mato Grosso foi de 166133 ha (ANA, 2023), sendo 98701 ha e 52798 ha pertencentes aos Polos de Irrigação do Médio Norte e do Sul, respectivamente (Tabela 9.6). O sistema de irrigação por pivô central é predominante no estado. Nas áreas irrigadas, oito classes de dinâmica agrícola anual foram caracterizadas por meio de um mapeamento realizado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA (ANA, 2023). A área irrigada absoluta e relativa de cada classe está detalhada na Tabela 9.6.

Tabela 9.6 - Área irrigada absoluta e relativa para cada classe de dinâmica agrícola anual de cada Polo de Irrigação do estado do Mato Grosso para a safra 2021/2022.

Classes	Polo do Médio Norte		Polo do Sul	
	Área (ha)	Proporção (%)	Área (ha)	Proporção (%)
SC - Safra Simples	5163	5,23	4056	7,68
DC - Safra Dupla	18892	19,14	19977	37,84
DLC - Safra Dupla (longa)	9244	9,37	13801	26,14
WC - Safra Dupla (inverno)	12479	12,64	101	0,19
TC - Safra Tripla	48493	49,13	11975	22,68
P - Perene	118	0,12	630	1,19
SP - Semiperene	1979	2,01	1675	3,17
Indefinido	2331	2,36	584	1,11
Soma	98701	100,00	52798	100,00

Durante um ano agrícola pode ocorrer até três safras nas áreas irrigadas, exceto para cultivos perenes ou semiperenes. A primeira safra ou safra de verão ocorre no início do período chuvoso respeitando o período do vazio sanitário. A segunda safra ou “safrinha” ocorre na transição entre o período chuvoso e período seco. Por fim, a terceira safra ou safra de inverno ocorre no período seco.

No Polo de Irrigação do Médio Norte, a safra tripla predomina, representando 49,13% da área irrigada. Em contraste, no Polo de Irrigação do Sul, a Safra Dupla é predominante, correspondendo a 37,84% da área irrigada (Tabela 9.6). Com base nas características de cada classe de dinâmica agrícola anual, como época de plantio e duração do ciclo (ANA, 2023),

e nos dados coletados das fazendas durante as visitas de campo, os principais cultivos de cada classe foram designados objetivando a simulação, conforme detalhado na Tabela 9.7.

Tabela 9.7 - Principais cultivos de cada classe de dinâmica agrícola anual das áreas irrigadas dos Polos de Irrigação do Médio Norte e do Sul do Mato Grosso.

Classes	Primeira Safra	Segunda Safra	Terceira Safra
SC - Safra Simples	Soja	-	-
DC - Safra Dupla	Soja	Milho	-
DLC - Safra Dupla (longa)	Soja	Algodão	-
WC - Safra Dupla (inverno)	Soja	-	Feijão
TC - Safra Tripla	Soja	Milho	Feijão
P - Perene	Café		
SP - Semiperene	Cana de Açúcar		
Indefinido	Cultivos não identificados		

9.5.4.4.2 Produtividade e Demanda de Nitrogênio

Para a safra 2021/2022, a produtividade média das áreas irrigadas cultivadas com soja, milho, algodão e feijão foi determinada com base nos dados levantados durante as visitas de campo (Tabela 9.8). Em contraste, a produtividade média das áreas irrigadas cultivadas com café e cana de açúcar foram extraídas do levantamento realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, sendo 1284 kg/ha para o café (CONAB, 2023) e 78323 kg/ha para a cana-de-açúcar (CONAB, 2022).

Tabela 9.8 - Produtividade média e dose de nitrogênio dos principais cultivos de cada classe de dinâmica agrícola anual das áreas irrigadas dos Polos de Irrigação do Médio Norte e do Sul do Mato Grosso.

Cultivo	Produtividade (kg/ha)	Dose de Nitrogênio (kg/ha)
Soja	4410	0
Milho	13651	160
Algodão	5441	261
Feijão	2484	51
Café	1284	200
Cana de Açúcar	78323	114

A demanda de nitrogênio para soja foi considerada zero devido à inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio, uma prática amplamente e exitosamente empregada em todo o Brasil. Contudo, a demanda de nitrogênio para os demais cultivos foi baseada em estudos científicos. Dessa forma, a demanda de nitrogênio foi de 160 kg/ha para milho (COELHO, 2006), 261 kg/ha para algodão (EMBRAPA, 2006), 51 kg/ha para feijão

(EMBRAPA, 2023), 200 kg/ha para café (EMBRAPA, 2003), 114 kg/ha para cana de açúcar (NPCT, 2019).

9.5.4.4.3 Potencial de Economia de Nitrogênio e Potencial de Incremento de Produção

Para a simulação do impacto da fertirrigação nas áreas irrigadas dos Polos de Irrigação, a classe de dinâmica agrícola anual “Indefinidos” não foi incluída na modelagem. Esta exclusão deve-se à incerteza sobre a espécie de planta cultivada e à sua baixa representatividade, que corresponde a aproximadamente de 2,36% e 1,11% da área irrigada nos Polos de Irrigação do Médio Norte e do Sul do estado do Mato Grosso, respectivamente (ANA, 2023).

A simulação do impacto da fertirrigação foi realizada para mensurar a economia de nitrogênio devido à redução das perdas por volatilização de amônia e o aumento de produção devido à maior eficiência no uso do nitrogênio pelos cultivos. Para embasar os cálculos, foram utilizados resultados de estudos científicos. Essa abordagem permitiu estimar os benefícios da fertirrigação, considerando tanto os aspectos agronômicos quanto os econômicos.

A técnica de fertirrigação permite reduzir significativamente as perdas de nitrogênio, incluindo volatilização de amônia, emissão de óxidos nitrosos e lixiviação de nitrato. Estudos indicam que as perdas podem ser reduzidas de 30,3% para 15,4%, resultando em uma economia de 14,9% da dose de nitrogênio aplicada (ZHENG et al., 2023). Portanto, a adoção da fertirrigação possui um grande potencial para mitigar os impactos ambientais associados ao uso de fertilizantes nitrogenados, promovendo uma agricultura mais sustentável.

Diante disso, a economia de nitrogênio foi calculada para cada classe de dinâmica agrícola anual de cada município de cada Polo de Irrigação por meio da Equação 1, considerando os dados das Tabelas 9.6, 9.7 e 9.8.

$$EN = RPN \times DN \times A$$

Equação 1

Em que, EN é a economia de nitrogênio (ton), RPN é a redução das perdas de nitrogênio (0,149), DN é a dose de nitrogênio (ton/ha) e A é a área irrigada (ha).

Considerando a uréia como único fertilizante fonte de nitrogênio (45% de nitrogênio) e o preço da uréia de R\$ 1900,00 por tonelada, foram calculadas várias métricas relacionadas à economia financeira gerada pela redução das perdas de nitrogênio. As métricas incluem a economia de nitrogênio por área (kg/ha), economia total de uréia (R\$ milhões), economia de uréia por área (R\$/ha) e economia de uréia por pivô central (R\$ por pivô central).

Considerando que a dose de nitrogênio aplicada não foi reduzida, as menores perdas promovidas pela adoção da fertirrigação resultam em um melhor suprimento de nitrogênio às plantas. Isso, por sua vez, pode garantir um aumento na produtividade das culturas (LI et al., 2021). Portanto, o impacto da adoção da fertirrigação pode ser mensurado pelo potencial de economia de nitrogênio ou pelo potencial de incremento de produção.

O potencial de incremento de produção agrícola por meio do uso da técnica de fertirrigação foi relatado em diversos estudos científicos. Este ganho foi de 5,82% para milho (MESQUITA, 2014), 16,5% para o algodão (LI et al., 2021), 3,83% para feijão (CRUCIANI et al., 1998), 25,0% para café (SOARES et al., 1999) e 13,35% para cana de açúcar (SINGH; BRAR; MISHRA, 2020). Portanto, para a simulação, o incremento de produção foi calculado para cada classe de dinâmica agrícola anual de cada município de cada Polo de Irrigação por meio da Equação 2, considerando os dados das Tabelas 9.6, 9.7 e 9.8. Para complementar os benefícios da fertirrigação, o incremento de produtividade em (kg/ha) foi calculado dividindo o incremento de produção pela área irrigada.

$$IP = TI \times P \times A$$

Em que, IP é o incremento de produção (ton), TI é taxa de incremento para cada cultivo, P é produtividade (ton/ha) e A é a área irrigada (ha).

9.5.5 Resultados e Discussão

9.5.5.1 Panorama Atual do Manejo de Irrigação

Entre as fazendas visitadas, sete realizaram o manejo da irrigação, correspondendo a 63% da área (Figura 9.35). Em contrapartida, nove fazendas não adotam o manejo de irrigação. Esses resultados sugerem que fazendas com áreas maiores tendem a implementar

práticas de manejo da irrigação, o que indica uma maior necessidade de gestão eficiente da água.

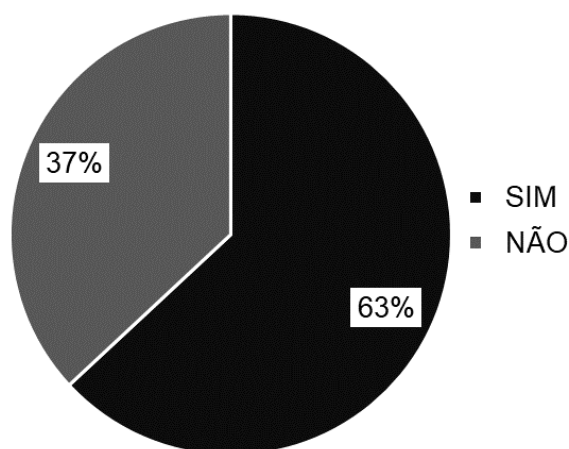


Figura 9.35 - Proporção da área irrigada com e sem manejo de irrigação do Polo de Irrigação do Médio Norte.

O método predominante utilizado pelas fazendas foi o manejo da irrigação baseado em dados climáticos, correspondendo a 86% da área (Figura 9.36). Havia estações meteorológicas nas propriedades para coleta de dados para interpretação e cálculo da evapotranspiração das culturas, permitindo a recomendação da lâmina de irrigação.

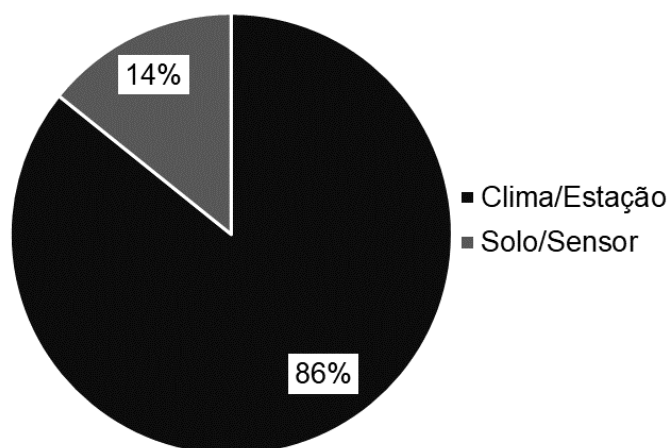


Figura 9.36 - Área irrigada proporcional com os métodos pelo clima e pelo solo para manejo da irrigação.

Entre as fazendas que realizam manejo de irrigação, doze fazendas gerenciam a irrigação internamente, abrangendo metade da área total. A outra metade era gerida com o apoio de uma empresa de consultoria técnica especializada, conforme ilustrado na Figura 9.37. Durante a aplicação dos questionários, observou-se que os produtores possuíam um elevado nível de conhecimento técnico, o que reforça os resultados apresentados.

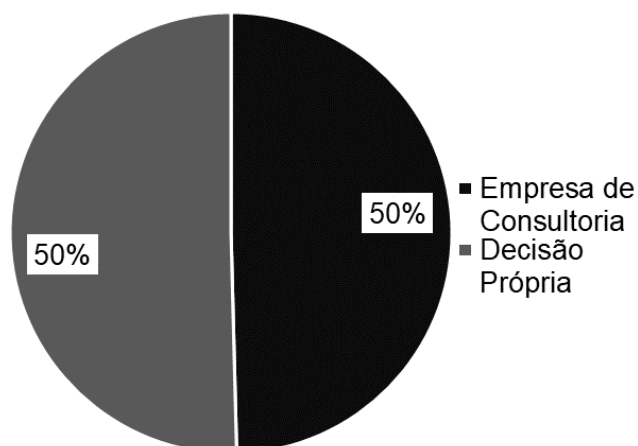


Figura 9.37 - Formas de gerenciamento da decisão de irrigação.

Os motivos mais relatados pelos produtores para contratar uma empresa de consultoria especializada em manejo de irrigação foram o controle da demanda de energia elétrica (42%), a manutenção do sistema de irrigação (42%), os resultados agronômicos (8%) e a exigência de contratos de produção de sementes (8%), conforme apresentado na Figura 9.38. Esses resultados destacam a importância da gestão eficiente da energia elétrica e o papel essencial da consultoria na manutenção da qualidade da irrigação.

