



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

ANNA ALICE COUTO GOMES

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO POLO DE IRRIGAÇÃO
SUSTENTÁVEL DE PRIMAVERA DO LESTE - MT**

Trabalho de Conclusão de Curso
(Geologia)

UFRJ
Rio de Janeiro
2023



ANNA ALICE COUTO GOMES

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO POLO DE IRRIGAÇÃO
SUSTENTÁVEL DE PRIMAVERA DO LESTE - MT**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
em Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito necessário para
obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Júnior

Rio de Janeiro
Janeiro de 2023

ANNA, Alice Couto Gomes

Caracterização Hidrogeológica do Polo de Irrigação Sustentável de Primavera do Leste - MT / Anna Alice Couto Gomes – Rio de Janeiro: UFRJ / IGEO, 2023.

xi, 53 p. : 14 il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2023.

Orientador: Gerson Cardoso da Silva Júnior.

1. Geologia. 2. Geologia de Engenharia e Ambiental – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Gerson, Cardoso da Silva Júnior. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Caracterização Hidrogeológica do Polo de Irrigação Sustentável de Primavera do Leste - MT.

ANNA ALICE COUTO GOMES

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO POLO DE IRRIGAÇÃO
SUSTENTÁVEL DE PRIMAVERA DO LESTE - MT**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
em Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito necessário para
obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:
Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Júnior

Aprovada em: __/__/____

Por:

Orientador: Prof. Gerson Cardoso da Silva Júnior, D.Sc. (UFRJ)

Prof. Katia Leite Mansur, D.Sc. (UFRJ)

Hullysses Sabino, M.Sc. (UFF)

À Vera (in memoriam).

Agradecimentos

À minha família pelo incentivo por toda vida até este momento.

Aos meus pais pelo apoio e dedicação durante meus estudos. Seu incentivo à educação e seus valores me fizeram chegar até aqui.

Ao Artur pela presença e apoio durante a confecção deste trabalho.

À toda equipe do Laboratório de Hidrogeologia e colaboradores pelo enriquecimento acadêmico e de vida, por todo tempo compartilhado.

Ao meu orientador, prof. Dr. Gerson Cardoso, pelas discussões, críticas e conselhos pertinentes a este trabalho e às atividades de iniciação científica. Agradeço pela atenção, paciência e confiança.

Aos amigos feitos no decorrer da graduação pelo apoio e pelos momentos vividos. Agradeço pela convivência diária, por todo incentivo e pela descontração proporcionada.

À Juliana, cujo apoio e discussões auxiliaram na confecção deste trabalho.

A todos envolvidos no projeto MDR-MT pela convivência, conhecimento e orientação no desenvolvimento das atividades.

Ao CNPq, pela bolsa concedida durante as atividades de iniciação científica.

Resumo

GOMES, Anna Alice Couto. **CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO POLO DE IRRIGAÇÃO SUSTENTÁVEL DE PRIMAVERA DO LESTE - MT**. Rio de Janeiro, 2023. xi, 53 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O estado de Mato Grosso é reconhecido nacionalmente devido às suas atividades de agronegócio bem estabelecidas. Além disso, o estado também possui uma abundância de recursos hídricos, sendo a área-limite das bacias Amazônica, Tocantins-Araguaia e Paraguai. Apesar de apresentar um grande potencial hídrico, é vulnerável a desequilíbrios caso a análise da disponibilidade e monitoramento destes recursos não sejam realizados, pois apresenta perspectivas de expansão de atividades agrícolas que demandam grandes volumes recursos hídricos. Buscando agregar dados e contribuir para a segurança hídrica da região, foi avaliada a produtividade das unidades aquíferas do polo de irrigação de Primavera do Leste, no sul do estado do Mato Grosso. Também foi criado um modelo geológico da região visando uma melhor compreensão da distribuição dos aquíferos locais. Foram utilizados dados hidráulicos e geológicos descritos em poços registrados na CPRM e na Secretaria de Meio ambiente do Mato Grosso (SEMA) para confecção dos resultados. Avaliando a produtividade, o destaque da região são os aquíferos granulares com valores de capacidade específica entre 0,01 a 14,40 m³/h/m, enquanto no sistema fraturado, a capacidade específica ficou entre 0,05 e 0,66 m³/h/m. Destacaram-se as coberturas cenozoicas, sendo a mais produtiva a Formação Pantanal, seguida pela Formação Cachoeirinha, com valores de capacidade específica média de 5,02 e 2,68 m³/h/m, respectivamente. Em relação a modelagem geológica, foi possível produzir um modelo simplificado a partir da descrição geológica dos poços, gerando superfícies de contatos entre algumas unidades aflorantes na região. O *software Leapfrog* se mostrou efetivo mesmo com as limitações dos dados e dificuldades em relação a extensão da área de modelagem. Este trabalho é alinhado com a iniciativa de polos de agricultura irrigada, um conjunto de ações que visa levantar dados que servirão de parâmetros para o desenvolvimento racional do polo de irrigação de forma sustentável, garantindo a demanda para o uso na agricultura, estimulando o crescimento socioambiental e preservando as reservas hídricas evitando conflitos.

Palavras-chave: Mato Grosso; produtividade; modelo geológico.