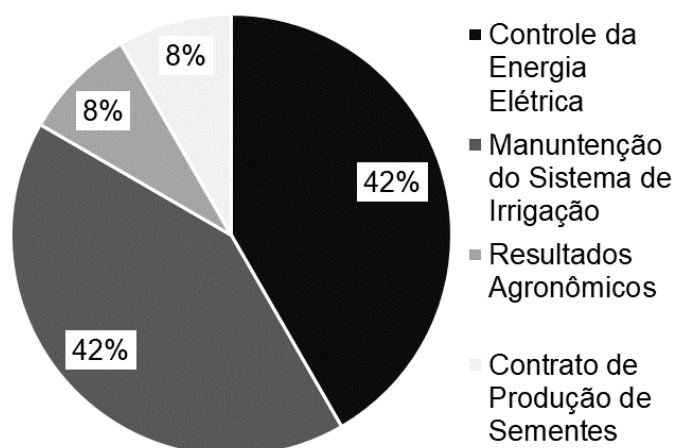


Figura 9.38 - Motivos mais relatados pelos produtores sobre a contratação de uma empresa de consultoria em manejo de irrigação.

Por outro lado, os produtores que não realizam o manejo da irrigação relataram os motivos da ausência de interesse (75%) e custo elevado da contratação de empresa de consultoria especializada (25%), conforme apresentado na Figura 9.39.

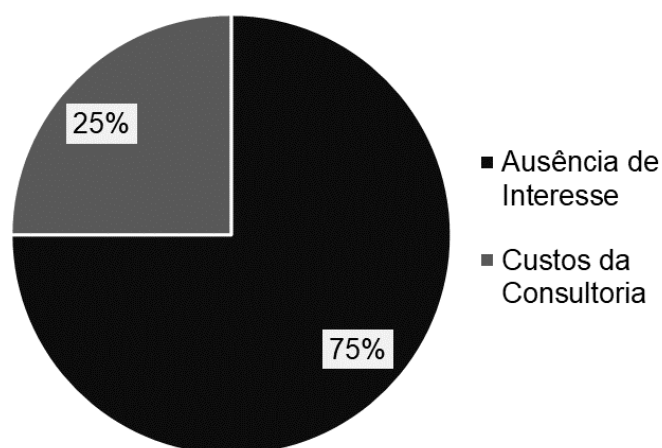


Figura 9.39 - Motivos mais relatados pelos produtores sobre adoção do manejo de irrigação.

9.5.1.2 Panorama Atual da Fertirrigação

Entre as fazendas visitadas, apenas cinco realizam a fertirrigação, correspondendo a 30% da área total (Figura 9.40). Nessas áreas fertirrigadas, que somam 3022 hectares, o insumo aplicado era predominantemente água residuária de suinocultura. Nessa fazenda, motobombas centrífugas eram utilizadas para injetar a água residuária na tubulação do sistema de irrigação. Uma exceção foi observada em uma fazenda, onde se aplicavam fertilizantes nitrogenados e produtos biológicos em uma área de 763 hectares utilizando um equipamento dosador e injetor de fertilizantes.

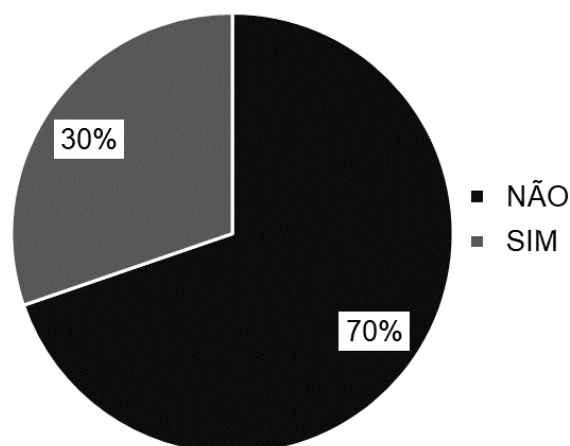


Figura 9.40 - Percentual da área que adotam ou não a técnica de fertirrigação.

Para aqueles que adotam a técnica de fertirrigação, os motivos relatados foram destinação de águas residuárias (57%), resultados agrônômicos (29%) e redução de custos (14%), conforme apresentado na Figura 9.41. Esses resultados indicam que a integração entre pecuária e agricultura favorece a adoção da fertirrigação utilizando a água residuária

como um biofertilizante. Os principais cultivos que recebem águas residuárias são soja, milho, pastagem, algodão e feijão.

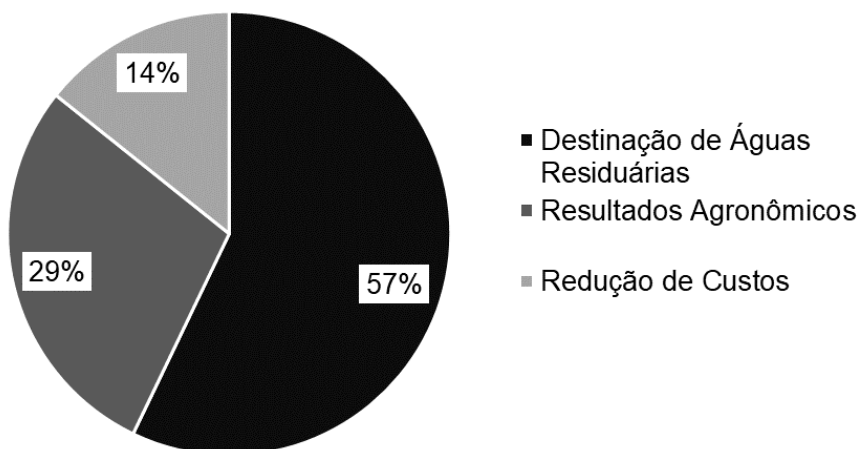


Figura 9.41 - Principais motivos pela adoção da técnica de fertirrigação.

Para os produtores que não realizam a fertirrigação, os motivos relatados foram ausência de interesse (67%), falta de mão de obra (17%) e complexidade da técnica (17%), conforme apresentado na Figura 9.42. Esses resultados indicam que muitos produtores podem estar satisfeitos com os métodos tradicionais de fertilização ou podem não perceber a necessidade de mudar suas práticas atuais. Outros fatores que podem contribuir para o baixo interesse incluem o alto custo inicial de implementação do sistema, a falta de conhecimento técnico sobre os benefícios a longo prazo da fertirrigação, e a disponibilidade limitada de assistência técnica especializada na região.

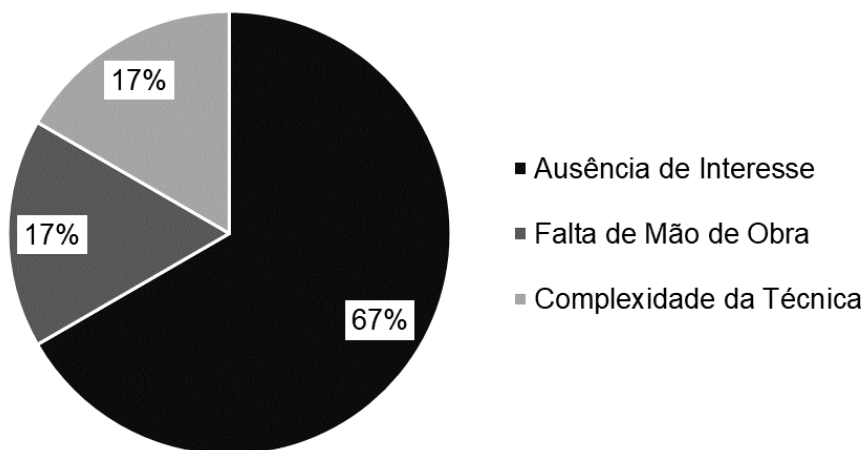


Figura 9.42 - Principais motivos pela não adoção da técnica de fertirrigação.

9.5.1.3 Potencial de Economia de Nitrogênio

O potencial de economia de nitrogênio para cada classe de dinâmica agrícola de ambos os Polos de Irrigação está detalhado na Tabela 9.10. O potencial de economia de nitrogênio total foi de 2464,98 ton e 1437,50 ton para os Polos de Irrigação do Médio Norte e do Sul, respectivamente (Tabela 9.9). A maior área irrigada, juntamente com a predominância da Safra Tripla (Tabela 9.7), que resultou em uma maior quantidade de ureia aplicada, contribuiu para uma economia total de nitrogênio mais elevada no Polo de Irrigação do Médio Norte (Tabela 9.10).

Tabela 9.9 - Potencial de economia de nitrogênio total (toneladas) por classe de dinâmica agrícola anual e polo de irrigação na safra 2021/2022.

Classes	Dose de Nitrogênio Total (kg/ha)	Economia de Nitrogênio Total (ton)	
		Polo de Irrigação do Médio Norte	Polo de Irrigação do Sul
SC - Safra Simples	0	0.00	0.00
DC - Safra Dupla	160	455.18	476.24
DLC - Safra Dupla (longa)	261	359.73	537.05
WC - Safra Dupla (inverno)	51	94.46	0.76
TC - Safra Tripla	211	1523.14	376.13
P - Perene	200	3.53	18.77
SP - Semiperene	114	33.72	28.54
Indefinido	0	0.00	0.00
----- Métricas -----			
Potencial de Economia de Nitrogênio Total (ton)		2469.76	1437.50
Potencial de Economia de Nitrogênio por Área (kg/ha)		24.47	27.23
Potencial de Economia de Uréia Total (R\$ milhões)		10.43	6.07
Potencial de Economia de Uréia por Área (R\$/ha)		103.33	114.96
Potencial de Economia de Uréia por Pivô Central (R\$ por pivô central)		13887.18	14093.52

O potencial de economia de nitrogênio por área e a economia de ureia por área foram aproximadamente 11,2% maiores no Polo de Irrigação do Sul (Tabela 9.9). Em contrapartida, a economia de ureia total foi 71,5% maior no Polo de Irrigação do Médio Norte, correspondendo a aproximadamente R\$10,41 milhões, considerando o preço da ureia de R\$1900,00 por tonelada. Essas diferenças são atribuídas à maior área irrigada no Polo de Irrigação do Médio Norte.

O potencial de economia de uréia por pivô central, considerando a área média do sistema de irrigação, foi de R\$13887,18 para o Polo de Irrigação do Médio Norte e de R\$14093,52 para o Polos de Irrigação do Sul (Tabela 9.9). Como o injetor de fertirrigação pode ser utilizado em mais de um pivô central, a economia financeira resultante da redução das perdas de nitrogênio pode justificar a aquisição de um equipamento que abrange vários pivô central. A fertirrigação não só promove um cultivo mais sustentável, mas também reduz o impacto ambiental associado ao uso de fertilizantes nitrogenados, contribuindo para uma agricultura mais eficiente e responsável.

Analisando de forma geoespacializada, o potencial de economia de nitrogênio foi mais significativo nos municípios de Sorriso (778 ton), Nova Ubiratã (445 ton), Vera (312 ton) e Lucas do Rio Verde (261 ton) do Polo de Irrigação do Médio Norte e de Primavera do Leste (767 ton), Poxoréo e Novo (197 ton) e São Joaquim (155 ton) do Polo de Irrigação do Sul (Figura 9.43).

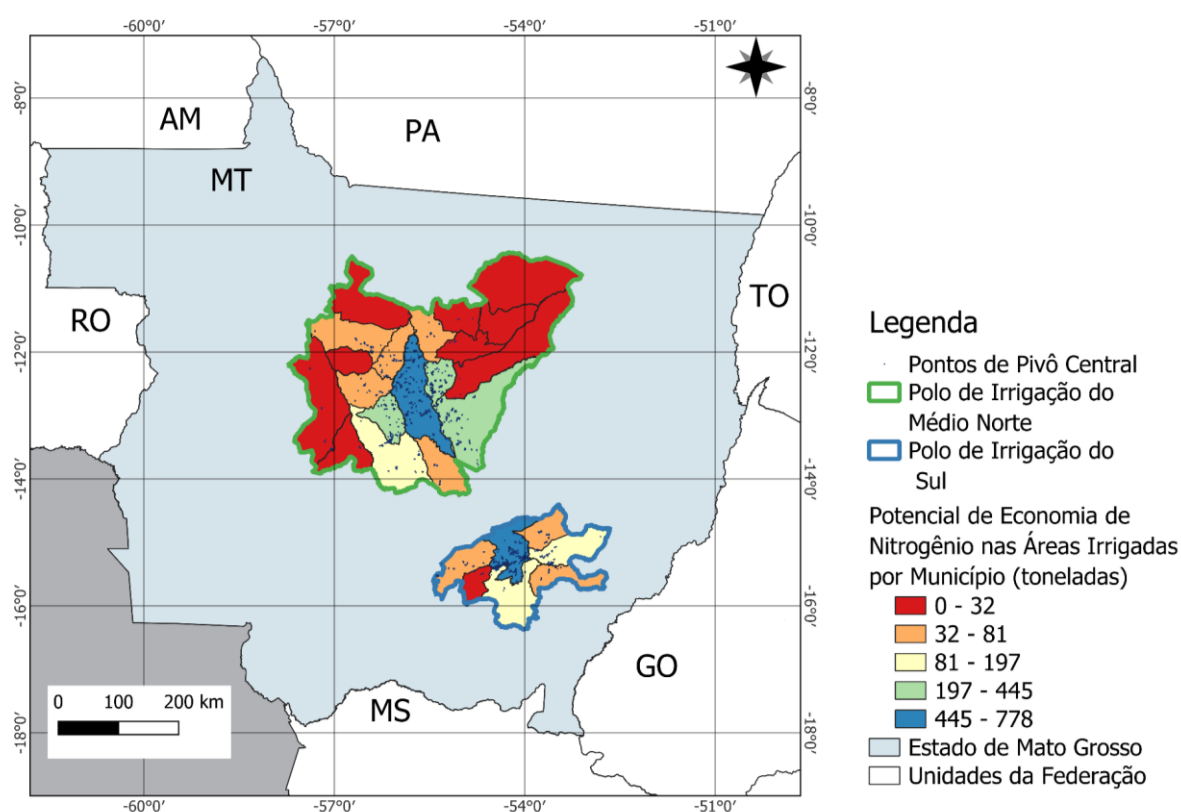


Figura 9.43 - Potencial de economia de nitrogênio (toneladas) nas áreas irrigadas por pivô central por município por meio da adoção da fertirrigação.

Considerando que a dose de nitrogênio aplicada não foi reduzida, as menores perdas promovidas pela adoção da fertirrigação resultam em um melhor suprimento de nitrogênio

às plantas. Isso, por sua vez, pode garantir um aumento na produtividade das culturas (LI et al., 2021). Portanto, o impacto da adoção da fertirrigação pode ser mensurado pelo potencial de economia de nitrogênio ou pelo potencial de incremento de produção.

9.5.1.4 Potencial de Economia de Nitrogênio

O potencial de incremento de produção de cada classe de dinâmica agrícola anual e de cada Polo de Irrigação referente a safra de 2021/2022 (Tabela 9.7), está detalhado na Tabela 9.10. A proporção das classes de dinâmica agrícola e a área irrigada dos Polos de Irrigação proporcionaram diferenças de potencial de incremento de produção, sendo maior no Polo de Irrigação do Médio Norte (Tabela 9.10) possivelmente devido à maior área irrigada e predominância da safra tripla. Por outro lado, o potencial incremento de produtividade foi maior no Polo de Irrigação do Sul (Tabela 9.10), possivelmente devido à safra dupla longa que possui o algodão com cultivo principal da segunda safra que é responsivo à técnica fertirrigação (LI et al., 2021).

Tabela 9.10 - Potencial de incremento de produção por classe de dinâmica agrícola anual e polo de irrigação na safra 2021/2022.

Classes	Incremento de Produção (ton)	
	Polo de Irrigação do Médio Norte	Polo de Irrigação do Sul
SC - Safra Simples	0.00	0.00
DC - Safra Dupla	15169.64	15871.65
DLC - Safra Dupla (longa)	8299.25	12390.08
WC - Safra Dupla (inverno)	1187.30	9.58
TC - Safra Tripla	43142.02	10653.60
P - Perene	38.03	202.18
SP - Semiperene	20693.16	17517.13
Indefinido	0.00	0.00
----- Métricas -----		
Incremento de Produção (ton)	88529.41	56644.22
Incremento de Produtividade (kg/ha)	877.28	1072.84

Em geral, o potencial incremento de produtividade ponderado pela área irrigada relativa de cada classe de dinâmica agrícola anual foi de 4,30% no Polo de Irrigação do Médio Norte e de 5,75% no Polo de Irrigação do Sul. Este resultado sugere que a maior responsividade do algodão, cultivado como segunda safra, classe de Safra Dupla Longa, contribuiu significativamente para os ganhos de produtividade no Polo de Irrigação do Sul.

Analisando de forma geoespacializada, o potencial de incremento de produção pela adoção da fertirrigação nitrogenada para os cultivos analisados foi mais significativo nos municípios de Sorriso (22394 ton), Campo Novo dos Parecis (15427 ton), Nova Ubiratã (12464 ton) e Lucas do Rio Verde (10511 ton) do Polo de Irrigação do Médio Norte e de Primavera do Leste (24893 ton), Campo Verde (197 ton) e Santo Antônio do Leste (155 ton) do Polo de Irrigação do Sul (Figura 9.44).

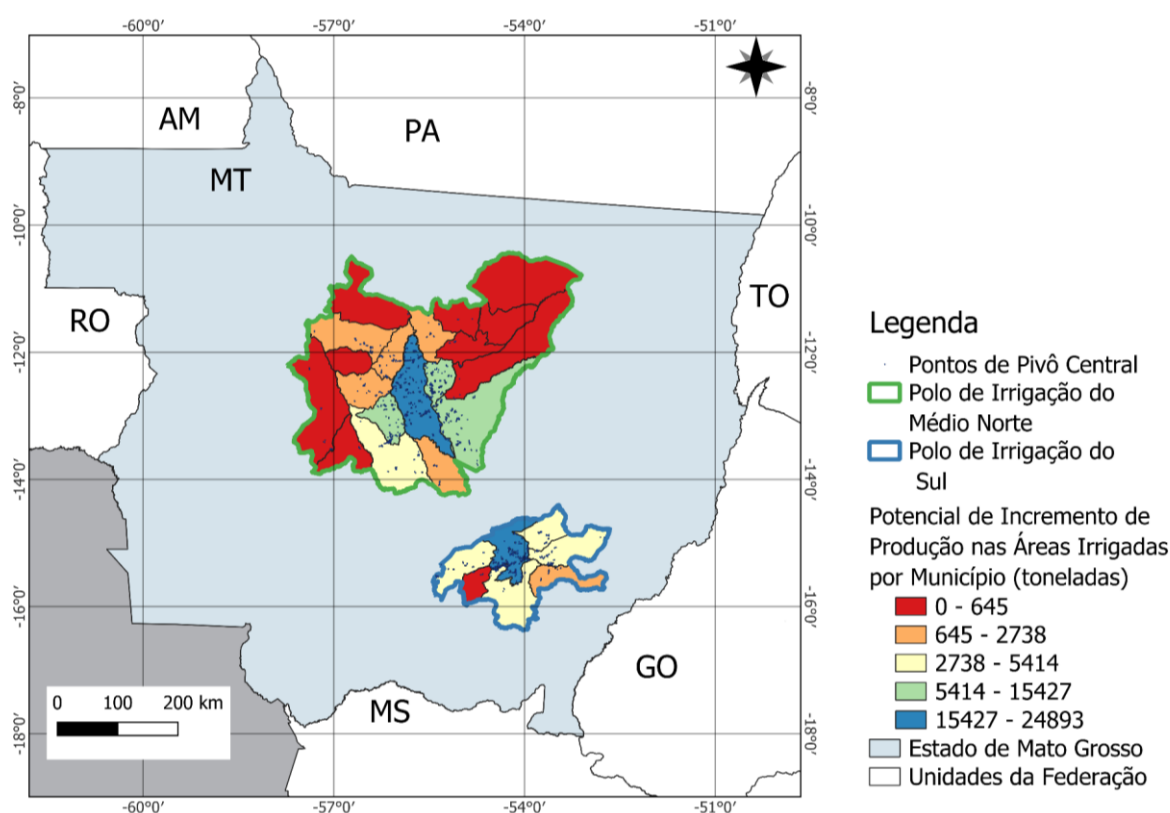


Figura 9.44 - Potencial de incremento de produção (toneladas) nas áreas irrigadas por pivô central por município por meio da adoção da fertirrigação.

9.5.6 Conclusões

- Mais da metade da área irrigada recebe manejo da irrigação pelo método, sendo o método via clima predominante. Além disso, na metade das áreas, a tomada de decisão provém da equipe da propriedade. Os principais motivos que levaram a

adoção do manejo da irrigação foram o controle da demanda de energia elétrica e manutenção do sistema de irrigação. Enquanto os motivos da baixa adoção são falta de interesse e custo da consultoria especializada em manejo de irrigação.

- A aplicação de fertilizantes via água de irrigação (fertirrigação) por pivô central não é adotada. Os principais motivos dessa baixa adoção foram ausência de interesse, falta de mão de obra e complexidade da técnica. Porém, as águas residuárias são aplicadas em propriedades que integram pecuária e agricultura objetivando o destino adequado do resíduo, redução de custos com fertilizantes e resultados agronômicos positivos.
- A modelagem mostrou que a adoção da técnica de fertirrigação com fertilizante uréia tem um elevado potencial de economizar nitrogênio ou incrementar a produção dos cultivos, promovendo uma produção agrícola com mais sustentabilidade. Além disso, os benefícios e ganhos podem justificar a aquisição de equipamentos injetores para fertirrigação.

10 META 10 - MONITORAMENTO

10.1 DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO

Para a determinação dos pontos de monitoramento, foi tido como base o Manual da ANA (2016), estudando os dados das bacias hidrográficas do Teles Pires e Rio das Mortes, na ocasião, foram escolhidos pontos estratégicos em microbacias de afluentes importantes para ambos.

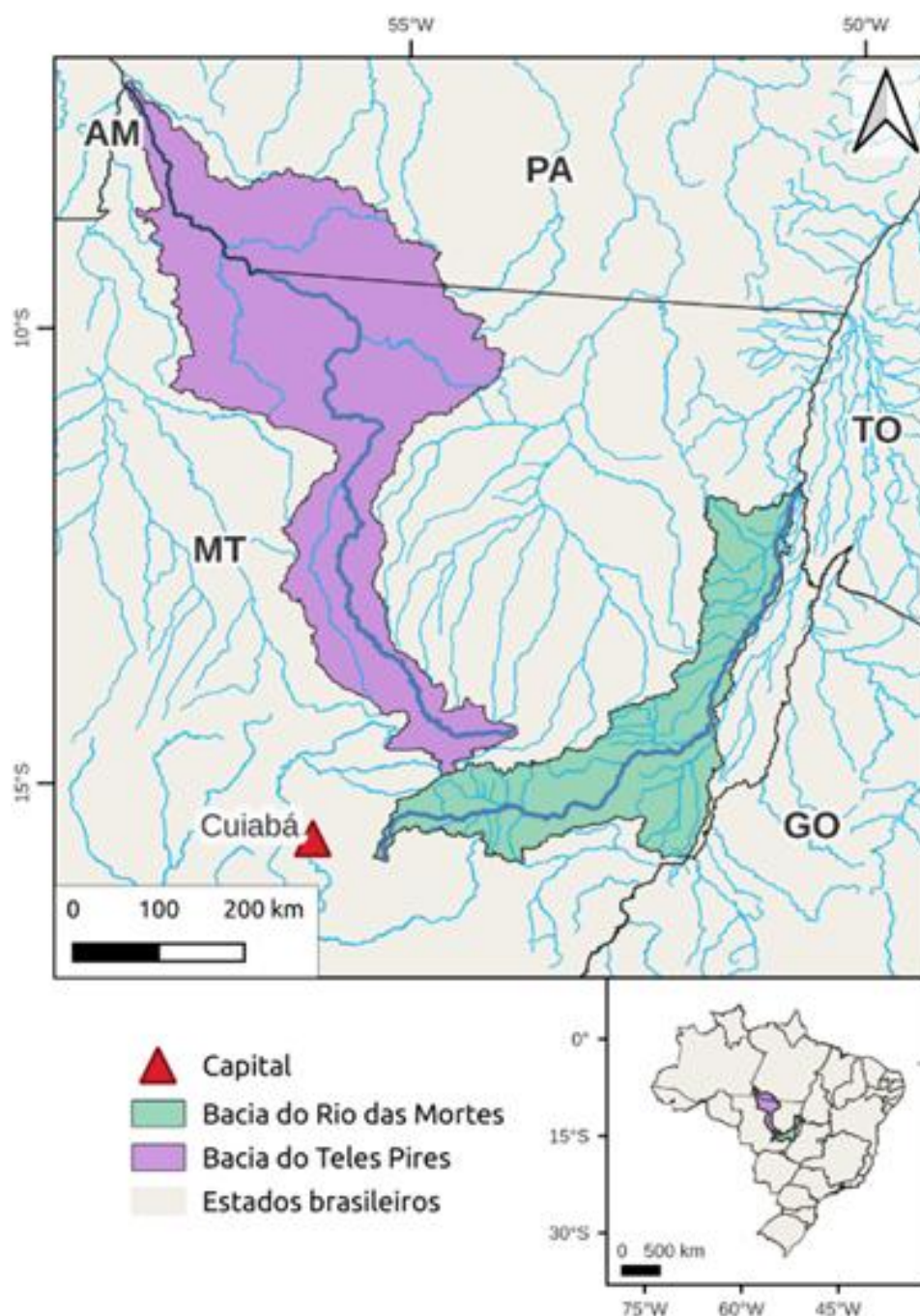


Figura 10.1 – Localização das bacias de estudo, Teles Pires (em roxo) e Rio das Mortes (em verde), e os estados brasileiros adjacentes.

Foram escolhidos pontos para monitoramento de águas superficiais e águas subterrâneas em cada uma das bacias hidrográficas, sendo um ponto para monitoramento de águas superficiais e um para águas subterrâneas em duas microbacias diferentes do Teles Pires, uma no Rio Desengano localizada no município de Vera-MT e outra no Rio Trovão no Município de Ipiranga do Norte-MT. A outra microbacia escolhida foi do Rio Chimbica na bacia hidrográfica do Rio das Mortes, no município de Primavera do Leste-MT.

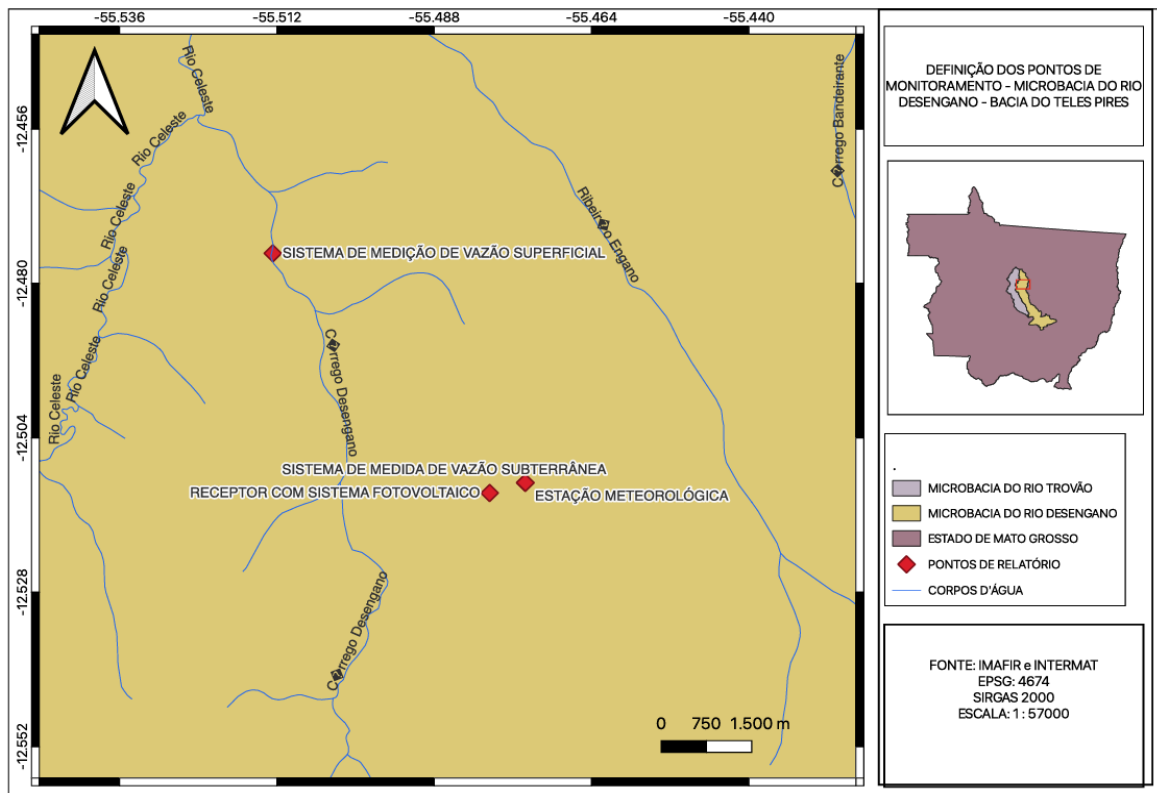


Figura 10.2 – Localização dos pontos escolhidos para monitoramento de águas superficiais e subterrâneas na microbacia do Rio Desengano na bacia hidrográfica do Teles Pires, no município de Vera-MT.

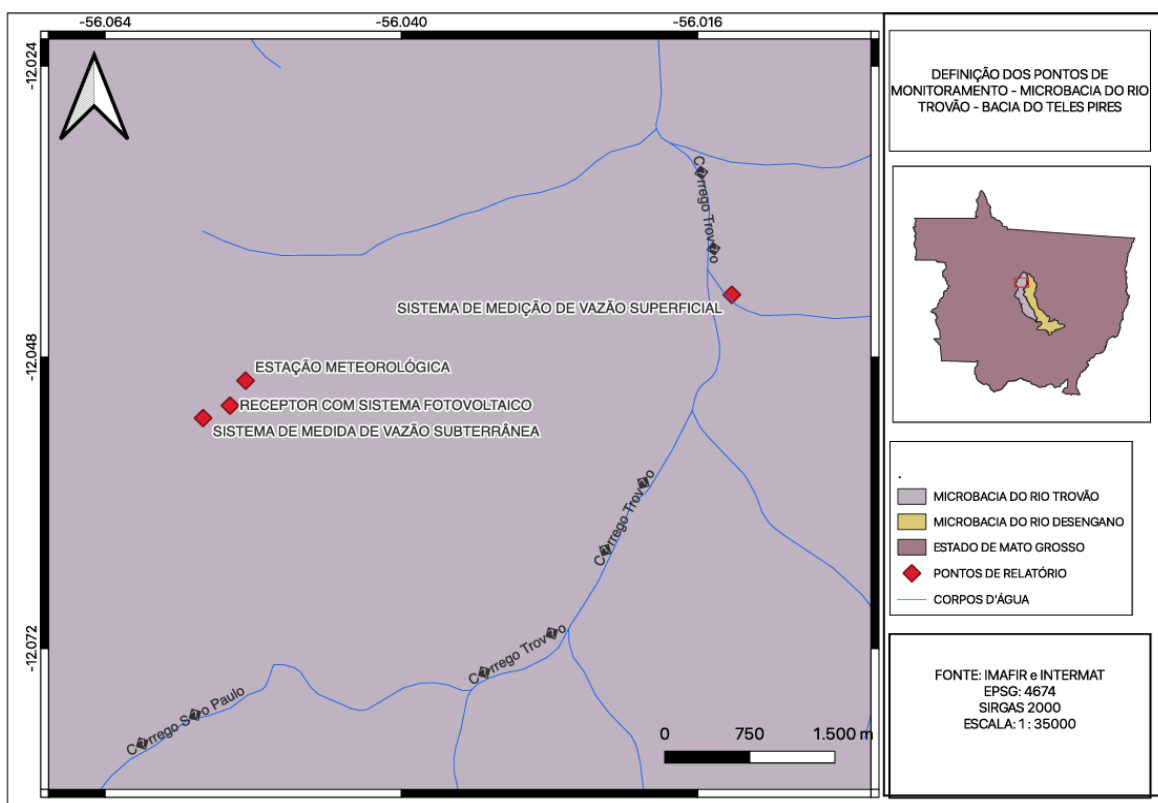


Figura 10.3 – Localização dos pontos escolhidos para monitoramento de águas superficiais e subterrânea na microbacia do Rio Trovão na bacia hidrográfica do Teles Pires, no município de Ipiranga do Norte-MT.

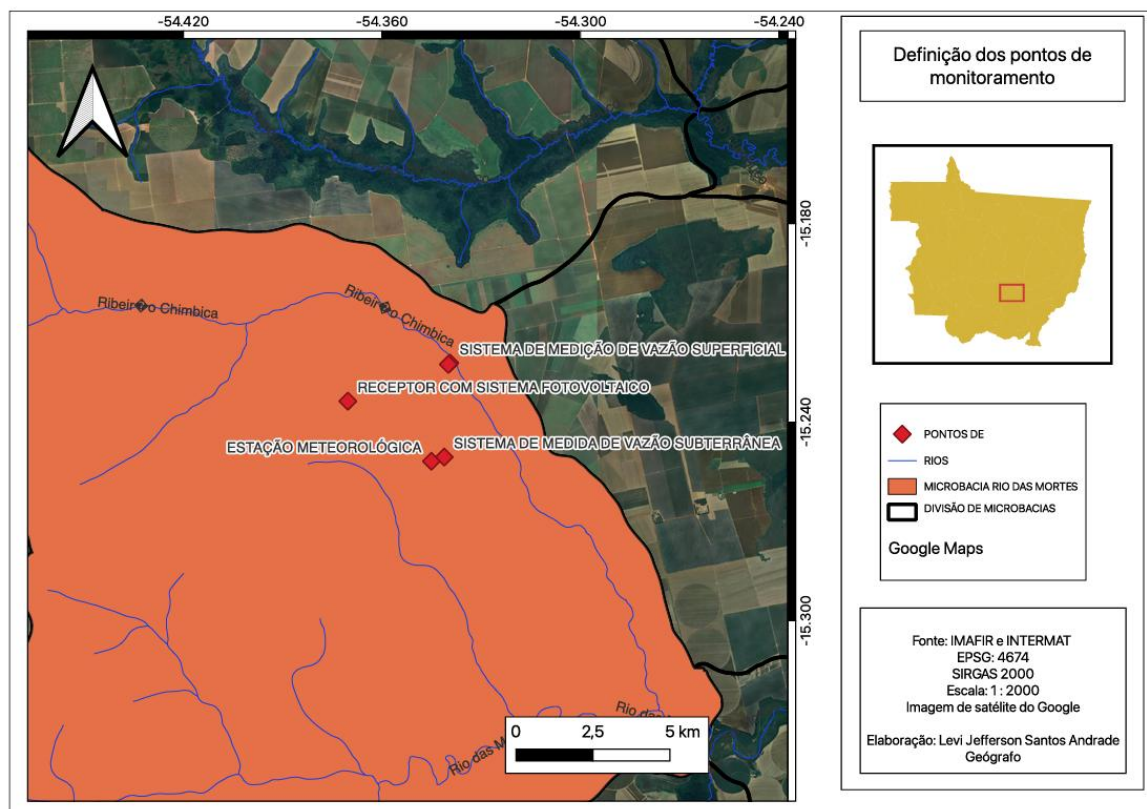


Figura 10.4 – Localização dos pontos escolhidos para monitoramento de águas superficiais e subterrânea em uma microbacia da bacia hidrográfica do Rio das Mortes, no município de Primavera do Leste-MT.

Foram feitas reuniões com a equipe técnica de campo, diretores e instituições parceiras para alinhamento de trabalhos que seriam desenvolvidos e esclarecimento da dinâmica de trabalho em cada região a ser estudada. Além disso, foram feitas visitas em propriedades com localização estratégica para monitoramento, a fim de autorizações dos proprietários para desenvolvimento da pesquisa em suas propriedades.

Após a definição dos locais de monitoramento, foram obtidas autorizações assinadas pelos proprietários, para instalação dos equipamentos de monitoramento e condução da pesquisa.

10.2 AQUISIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Relatório apresentado na prestação de contas referente ao exercício de 2023.

10.3 IMPLANTAÇÃO DA REDE DE MONITORAMENTO

Para a montagem dos equipamentos de monitoramento de águas superficiais, utilizou-se como referência o Manual da ANA (2016). Já para a instalação dos equipamentos de monitoramento de águas subterrâneas, foi adotada a metodologia da empresa responsável pela execução do serviço (Hidroservice).



Figura 10.4 – Receptor de sinal (A), estação meteorológica completa com comunicação via rádio (B), sistema de medição de vazão superficial (C), sistema de medida vazão motobomba (D), instalados na microbacia do Rio Desengano, localizado no município de Vera-MT, na bacia hidrográfica do Teles Pires.



Figura 10.5 – Receptor de sinal (A), estação meteorológica completa com comunicação via rádio (B), sistema de medição de vazão superficial (C), sistema de medida vazão motobomba (D), instalados na microbacia do Rio Trovão, localizado no município de Ipiranga do Norte-MT, na bacia hidrográfica do Teles Pires.



Figura 10.6 – Receptor de sinal (A), estação meteorológica completa com comunicação via rádio (B), sistema de medição de vazão superficial (C), sistema de medida vazão motobomba (D), instalados na microbacia do Rio Chimbica, localizado no município de Primavera do Leste-MT, na bacia hidrográfica do Rio das Mortes.

Continuam sendo realizadas calibrações e ajustes nos equipamentos instalados nos pontos de monitoramento, visando a melhoria da performance e o funcionamento contínuo dos sistemas. Ressalta-se que se trata de uma tecnologia inédita de transmissão de dados, o que também demanda análise constante das informações recebidas na plataforma digital.

10.4 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA GESTOR

Para análise do sistema, foi feito em conjunto de ações pela equipe do IMAFIR com acompanhamento e aperfeiçoamento de plataforma de coleta de dados. Para o desenvolvimento do sistema gestor, foi feita a implantação do SPIMRH - Sistema Piloto de Monitoramento de Recursos Hídricos de Mato Grosso (Figura 10.7), uma plataforma integrada criada para fortalecer a gestão dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas do estado de Mato Grosso. O sistema foi idealizado com o objetivo de centralizar dados dispersos, integrar informações de diferentes redes de monitoramento e disponibilizar ferramentas de análise e visualização para suporte à tomada de decisão por parte dos órgãos gestores, comitês de bacia e usuários de recursos hídricos.

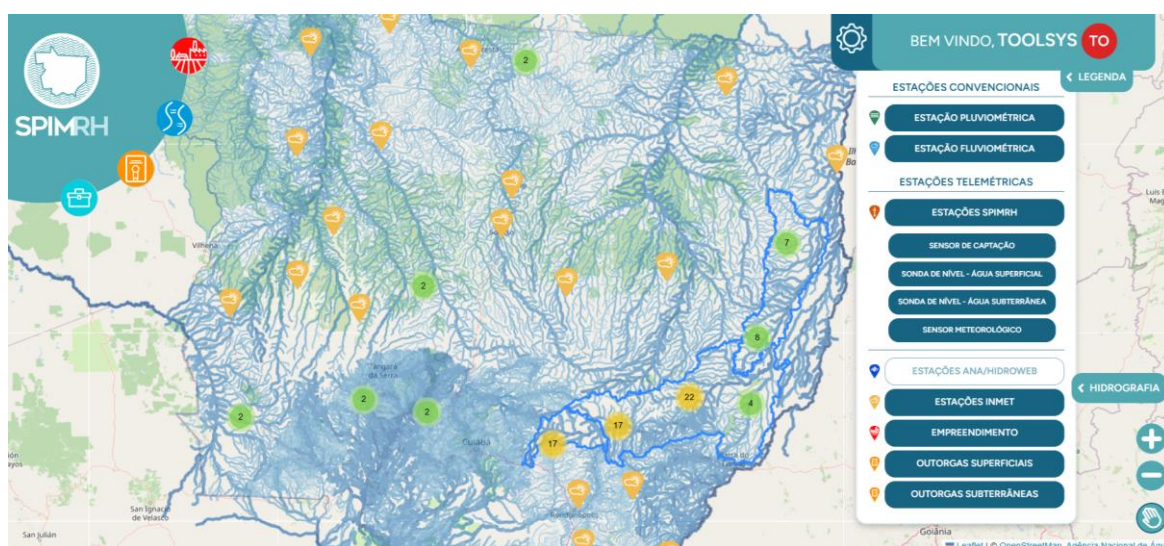


Figura 10.7 – Sistema Piloto de Monitoramento de Recursos Hídricos (SPIMRH).

O SPIMRH permite o acesso em tempo real a dados hidrológicos, meteorológicos, de qualidade da água, outorgas, usos consuntivos e não consuntivos, bem como dados de características de solos e áreas irrigadas. A plataforma também agrega dados oriundos de estações telemétricas e sensores remotos, promovendo uma visão territorial e temporal abrangente das condições hidrológicas das bacias mato-grossenses.

O desenvolvimento do sistema seguiu as diretrizes da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), da Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei Complementar nº 233/2005 – MT), e está alinhado com os objetivos do Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022–2040 (ANA, 2021). Entre os principais resultados, destacam-se a melhoria da transparência na gestão, a ampliação da disponibilidade de dados técnicos para

planejamento hídrico e a modernização dos processos de acompanhamento e controle dos usos da água.

O SPIMRH se consolida, assim, como um instrumento fundamental para a gestão integrada, descentralizada e participativa das águas em Mato Grosso, apoiando a formulação de políticas públicas, a prevenção de conflitos pelo uso da água e a segurança hídrica em escala estadual e regional.

10.5 SUPERVISÃO DA REDE DE MONITORAMENTO

10.5.1 Introdução

A utilização de sistemas de telemetria permite o acesso remoto, em tempo quase real, aos dados hidrológicos, aumentando a eficiência da gestão, possibilitando respostas mais rápidas a eventos extremos e reduzindo custos operacionais. No entanto, o bom desempenho desses sistemas depende de inspeções regulares e de um plano de manutenção preventiva e corretiva (SEMA, 2020). Com base no Manual de Hidrometria (ANA, 2013) e da Resolução CNRH nº 89/2010A a supervisão periódica da rede de monitoramento por telemetria visa assegurar o adequado funcionamento dos equipamentos instalados em campo, a calibração dos sensores, a integridade física das estações e a conformidade com os padrões técnicos estabelecidos.

10.5.2 Método

Estão sendo feitas visitas quinzenais frequentes para avaliação do estado e eficiência dos equipamentos instalados.

As visitas de supervisão incluem:

- Verificação do estado físico da infraestrutura da estação (abrigo, base, mastro, proteção contra vandalismo);
- Avaliação dos sensores instalados (nível d'água, chuva, temperatura, etc.) quanto ao posicionamento, fixação e sinais de degradação;
- Teste dos sistemas de alimentação de energia (painéis solares, baterias) e comunicação (modems, antenas, chips de dados);
- Checagem dos parâmetros de configuração dos dataloggers e verificação da consistência dos dados registrados localmente;

- Realização de calibração ou substituição de sensores, quando necessário, conforme procedimentos técnicos estabelecidos (ANA, 2013; SEMA, 2020).
- Medição de vazão periodicamente para a formação da curva chave.



Figura 10.8 – Supervisão da rede de monitoramento (A), (B), (C), (D), instalados nas microbacias, das bacias hidrográficas do Teles Pires e Rio das Mortes.

10.5.3 Resultado

A continuidade dessas ações de supervisão é essencial para atender aos objetivos do projeto, como suporte técnico-científico à tomada de decisão e à formulação de políticas. O fortalecimento das rotinas de operação e manutenção da rede, com capacitação técnica contínua das equipes de campo, melhoria na infraestrutura de comunicação e adoção de ferramentas digitais de gestão. Essas medidas contribuirão para a consolidação de uma rede robusta e resiliente, capaz de responder aos desafios crescentes da gestão hídrica no Mato Grosso.

11 META 11 - DIFUSÃO DE TECNOLOGIA

11.1 IDENTIFICAÇÃO DO PÚBLICO-ALVO

11.1.1 Introdução

O Brasil ocupa a 6ª posição em agricultura irrigada no mundo. Entretanto, com pouco mais de 8 milhões de ha, não corresponde a 3 % da área irrigada em todo o planeta (ANA, 2021). Dados da Agência Nacional de Águas (2021) também estimam que a área adicional irrigável potencial total no país é de 55,85 milhões de ha, dos quais cerca de 10,3 mi ha são, somente, no estado do Mato Grosso. Este estado, que, atualmente, conta apenas 292 mil ha cultivados com irrigação, é o que possui o maior potencial de expansão da agricultura irrigada, além de liderar a produção nacional de diversos produtos agrícolas (soja, milho, algodão, carne bovina p.e.).

Entretanto, o aumento da área agrícola irrigada é dependente do aumento, pela agricultura, da demanda pelos recursos hídricos existentes. Sendo a água um bem de domínio público, limitado, dotado de valor econômico e cuja gestão deve proporcionar seus usos múltiplos (BRASIL, 1997), por vezes, essa gestão não é tão simples de ser feita. Estudos de modelos de governança de recursos hídricos eficazes mundo afora e levantamento das particularidades sociais, econômicas, hidrológicas, pedológicas e climáticas são primordiais para a expansão da agricultura irrigada de forma sustentável. Proposição de um modelo de governança customizado ao estado do Mato Grosso é chave para o desenvolvimento da irrigação no estado, evitando conflitos pelo uso da água e garantindo a publicidade de informações.

11.1.2 Atividades desenvolvidas

Em parceria com o corpo técnico do IMAFIR, definiu-se o público-alvo para difusão de tecnologias como 4 grupos: as organizações representantes do agronegócio no Mato Grosso, o poder público, a sociedade civil organizada e os produtores rurais associados e parceiros da Aprofir. As estratégias escolhidas visam a capacitação do corpo técnico das entidades a respeito do monitoramento e gestão de recursos hídricos. É fundamental estabelecer uma relação de confiança e transparência entre as partes interessadas, assim pretende-se que as informações levantadas no âmbito do projeto não estejam ambíguas a elas. Algumas entidades definidas foram:

- APROSOJA MT
- AMPA
- Sindicatos Rurais dos municípios da Bacia do Rio das Mortes
- SEDEC MT
- SEMA MT
- CBH do Rio das Mortes
- ONGs ambientais da região
- Prefeituras da região da Bacia do Rio das Mortes

O corpo técnico do IMAFIR transmitirá as informações aos produtores associados e parceiros, visando a implementação de ações necessárias identificadas pelo projeto.

11.2 DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE COMUNICAÇÃO

11.2.1 Atividades desenvolvidas

Em parceria com o corpo técnico do IMAFIR, definiu-se o público-alvo para difusão de tecnologias como 4 grupos: as organizações representantes do agronegócio no Mato Grosso, o poder público, a sociedade civil organizada e os produtores rurais associados e parceiros da Aprofir. As estratégias escolhidas visam a capacitação do corpo técnico das entidades a respeito do monitoramento e gestão de recursos hídricos. É fundamental estabelecer uma relação de confiança e transparência entre as partes interessadas, assim pretende-se que as informações levantadas no âmbito do projeto não estejam ambíguas a elas. Algumas entidades definidas foram:

- APROSOJA MT
- AMPA
- Sindicatos Rurais dos municípios da Bacia do Rio das Mortes
- SEDEC MT
- SEMA MT
- CBH do Rio das Mortes
- ONGs ambientais da região
- Prefeituras da região da Bacia do Rio das Mortes e do Alto Teles Pires

Foi idealizado um workshop inicial de integração entre os pesquisadores, o corpo técnico do IMAFIR e representantes das entidades acima citadas. Esse workshop visa

difundir informações a respeito da climatologia, hidrologia, mudanças climáticas e cenários para a agricultura irrigada no estado do Mato Grosso. A proposta inicial era de que ele ocorresse no município de Sorriso em agosto, mas foi adiado por questões administrativas. O objetivo do evento é promover a interação dos participantes e facilitar a comunicação nas questões técnicas e políticas que tangem o projeto. Espera-se que o bom relacionamento interpessoal de agentes das instituições envolvidas reforce a relevância da expansão da agricultura irrigada no Mato Grosso, facilite a tomada de decisão e permita a boa governança dos estudos e difusão deles.

A difusão tecnológica, fase iniciada a partir da geração de informações sólidas oriundas das demais metas do projeto, terá como diretriz a comunicação ativa às entidades selecionadas, Workshops de interação são ações interessantes, pois permitem a integração multilateral de todos os interessados. Se os recursos permitirem, essa estratégia será utilizada para difundir as informações obtidas nos estudos. Além disso, o corpo técnico do IMAFIR fará a comunicação aos produtores rurais irrigantes associados e parceiros das principais informações necessárias ao manejo da irrigação e gestão dos recursos hídricos com base no estudo do projeto. Associado a isso, materiais didáticos escritos sobre o processo de outorga, avaliação do sistema de irrigação, manejo da irrigação, entre outros serão amplamente distribuídos. Concomitantemente, se for viável, produtores estratégicos serão selecionados para participarem de capacitações.

Ambientes de aprendizagem interativa em congressos, seminários e eventos em geral são estratégias interessantes para comunicação com a sociedade civil. Idealizou-se organizar jogos interativos com informações das bacias hidrográficas dos Rios das Mortes e Teles Pires, similarmente aos descritos por Leca et al. (2024) e em *Instituto 5 elementos*

11.3 DESENVOLVIMENTO DOS MATERIAIS INFORMATIVOS

11.3.1 Atividades desenvolvidas

Conforme definido na etapa 2 da meta 11, os materiais informativos estão sendo elaborados com base nas estratégias escolhidas. O material didático a ser utilizado nas capacitações será organizado por cada ministrante escolhido para os temas apropriados. O total de capacitações para o corpo técnico ainda será definido, bem como o melhor dia para a ocorrência com vistas à otimização de recursos.

Também estão em elaboração os materiais didáticos escritos para distribuição entre os produtores.

11.4 ORGANIZAÇÃO DE EVENTOS E TREINAMENTOS

11.4.1 Atividades desenvolvidas

Estão sendo elaborados encontros e participação em eventos do setor, para difusão de tecnologia e capacitação do público-alvo. Essas atividades seguem diretrizes do Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022–2040 (ANA, 2021) e da Política Nacional de Irrigação (Lei nº 12.787/2013), que reconhecem a educação e capacitação como instrumentos essenciais para a melhoria da gestão da água no setor agrícola. Seguindo também no que se refere à integração entre setores usuários e à participação social nos processos de planejamento e decisão, atendendo aos princípios da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997).

O desenvolvimento dessas ações reforça o compromisso institucional com a formação continuada, a transparência na gestão dos recursos hídricos e a promoção do uso sustentável da água, com benefícios diretos para a produtividade, conservação ambiental e segurança hídrica nas bacias hidrográficas estudadas no projeto.



Figura 10.8 – Difusão de tecnologia, organização de eventos (A), (B), (C) e (D), Sorriso - MT.



Figura 10.9 - Jogo interativo “Rota das Águas”: ferramenta de educação ambiental sobre recursos hídricos, Sinop - MT.

11.5 AVALIAÇÃO E TREINAMENTO

Em andamento, com atividades em desenvolvimento de acordo com as condições operacionais atuais. As ações estão sendo conduzidas com acompanhamento técnico, prevendo sua finalização conforme o planejamento em curso.

12 CONCLUSÕES

O presente estudo oferece uma caracterização dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos nos polos de agricultura irrigada do Centro-Sul e Alto Teles Pires, no Estado de Mato Grosso. Embora ainda em fase de execução, o trabalho já apresenta uma análise integrada de dados climáticos, hidrológicos e de uso e ocupação do solo, permitindo identificar as principais características e dinâmicas desses recursos.

Os resultados obtidos até o momento evidenciam a importância de uma gestão integrada e eficiente para a sustentabilidade da expansão da agricultura irrigada na região, especialmente diante da variabilidade climática e das limitações na disponibilidade hídrica, fatores críticos para o planejamento de novas áreas de irrigação.

13 REFERÊNCIAS

- A (2024). Outorgas emitidas. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/outorga/outorgas-emitidas>
- ABRAHÃO, Gabriel M.; COSTA, Marcos H. Evolution of rain and photoperiod limitations on the soybean growing season in Brazil: The rise (and possible fall) of double-cropping systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 256–257, p. 32–45, jun. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.02.031>.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada**. 2ª ed. Brasília - DF: ANA, 2021. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/1b19cbb4-10fa-4be4-96db-b3dcd8975db0>.
- Agência Nacional de Águas (ANA), 2021. Atlas Irrigação Uso da Água na Agricultura Irrigada, 2 edição. ed. Brasília-DF.
- Agência Nacional de Águas (ANA). (2021). *Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada*. Brasília, DF: [s.n.]. Disponível em: <http://atlasirrigacao.ana.gov.br/>. Acesso em: 29 abr. 2020.
- Agência Nacional de Águas (ANA). (2023). *Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - 1985-2022*. [S.l: s.n.]. Disponível em: <https://snirh.gov.br/>.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022–2040: **sumário executivo**. Brasília: ANA, 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília: ANA – Agência Nacional de Águas. 2005. Cadernos de Recursos Hídricos. ANA. 2005.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual de hidrometria**. Brasília: ANA, 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Manual de hidrometria. Brasília: ANA, 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Bacia dos Parecis – Sumário Geológico. Superintendência de Avaliação Geológica e Econômica. Brasília. 9 p. 2022.
- AKSU, H.; AKGÜL, M. A. Performance evaluation of CHIRPS satellite precipitation estimates over Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 142, p. 71-84, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03301-5>
- AKSU, H.; AKGÜL, M. A. Performance evaluation of CHIRPS satellite precipitation estimates over Turkey. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 142, p. 71-84, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03301-5>
- Ali, A., Xia, C., Jia, c. & Faisal, M. (2020). Investment profitability and economic efficiency of the drip irrigation system: Evidence from Egypt. *Irrigation and Drainage*, 69, 1033-1050.
- ALLEN, P.A. & ARMITAGE, J. J. *Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances*, First Edition. Edited by Cathy Busby and Antonio Azor. Blackwell Publishing Ltd., 2012.

- ALMEIDA, F. F. M. 1948. Contribuição à geologia dos Estados de Goiás e Mato Grosso. Bol DGM, Notas Preliminares, Rio de Janeiro, n.46, p.15, 1948.
- ALMEIDA, F. F. M. 1954. Geologia do Centro-Leste Mato-Grossense. Bol. Div. de Geol. e Mineralogia, DNPM, n.150, p.1-97, 1954.
- ALMEIDA, F. F. M. 1964. Geologia do Centro-Oeste matogrossense. Bol. Div. de Geol. e Mineralogia, Rio de Janeiro, n.215, 137p., 1964.
- ALMEIDA, F. F. M. 1965. Geossinclínio Paraguaio. In.: SEMANA DE DEBATES GEOLÓGICOS, 1, Centro Acad. Est. Geologia, UFRGS - Porto Alegre, p.88-109, 1965.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22(6), 711–728.
- ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). **Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017** (BHO 2017). Brasília: ANA, 2017. Catálogo de Meta Dados da ANA. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/0c698205-6b59-48dc-8b5e-a58a5dfcc989>.
- ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 (BHO 2017). Brasília: ANA, 2017. Catálogo de Meta Dados da ANA. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/0c698205-6b59-48dc-8b5e-a58a5dfcc989>.
- ANA, Agência Nacional De Águas e Saneamento Básico. **Balanço Hídrico Quantitativo**. Catálogos e metadados da ANA, 2016. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/35f247ac-b5c4-419e-9bdb-dcb20defb1f4>>. Acesso em: 18 maio. 2025.
- ANA, Agência Nacional De Águas e Saneamento Básico. **Divisões de Bacias**. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em: <<https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=9cc5900ceb0d4c279305d43197980dd8>>. Acesso em: 18 maio. 2025.
- ANA, Agência Nacional De Águas e Saneamento Básico. **Séries Históricas de Estações**. HIDROWEB. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 18 maio. 2025.
- ANA. (2021). Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada. Brasília, DF: ANA. Disponível em: <http://atlasirrigacao.ana.gov.br/>. Acesso em: 29 abr. 2020.
- ANA. (2023). Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - 1985-2022. [S.l: s.n.]. Disponível em: <https://snirh.gov.br/>.
- Anderson, M.P., Woessner, W.W., Hunt, R.J.. Modeling Purpose and Conceptual Model. In: Anderson, M.P., Woessner, W.W., Hunt, R.J. (Eds.), Applied Groundwater Modeling. Elsevier Inc, pp. 27–67. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-091638-5.00002-X>. 2015
- Applied Science**, v. 10, n. 3, 3 jul. 2015a.
- AQUINO, S; LATRUBESS, E.M e SOUZA FILHO, E,.E de. Caracterização hidrológica e geomorfológica dos afluentes da bacia do rio Araguaia. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.10, n. 1, p: 43-54. 2009.

- Arias, D., Vieira, P. A., Contini, E., Farinelli, B., & Morris, M. (2017). Agriculture Productivity Growth in Brazil: Recent trends and future prospects. Washington, USA: World Bank Group Agriculture. Brazil Productivity growth flagship report.
- Arvor, D., Dubreuil, V., Ronchail, J., Simões, M., Funatsu, B.M., 2014. Spatial patterns of rainfall regimes related to levels of double cropping agriculture systems in Mato Grosso (Brazil). *Int. J. Climatol.* 34, 2622–2633. <https://doi.org/10.1002/joc.3863>
- Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, NY, USA: [s.n.].
- ASSINE, M. L. Aspectos da estratigrafia das sequências pré-carboníferas da Bahia do Paraná no Brasil. 1996. 207 p. Tese (Doutorado)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- ASSINE, M. L. Aspectos da estratigrafia das sequências pré-carboníferas da Bahia do Paraná no Brasil. 1996. 207 p. Tese (Doutorado)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- ASSINE, M. L.; Soares, P. C.; Milani, E. J. 1994. Sequência Tectono - Sedimentares Mesopaleozóicas da Bacia do Paraná, Sul do Brasil. *Rev. Bras. Geociências*, São Paulo, v.24, n.2, p.71-89, 1994.
- ASSINE, M. L.; SOARES, P. C.; MILANI, E. J. Sequências tectono-sedimentares mesopaleozóicas da Bacia do Paraná, Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.24, n.2, p.77-89, 1994.
- Assunção, J., & Chein, F. (2016). Climate change and agricultural productivity in Brazil: future perspectives. *Environment and Development Economics*, 21(5), 581-602.
- BACKES, E.M. e MIGLIORINI, R.B. Sistema aquífero Parecis: Vulnerabilidade natural e risco à contaminação. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 11, n. 1, p: 93-117. 2022.
- BAHIA R. B. C. & PEDREIRA A. J. Depósitos glaciogênicos da Formação Pimenta Bueno (Carbonífero) na região de Rolim de Moura, sudeste de Rondônia. *A Terra em Revista*, 1: 24-29. 1996
- BAHIA, R. B. C. et al. Análise da evolução tectonossedimentar da Bacia dos Parecis através de métodos potenciais. *Revista Brasileira de Geociências*. V. 37(4). P: 639-649. 2007.
- BAHIA, R. B. C. Evolução tectonossedimentar da Bacia do Parecis – Amazônia. Tese de doutorado em Ciências Naturais - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2007.
- BAHIA, R.B.C., MARTINS-NETO, M. A., BARBOSA, M. S. C. Revisão Estratigráfica da Bacia dos Parecis – Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.36, n.4, p.692-703. Dez. 2006.
- BARROS, Juliana Ramalho; BALERO, Juan Carlos da Silva. A influência do clima e do tempo do Centro-Oeste do Brasil nas condições de voo na região. **Revista Brasileira de Geografia**, 2012.
- Bernardo, S., Silva, A. J., & Lima, M. C. (2019). *Manual de Irrigação* (9. ed.). Viçosa, MG: UFV. Acesso em: 29 abr. 2020.
- Boletim de Resumos... Cuiabá: SBG, Núcleo Centro-Oeste, 2003. p: 127.

BOMFIM, Luiz Fernando Costa (Coord.) et al. Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil 1:2.500.000: arquivos de impressão. Salvador: CPRM. 1 CD-ROM. Projeto SIG de Disponibilidade Hídrica do Brasil (SDHB). 2006.

BRASIL. Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 jan. 2013.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 08 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433>. Acesso em: 19 abr. 2024.

BRAUN, O. P. G. 1971. Contribuição à geomorfologia do Brasil Central. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v. 3, n. 32, p. 3-39, 1971.

CALEGARIO, A.; ALTHOFF, D. (2023). hydrobr: Access to the Brazilian National Water Agency hydrological data. R package version 0.0.0.9000. Disponível em: <https://github.com/hydroversebr/hydrobr>.

Casali, L., Herrera, J. M., & Rubio, G. (2022). Resilient soybean and maize production under a varying climate in the semi-arid and sub-humid Chaco. *European Journal of Agronomy*, 135, 126463.

Christiansen, J. E. (1942). *Irrigation By Sprinkling*. California Agricultural Experiment Station Bulletin, 670.

CNEC Engenharia Ltda. Relatório Técnico Consolidado da Geologia do Estado do Mato Grosso – 1:1.500.000. Parte 2: Sistematização das Informações Temáticas. Cuiabá (MT), 352 p. 2000.

CNEC ENGENHARIA LTDA. Relatório Técnico Consolidado da Geologia do Estado do Mato Grosso – 1:1.500.000. Parte 2: Sistematização das Informações Temáticas. Cuiabá (MT), 352 p. 2000.

CNEC Engenharia Ltda. Relatório técnico consolidado da Geomorfologia do Estado de Mato grosso – 1:1.500.000. Parte2: Sistematização das Informações Técnicas. CNEC Engenharia S.A. Cuiabá, 198 p. 2000.

CNEC ENGENHARIA LTDA. Relatório técnico consolidado da Geomorfologia do Estado de Mato grosso – 1:1.500.000. Parte2: Sistematização das Informações Técnicas. CNEC Engenharia S.A. Cuiabá, 198 p. 2000.

CNM, Confederação Nacional de Municípios. **Boa Esperança do Norte (MT) se torna Município após decisão do STF**. Disponível em: <<https://cnm.org.br/comunicacao/noticias/boa-esperanca-do-norte-mt-se-torna-municipio-apos-decisao-do-stf>>. Acesso em: 22 maio. 2025.

Cohen, I., Kacira, M., & Ayars, J. (2022). Meta-analysis of drought and heat stress combination impact on crop yield and yield components. *Physiologia Plantarum*. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ppl.13203>. Acesso em: 10 jun. 2022.

Comissão Europeia. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive. Guidance document No. 26. GUIDANCE ON RISK ASSESSMENT AND THE USE OF CONCEPTUAL MODELS FOR GROUNDWATER. 2003.

COMMAR, Luiz Felipe Sant'Anna; ABRAHÃO, Gabriel Medeiros; COSTA, Marcos Heil. A possible deforestation-induced synoptic-scale circulation that delays the rainy season onset in Amazonia. **Environmental Research Letters**, v. 18, n. 4, p. 044041, 1 abr. 2023. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acc95f>.

COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Avaliação das recargas de águas subterrâneas nos aquíferos acompanhados pela Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas - RIMAS. Versão Preliminar. Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 53 p, il. 2023.

COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Avaliação de rochas calcárias e fosfatadas para insumos agrícolas do Estado de Mato Grosso. Thiers Muniz Lima ... [et al.]. Cuiabá. CPRM: METAMAT.178 p. 2008.

COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Aquíferos Furnas e Vale do Rio do Peixe nos Estados do Mato Grosso e Goiás, Bacia Sedimentar Do Paraná/Dario Dias Peixoto, Tomaz Edson Vasconcelos, Jamilo José Thomé Filho, Maria Antonieta Alcântara Mourão, Coord. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 52 p, il. v.9. 2012.

COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Aquíferos Ronuro, Salto das Nuvens e Utiriti no Estado do Mato Grosso, Bacia Sedimentar Do Parecis/Dario Dias Peixoto, Tomaz Edson Vasconcelos, Jamilo José Thomé Filho, Maria Antonieta Alcântara Mourão, Coord. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 53 p, il. v.9. 2012.

COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Aquíferos Ronuro, Salto das Nuvens e Utiriti no Estado do Mato Grosso, Bacia Sedimentar Do Parecis/Dario Dias Peixoto, Tomaz Edson Vasconcelos, Jamilo José Thomé Filho, Maria Antonieta Alcântara Mourão, Coord. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 53 p, il. v.9. 2012.

COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM-SGB) Mapa geológico do estado do Mato Grosso, escala 1:1.000.000. Programa integração, atualização e difusão dos dados da geologia do Brasil, subprograma mapas geológicos estaduais. 2004a. Disponível em: <<https://geosgb.sgb.gov.br/geosgb/downloads.html>>.

COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM-SGB). Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso. Texto Explicativo do Mapa de Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso. Org. Joffre Valmório de Lacerda Filho, Waldemar Abreu Filho, Cidney Rodrigues Valente, Cipriano Cavalcante de Oliveira e Mário Cavalcanti Albuquerque. Esc. 1:1.000.000. Goiânia: CPRM, 200 p. 2004b.

COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM-SGB). Avaliação de rochas calcárias e fosfatadas para insumos agrícolas do Estado de Mato Grosso. Thiers Muniz Lima ... [et al.]. Cuiabá. CPRM: METAMAT.178 p. 2008.

COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM-SGB). Projeto Geologia das folhas Dom Aquino – Rondonópolis, Estado de Mato Grosso. Organizado Waldemar Abreu Filho e Mário Cavalcanti de Albuquerque. Escala 1:100.00. Goiânia: CPRM. 178 p. 2016.

COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM-SGB). Mapa hidrogeológico do estado de Mato Grosso. Escala: 1.1.000.000. Autores: Márcio Costa Abreu e Thiago Luiz Feijó de Paula. 2020a.

COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM-SGB). Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas – RIMAS. Autora: Daniele Tokunaga Genaro. Rio de Janeiro: CPRM. 50 p. 2022.

COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM-SGB). Mapa hidrogeológico do estado de Mato Grosso. Escala: 1.1.000.000. Autores: Márcio Costa Abreu e Thiago Luiz Feijó de Paula. 2020.

COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB). Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Aquíferos Furnas e Vale do Rio do Peixe nos Estados do Mato Grosso e Goiás, Bacia Sedimentar Do Paraná/Dario Dias Peixoto, Tomaz Edson Vasconcelos, Jamilo José Thomé Filho, Maria Antonieta Alcântara Mourão, Coord. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 52 p, il. v.9. 2012.

COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB). Projeto Geologia das folhas Dom Aquino – Rondonópolis, Estado de Mato Grosso. Organizado Waldemar Abreu Filho e Mário Cavalcanti de Albuquerque. Escala 1:100.00. Goiânia: CPRM. 178 p. 2016.

COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB). Mapa hidrogeológico do estado de Mato Grosso. Escala: 1.1.000.000. Autores: Márcio Costa Abreu e Thiago Luiz Feijó de Paula. 2020.

COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB). Projeto Geologia das folhas Dom Aquino – Rondonópolis, Estado de Mato Grosso. Organizado Waldemar Abreu Filho e Mário Cavalcanti de Albuquerque. Escala 1:100.00. Goiânia: CPRM. 178 p. 2016.

COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB). Mapa hidrogeológico do estado de Mato Grosso. Escala: 1.1.000.000. Autores: Márcio Costa Abreu e Thiago Luiz Feijó de Paula. 2020.

CONAB (2024). **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Mato Grosso). Resolução nº 119 DE 07 NOVEMBRO DE 2019. Estabelecer os critérios técnicos a serem aplicados nas análises dos pedidos de outorga de captação/derivação superficial, quanto à disponibilidade hídrica, ao uso racional da água e à garantia de seus usos múltiplos. Disponível em: https://iomat.mt.gov.br/legislacao/diario_oficial/download/214400?utm_source. Acesso em: 24 maio. 2025.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Brasil). Resolução nº 89, de 13 de dezembro de 2010. Estabelece critérios gerais para a implementação de redes de monitoramento quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos. **Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, 14 dez. 2010.

Costa, M. H., Fleck, L. C., Cohn, A. S., Abrahão, G. M., Brando, P. M., Coe, M. T., ... & Soares-Filho, B. S. (2019). Climate risks to Amazon agriculture suggest a rationale to conserve local ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(10), 584-590.

COSTA, R.; WESKA, R. K.; SANTOS, J. X. dos; SILVA, A. F da. 2003. A sequência Vulcano-clasto-química do Grupo Bauru da Região do Boiadeiro, Município de Dom Aquino, Mato Grosso. SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 8., 2003.

COWAN, E.J., BEATSON, R.K., ROSS, H.J., FROGHT, W.R., McLENNAN, T.J., EVANS, T.R., CARR, J.C., LANE, R.G., BRIGHT, D.V., GILLMAN, A.J., OSHUST, P.A., & TITLEY, M. (2003). Practical Implicit Geological Modelling. In *Proceedings of the Fifth International Mining Geology Conference* (pp. 89–99). Australasian Institute of Mining and Metallurgy.

CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM-SGB); PROASNE- Projeto Água Subterrânea no Nordeste do Brasil; GSC-Serviço Geológico do Canada; CIDA-Agência Canadense de Desenvolvimento Internacional; ABC-Agência Brasileira de Cooperação; Waterloo Hydrogeologic Inc. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas-SIAGAS. Rio de Janeiro, 2004.

CRUZ, Jussara Cabral. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação dos aspectos técnicos e conceituais**. Dissertação (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/2602>. Acesso em: 24 maio. 2025.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. 1983. Hidrologia Subterrânea. Barcelona: Omega. 2ed. v.1, 2. 2350 p. 1983.

CUTRIM, A. O. Caracterização hidrogeológica do Grupo Parecis no município de Lucas do Rio Verde (MT). In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 16, São Luís. Anais...São Luís: ABAS, 2010b.

CUTRIM, A. O. Caracterização hidrogeológica do Grupo Parecis no município de Lucas do Rio Verde (MT). In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 16, São Luís. Anais...São Luís: ABAS, 2010.

CUTRIM, A.O. et al. Sondagem elétrica vertical aplicada em pesquisa hidrogeológica na Bacia dos Parecis, MT. Revista Brasileira de Geofísica, 25(2): 131-140. 2007.

CUTRIM, A.O.; da Luz, J.A.G. e Migliorini, R.B. AVALIAÇÃO DAS VULNERABILIDADES NATURAL, ANTRÓPICA E TOTAL E PERIGO À CONTAMINAÇÃO DO AQUIFERO UTIARITI NA CIDADE DE SINOP (MT), USANDO OS MÉTODOS VAN E POSH. São Paulo. Unesp, Revista Geociências, v. 40, n. 3, p. 721-733, 2021. ISBN:1980-900X.

CUTRIM, A.O.; da Luz, J.A.G. e Migliorini, R.B. AVALIAÇÃO DAS VULNERABILIDADES NATURAL, ANTRÓPICA E TOTAL E PERIGO À CONTAMINAÇÃO DO AQUIFERO UTIARITI NA CIDADE DE SINOP (MT), USANDO

OS MÉTODOS VAN E POSH. São Paulo. Unesp, Revista Geociências, v. 40, n. 3, p. 721-733, 2021. ISBN:1980-900X.

DANCEY, C & REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia**: usando SPSS para Windows. Porto Alegre, Artmed: 3ª ed., 608 p. 2005.

DARDENNE, M.A.; ALVARENGA C.J.S; OLIVEIRA, C.G.; LENHARO S.L.R. Geologia e Metalogenia do Depósito de Cobre do Gráben do Colorado, Fossa Tectônica de Rondônia em Distritos Mineiros da Amazônia. DNPM/CT-Mineral/FINEP – ADIMB. p.555-595. 2006.

ELETOBRAS. Centrais Elétricas Brasileira S.A. **Metodologia para regionalização de vazões**. Rio de Janeiro. 2v, 1985.

EMBRAPA, 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.

Embrapa. (2021). Lavouras são apenas 7,6% do Brasil, segundo a NASA - Portal Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/30972444/lavouras-sao-apenas-76-do-brasil-segundo-a-nasa>. Acesso em: 22 nov. 2021.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). (2021). Lavouras são apenas 7,6% do Brasil, segundo a NASA - Portal Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/30972444/lavouras-sao-apenas-76-do-brasil-segundo-a-nasa>. Acesso em: 22 nov. 2021.

Faci, J. M., Hernández, J., & Busto, M. (2001). Comparison of Fixed and Rotating Spray Plate Sprinklers. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 127(4), 224–233.

FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. (2022). *The state of food security and nutrition in the world (SOFI): Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable*.

FAO. (2020). *The State of Food and Agriculture 2020: Overcoming water challenges in Agriculture*. [S.l: s.n.].

Farr TG, Rosen PA, Caro E, et al (2007) The shuttle radar topography mission. Rev Geophys. <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>

Felipe Arcanjo Leca, Alan Kristian Nunes Machado e Marcela Vieira Pereira Mafra. UM JOGO COMO RECURSO PEDAGÓGICO PARA ENSINAR SOBRE A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO AMAZONAS: GEOPERFIL. **Revista Percurso - NEMO**. Maringá, v. 16, n.1 , p. 15-32, 2024.

FERNANDES, L. A. 1992. A cobertura cretácea suprabásica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá. 129p.1992. Tese (Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1992.

FERNANDES, L. A. 1998. Estratigrafia e evolução geológica de parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil): Mapa Litoestratigráfico da Parte Oriental da Bacia Bauru 1:1.000.000.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. 1994. O grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. Ver. Bras. Geociências, v.24, n.3, p.164-176, 1994.

FERNANDES, L. A.; Coimbra, A. M. 2000. Revisão estratigráfica da parte oriental da bacia Bauru (neocretáceo). Rev. Bras. Geociências, n.30, v.4, p.7171 – 728, 2000.

FLEXOR, J. M. et al. Estudo geofísico integrado da Bacia dos Parecis: contribuição do método magnetotelúrico. In: 8th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. European Association of Geoscientists & Engineers, 2003. cp-168-00413.

FUNK, C; PETERSON, P; LANDSFELD, M; PEDREROS, D; VERDIN, J; SHUKLA, S; HUSAK, G; ROWLAND, J; HARRISON, L; HOELL, A; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, v. 2, n. 1, p. 150066, 8 dez. 2015.
<https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.

GLODET (2024). **Global Daily Evapotranspiration**. Disponível em:
<https://glodet.nebraska.edu/>

GODOY, C. N. De A.; WESKA, R. K.; RUBERT, R. .; SANTOS, J. X. dos; SILVA, A. F. da; UCHOA, J. C. 2003. As Formações Cachoeira do Bom Jardim e Cambambe do Grupo Bauru nas Cabeceiras do Rio Jangada, Município de Campo Verde, Mato Grosso. SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 8., 2003. Boletim de Resumos... Cuiabá: SBG, Núcleo Centro-Oeste, 2003. p: 127.

Gonçalves, A.; Schneider, R. L. 1970. Geologia do centro-leste de Mato Grosso. Ponta Grossa: Petrobras/ DESUL, Relatório Técnico Interno, n. 394, 43 p., 1970.

GONZAGA, G. M.; TOMPKINS, L. A. 1991. Geologia do Diamante. In.: SCHOBENHAUS, Carlos; COELHO, C. E. Silva. (coord.) Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília: DNPM/SGB/CPRM, 1991. V.4, p.53-116

GRAY, J. et al. 1985. Silurian-Age Fossils from the Paleozoic Paraná Basin Southern Brazil. *Geology*, n.13, p.521-525, 1985.

HAESER, B. da S. et al. Revisão litoestratigráfica da Bacia dos Parecis e implicações para a exploração de petróleo. In: Rio Oil & Gas Expo and Conference. 2014.

Hamidov, A., & Helming, K. (2020). Sustainability considerations in water-energy-food nexus research in irrigated agriculture. *Sustainability (Switzerland)*, 12(15).

Heermann, D. F., & Hein, P. R. (1968). Performance Characteristics of Self Propelled Pivot Sprinkler Irrigation System. *ASAE*, 11(1), 11–15.

HURRELL, James W.; HOLLAND, M. M.; GENT, P. R.; GHAN, S.; KAY, Jennifer E.; KUSHNER, P. J.; LAMARQUE, J.-F.; LARGE, W. G.; LAWRENCE, D.; LINDSAY, K.; LIPSCOMB, W. H.; LONG, M. C.; MAHOWALD, N.; MARSH, D. R.; NEALE, R. B.; RASCH, P.; VAVRUS, S.; VERTENSTEIN, M.; BADER, D.; ... MARSHALL, S. The Community Earth System Model: A Framework for Collaborative Research. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 94, n. 9, p. 1339–1360, set. 2013.
<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00121.1>.

IBGE (2024). **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>

IBGE, 2024. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. Acesso em agosto de 2024.

IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. **IBGE CIDADES**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/panorama>>. Acesso em: 18 maio. 2025.

IBGE. (2023). *Mapa de Solos do Brasil*. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/English/soil_map.php. Acesso em: 24 jun. 2023.

IBGE. (2023). *Produção Agrícola Municipal 2022*. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>.

Instituto 5 Elementos - Educar para a Sustentabilidade. Jogo das Bacias Hidrográficas. Disponível em: <<https://5elementos.org.br/jogo-das-bacias-hidrograficas/>>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **PAM - Produção Agrícola Municipal: Principais resultados 2022**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados>>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2023). *Mapa de Solos do Brasil*. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/English/soil_map.php. Acesso em: 24 jun. 2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2023). *Produção Agrícola Municipal 2022*. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Working Group II contribution to the Sixth

INTERMAT (Instituto de Terras de Mato Grosso). Base Cartográfica Digital do Estado de Mato Grosso. 2010. Disponível em: <https://www.intermat.mt.gov.br/-/11303036-banco-de-dados-cartograficos>

IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, NY, USA: [s.n.].

Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkle and trickle irrigation*. New York: [s.n.].

KENDALL, M. G. Rank Correlation Methods. London: Charles Griffin, p.272, 1970.

KLEIN, G.V. & HSUI, A.T. Origin of cratonic basins. Snead, R.G., 1969. Late Quaternary carbonate sediments Geology, 15: 1094—1098, 1987.

KNECHTEL, R. Estudo da qualidade física e química das águas subterrâneas da área urbana de Sinop/MT. 65 p. Dissertação de Mestrado (Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT. Cuiabá, 2015.

Li, M., Xu, Y., Fu, Q., Singh, V. P., Liu, D., & Li, T. (2020). Efficient irrigation water allocation and its impact on agricultural sustainability and water scarcity under uncertainty. *Journal of Hydrology*, 586, 124888.

LIEBMANN, Brant; CAMARGO, Suzana J.; SETH, Anji; MARENGO, José A.; CARVALHO, Leila M. V.; ALLURED, Dave; FU, Rong; VERA, Carolina S. Onset and End of the Rainy Season in South America in Observations and the ECHAM 4.5 Atmospheric General Circulation Model. **Journal of Climate**, v. 20, n. 10, p. 2037–2050, 15 maio 2007. <https://doi.org/10.1175/JCLI4122.1>.

LOPES, M. F. C. 1994. Condições de ocorrência de água subterrânea nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari. MSc Dissertação. Campinas: Fac. Engenharia Civil, UNICAMP. 83 p

- Lourenço, R. D. S. (2018). *Modelagem das perdas por evaporação e arraste em emissores de placa defletora fixa e rotativa oscilante na irrigação via pivô central*. (MSc). Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/27342>.
- LUSSI, C. Avaliação Hidrogeológica do Sistema Aquífero Parecis na Cidade de Sinop - MT e seu Entorno. 134 F. Dissertação de Mestrado (Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT. Cuiabá, 2013.
- LUZ, J. S.; OLIVEIRA, A. M.; SOUZA, J. O.; MOTTA, J. F. M.; TANNO, L. C.; DOUZA, N.B.; ABREU FILHO, W. 1980. Projeto Coxipó. Relatório Final. Goiânia: SGB/CPRM, 1980. v.1, 136p.(Conv. DNPM / SGB/CPRM).
- MACE, R. E. 2001. Estimating transmissivity using specific-capacity data: The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology, Geologic Circular 01-2, 44 p. doi.org/10.23867/gc0102D.
- MANTOVANI, E.C., et al. 2019. Estudo do potencial hídrico da região oeste da Bahia: quantificação e monitoramento da disponibilidade dos recursos do aquífero Urucuia e superficiais nas bacias dos rios Grande, Corrente e Carinhanha. Relatório técnico final. Viçosa: AIBA. Available at: <https://aiba.org.br/wp-content/uploads/2020/02/Relatorio-final-Estudo-dos-Recursos-Hidricos-naRegiao-Oeste-da-Bahia-v2.pdf>.
- MARTINELLI, C. D. 1998. Petrografia, estrutural e fluídos da mineralização aurífera dos Araés-Nova Xavantina – MT. 1998. 183p. Tese. (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista, UNESP - Rio Claro – SP, 1998.
- MARTINELLI, C. D.; BATISTA J. J. 1998. Estratigrafia da sequência metavulcanossedimentar dos Araés: Grupo Cuiabá. In.: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 8, 2003, Cuiabá.
- MARTINELLI, C. D.; XAVIER, R. P.; MORALES, N.; BATISTA, J. J. 1997. Modelo estrutural e fluídos da mineralização aurífera “Garimpo dos Araés” – Nova Xavantina – MT. In.: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 6, 1997, Cuiabá. Anais ... Cuiabá: SBG, 1997. p.46-48
- MATA, M.A. da S. Águas superficiais e subterrâneas da bacia Tocantins-Araguaia como subsídio para um estudo de impacto ambiental. *Águas Subterrâneas*. Recuperado de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23912>. 17 p. 2000.
- MMA/SRH. Programa de Estruturação Institucional da Consolidação da Política Nacional de Recursos Hídricos – BRA/OEA/01/02. Diagnóstico Hidrogeológico do Estado de Mato Grosso. Relatório Parcial nº1. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Maio de 2007.
- MOREIRA, M. I. C.; BORGHI, L. 1999. Fácies sedimentares e sistemas deposicionais das Formações Alto Garças e Vila Maria na região de Chapada dos Guimarães (MT), Borda Noroeste da Bacia do Paraná. Rev. Bras. Geociências, v.29 , n.3 , p.419-428, 1999.
- MOURÃO, M. A. A. Implantação de Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas. Proposta Técnica. SGB/CPRM/DEHID/DIHEXP, 2009.
- NASA JPL. NASADEM Merged DEM Global 1 arc second V001. 2020. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Disponível em: https://doi.org/10.5067/MEaSURES/NASADEM/NASADEM_HGT.001
- OLIVEIRA, A. I.; LEONARDOS, O. H. 1943. Geologia do Brasil. 2 ed. Rio de Janeiro: Serv. de Informação Agrícola, 1943. 813p. (Série Didática, 2).

- OLIVEIRA, A. J.; MOURA, P. 1944. Geologia da região de Corumbá e minérios de manganês e ferro de Urucum, Mato Grosso. Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral, Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, n.62, p.13-29, 1944. (Parte I)
- OLIVEIRA, E. P. de. 1912, O Terreno Devoniano ao Sul do Brasil. Amm. Esc. Minas Ouro Preto, n.14, p.31-41, 1912.
- OLIVEIRA, M. A. M. 1964. Reconhecimento Geológico Expedido na Região do Alto Paraguai. Ponta Grossa: Petrobrás-DEBSP, 1964. 47p.
- OLIVEIRA, M. A. M.; MUHLMANN, H. 1965. Geologia de Semidetalhe da Região de Mutum, Jaciara, São Vicente e Chapada dos Guimarães-Petrobras-DEBSP, Rel. Interno-Ponta Grossa-62p.
- PENA, G. S.; FIGUEIREDO, A. J. A. 1972. Projeto Alcalinas. SGB/CPRM/DNPM, Goiânia, il., mapas, fotos.
- Pereda, P. C., & Alves, D. (2018). Climate and weather impacts on agriculture: The case of Brazil. *Economia Aplicada*, 22(3), 5-26.
- PEREIRA, L.A.C. et al. Síntese da hidrogeologia da Bacia dos Parecis. Anais...XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. ABAS. Belo Horizonte. 12 p. 2014.
- PEREIRA, L.A.C. et al. Síntese da hidrogeologia da Bacia dos Parecis. Anais...XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. ABAS. Belo Horizonte. 12 p. 2014.
- PEREIRA, S. Y.; SILVA, A. A. K. 2004. Availability and consumption of groundwater resources in the Campinas Region, SP, Brazil.
- PETRI, S. & FULFARO, V.J. Geologia da Chapada dos Parecis. Revista Brasileira de Geociências, v. 11, n.4, p. 274-282, 1981.
- PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. Journal of the Royal Statistical Society: Applied Statistics, vol. 28, p. 126–135, 1979.
- PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Journal of the Royal Statistical Society: Applied Statistics**, vol. 28, p. 126–135, 1979.
- PINHO, F. E. C., 1990. Estudo das rochas encaixantes e veios mineralizados a ouro do Grupo Cuiabá, na região denominada Garimpo do Araés, Nova Xavantina, Estado de Mato Grosso. 114p. Tese (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 1990
- PIPER, A. M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. American Geophysical Union Transactions 25:914-923. 1944.
- PIRES, Gabrielle F.; ABRAHÃO, Gabriel M.; BRUMATTI, Livia M.; OLIVEIRA, Leydimere J.C.; COSTA, Marcos H.; LIDDICOAT, Spencer; KATO, Etsushi; LADLE, Richard J. Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 228–229, p. 286–298, nov. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.07.005>.
- Playán, E., & Sánchez, J. (2005). Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. *Agricultural Water Management*, 76(3), 139–159. Porto Alegre, Artmed: 3ª ed., 608 p. 2005.

- POUSA, Raphael; COSTA, Marcos Heil; PIMENTA, Fernando Martins; FONTES, Vitor Cunha; BRITO, Vinícius Fonseca Anício De; CASTRO, Marina. Climate Change and Intense Irrigation Growth in Western Bahia, Brazil: The Urgent Need for Hydroclimatic Monitoring. **Water**, v. 11, n. 5, p. 933, 2 maio 2019. <https://doi.org/10.3390/w11050933>.
- PRUSKI, F. F. et al. Extrapolation of regionalization equations for long-term average flow. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 4430, p. 830–838, 2016.
- PRUSKI, F. F. et al. Improved regionalization of streamflow by use of the streamflow equivalent of precipitation as an explanatory variable. **Journal of Hydrology**, v. 476, p. 52–71, 2013.
- PRUSKI, F. F. et al. Low-flow estimates in regions of extrapolation of the regionalization equations: a new concept. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 5, p. 808–816, 2015.
- Pruski, F. F., de Araújo Nunes, A., Pruski, P. L., & del Giudice Rodriguez, R. (2013). Improved regionalization of streamflow by use of the streamflow equivalent of precipitation as an explanatory variable. *Journal of Hydrology*, 476, 52-71
- PRUSKI, Fernando F. *et al.* Impact of the substitution of reference annual streamflow by monthly streamflow on the potential use of water resources. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 3, p. 496–509, jun. 2014.
- RAMOS, Diovany D. *et al.* Water seasonality in granting permits and impact of irrigation in the Dourados River basin, MS, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 7, p. 499–504, jul. 2017.
- RIBEIRO, D. B. S. Avaliação Hidrogeológica na Cidade de Sinop, MT. 47F. Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia) – Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT. Cuiabá, 2008.
- Rodriguez, R. D. G. (2008). Proposta conceitual para a regionalização de vazões. Rio de Janeiro.
- Salmoral, G., Carbó, AV, Zegarra, E., Knox, JW, & Rey, D. (2020). Reconciliando as demandas de irrigação para expansão agrícola com sustentabilidade ambiental - Uma avaliação preliminar para o Vale do Ica, Peru. *Journal of Cleaner Production* , 276 , 123544.
- SAMPAIO, Gilvan; SHIMIZU, Marília H.; GUIMARÃES-JÚNIOR, Carlos A.; ALEXANDRE, Felipe; GUATURA, Marcelo; CARDOSO, Manoel; DOMINGUES, Tomas F.; RAMMIG, Anja; VON RANDOW, Celso; REZENDE, Luiz F. C.; LAPOLA, David M. CO₂</sub>> physiological effect can cause rainfall decrease as strong as large-scale deforestation in the Amazon. **Biogeosciences**, v. 18, n. 8, p. 2511–2525, 22 abr. 2021. <https://doi.org/10.5194/bg-18-2511-2021>.
- SANFORD, R. M.; LANGE, F. W. 1960. Basin study approach to oil evaluation of Paraná Miogeocline, south Brazil. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Okla, n.44, p.1316 –1370, 1960
- Santos, I. S., Silva, A. J., & Silva, J. (2020). Controlled water stress in agricultural crops in Brazilian Cerrado. *Bioscience Journal*, 36(3), 886–895.
- SANTOS, V. S. Aspectos Geomorfológicos da Folha Utariti – MIR-355 (SD.21-V-D). Memória Técnica. Parte 2: Sistematização das Informações Temáticas. In: SEPLAN – Secretaria de Planejamento e Coordenação. Zoneamento econômico e ecológico. SEPLAN/BID. 30 p. Cuiabá, 2000.

- SCHOBENHAUS C. et al. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas SIG e 46 folhas na escala. 1:1.000.000. CPRM, Brasília. 2004
- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (MT). *Diretrizes para operação e manutenção de estações telemétricas*. Cuiabá: SEMA, 2020.
- SEMA/MT, Secretaria de Estado de Meio Ambiente. **Regionalização de Estudo Hidrológico do estado de Mato Grosso**. Produtos do contrato 021/2007. Cuiabá, Mato Grosso, vol. I, 90p., 2007.
- SERRANO, A.; VÁZQUEZ-SUÑÉ, E. 2013. Easy Bal v.10.7 (Spreadsheet). Hydrogeology Group, UPC-CSIC, Barcelona.
- SILVA, Antônio M. da *et al.* Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 374–380, jun. 2006.
- SILVA, Bruno Marcel Barros da; SILVA, Demetrius David da; MOREIRA, Michel Castro. Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of IBGE**, Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. **IBGE CIDADES**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/panorama>>. Acesso em: 18 maio. 2025.
- SILVA, T.G. Caracterização do Sistema Aquífero Parecis na região centro-oeste do estado de Mato Grosso: Subsídios para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Dissertação de Metrado (Geociências Aplicadas) – Universidade de Brasília – UnB. Brasília, 2013.
- SILVA, T.G. Caracterização do Sistema Aquífero Parecis na região centro-oeste do estado de Mato Grosso: Subsídios para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Dissertação de Metrado (Geociências Aplicadas) – Universidade de Brasília – UnB. Brasília, 2013.
- SIQUEIRA, L. P. Bacia dos Parecis. Boletim de Geociências. Rio de Janeiro: PETROBRAS, n.3, p.3-16. 1989.
- Souza, C.M., Shimbo, J.Z., Rosa, M.R., Parente, L.L., Alencar, A.A., Rudorff, B.F.T., Hasenack, H., Matsumoto, M., Ferreira, L.G., Souza-Filho, P.W.M., de Oliveira, S.W., Rocha, W.F., Fonseca, A. V., Marques, C.B., Diniz, C.G., Costa, D., Monteiro, D., Rosa, E.R., Vélez-Martin, E., Weber, E.J., Lenti, F.E.B., Paternost, F.F., Pareyn, F.G.C., Siqueira, J. V., Viera, J.L., Neto, L.C.F., Saraiva, M.M., Sales, M.H., Salgado, M.P.G., Vasconcelos, R., Galano, S., Mesquita, V. V., Azevedo, T., 2020. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. Remote Sens. 12. <https://doi.org/10.3390/RS12172735>
- Tarjuelo, J. M., González, R., & Garcia, A. (2000). Modelling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions. *Agricultural Water Management*, 43(3), 263–284.
- THORNTHWAITE C.; MATHER J. 1955. The water balance: publications in climatology. Drexel Institute of Technology, Centeron, NJ.
- VÁZQUEZ SUÑÉ, E.; CASTRO, A. 2002. Plantilla de cálculo de la infiltración *EASY BAL*. Universidade Politécnica da Catalunha.
- VIEIRA, A. J. 1965. Geologia do Centro-Oeste de Mato Grosso. Ponta Grossa. PETROBRÁS-DEBSP, 1965. 79 p. (Relatório Técnico Interno, 379).

WARD Jr., J.H. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. **Journal of the American Statistical Association**, 58, 236-244, 1963.

WESKA, R. K.; DANNI, J. C. M.; DARDENNE, M. A.; PERIN, A. L. 1988. Contribuição a Estratigrafia do Grupo Bauru na Região da Chapada dos Guimarães – MT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1988, Belém. Anais. Belém: SBG, 1988.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 16, p. 8390–8404, 30 dez. 2022. <https://doi.org/10.1002/joc.7731>.

XU, Xianghui *et al.* Sustainable management of agricultural water rights trading under uncertainty: An optimization-evaluation framework. **Agricultural Water Management**, v. 280, p. 108212, abr. 2023.

ZALÁN, P. V.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S. 1990. The Paraná basin, Brazil. Tulsa: AAPG Memoir, n.51, p.681-708, 1990.