Abstract

GOMES, Anna Alice Couto. **HYDROGEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE SUSTAINABLE IRRIGATION COMPLEX OF PRIMAVERA DO LESTE, STATE OF MATO GROSSO, BRAZIL**. Rio de Janeiro, 2023. xi, 53 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The state of Mato Grosso is nationally recognized due to its well-established agribusiness activities. In addition, the state also has an abundance of water resources, being the boundary area of the Amazon, Tocantins-Araguaia and Paraguay basins. Despite its great water potential, it is vulnerable to imbalances if the analysis of the availability and monitoring of these resources is not carried out, because it presents prospects for expansion of agricultural activities that demand large volumes of water resources. Seeking to aggregate data and contribute to the region's water security, the productivity of the aquifer units in the Primavera do Leste irrigation center, in the south of Mato Grosso state, was evaluated. A geological model of the region was also created to better understand the distribution of local aquifers. Hydraulic and geological data described in wells registered in CPRM and in the Mato Grosso Secretary of Environment (SEMA) were used to produce the results. Evaluating the productivity, the highlight of the region are the granular aquifers with specific capacity values between 0.01 and 14.40 m³/h/m, while in the fractured system, the specific capacity was between 0.05 and 0.66 m³/h/m. The most productive was the Pantanal Formation, followed by the Cachoeirinha Formation, with average specific capacity values of 5.02 and 2.68 m³/h/m, respectively. Regarding the geological modeling, it was possible to produce a simplified model from the geological description of the wells, generating contact surfaces between some outcropping units in the region. The Leapfrog software proved to be effective even with the limitations of the data and difficulties regarding the extension of the modeling area. This work is aligned with the irrigated agriculture poles initiative, a set of actions that aims to raise data that will serve as parameters for the rational development of the irrigation pole in a sustainable way, ensuring the demand for use in agriculture, stimulating socio-environmental growth and preserving water reserves avoiding conflicts

Keywords: Mato Grosso; productivity; geologic model.

Lista de Figuras

Figura 1 - Localização da região de estudo no estado do Mato Grosso.	4
Figura 2 - Modelo de elevação para o estado do Mato Grosso. Retirado de Coutinho (2005). .	5
Figura 3 - Compartimentação do estado do Mato Grosso em três grandes províncias geotectônicas principais. Modificado de Prodeagro (2000).	7
Figura 4 - Localização da área de estudo no contexto da compartimentação geológica do estado.	11
Figura 5 - Unidades aflorantes na região de estudo. Modificado de IBGE (2009).	12
Figura 6 - Classificação de tipos de porosidade. Fonte: Prodeagro (2000).	19
Figura 7 - Mapa de capacidade específica ($m^3/h/m$) por unidade aquífera.	37
Figura 8 - Mapa de vazão (m^3/h) por unidade aquífera.	38
Figura 9 - Distribuição de poços e indicação de localização do modelo geológico.	39
Figura 10 - Mosaico do modelo digital de elevação (em tons de cinza); à direita superior estes mesmos dados introduzido no software apresentando distorções. Os dados foram transformados em pontos com informação da cota topográfica e triangulados dentro do próprio Leapfrog para gerar a superfície topográfica final (direita inferior)..	43
Figura 11 - Modelo geológico preliminar com volumes gerados após determinação das superfícies de contato entre as unidades.	41
Figura 12 - Modelo geológico visto a sudoeste com sobreposição da superfície topográfica em transparência.	42
Figura 13 - Modelo geológico visto em mapa e em seção.	43
Figura 14 - Localização do modelo geológico em relação a área de estudo.	44

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Resumo do quantitativo de poços analisados no estudo.....	26
Tabela 2 - Ocorrências estratigráficas extraídas dos perfis de poços do SIAGAS/RIMAS.....	27
Tabela 3 - Resumo do quantitativo de poços analisados na base de dados SEMA.....	28
Tabela 4 - Ocorrências estratigráficas extraídas dos perfis de poços da SEMA.	28
Tabela 5 - Valores médios de capacidade específica e vazões por sistema aquífero.	34
Tabela 6 - Análise de produtividade por unidade identificada pelo inventário de poços.....	36

SUMÁRIO

Agradecimentos	v
Resumo	vi
Abstract	vii
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	ix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	3
2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	4
2.1 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS.....	5
2.2 CLIMA E VEGETAÇÃO	6
2.3 GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL	7
2.3.1 Compartimentação geotectônica	7
2.4 ESTRATIGRAFIA.....	10
2.4.1 Rochas Neoproterozoicas.....	13
2.4.2 Bacia do Paraná.....	13
2.4.3 Coberturas cenozoicas.....	17
3 HIDROGEOLOGIA	19
3.1 SISTEMA AQUÍFERO GRANULAR.....	21
3.2 SISTEMA AQUÍFERO FRATURADO	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	24
4.2 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS DE POÇOS.....	24
4.2.1 Inventário de poços – SIAGAS/RIMAS	24

4.2.2 Inventário de poços – SEMA	27
4.3 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO	30
4.4 LEAPFROG GEO	30
5 RESULTADOS	33
5.1 PRODUTIVIDADE DOS AQUÍFEROS	33
5.2 MODELAGEM GEOLÓGICA.....	39
6 DISCUSSÃO	46
7 CONCLUSÕES.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a vida no planeta. É um recurso atribuído de valor econômico em sua serventia em diversas atividades econômicas e de tal importância que pode influenciar o nível de desenvolvimento que uma região pode alcançar. Entre os principais tipos de uso de água no planeta, a irrigação é a atividade que consome a maior porção dos recursos hídricos (Klemp, 2010) e, devido seu protagonismo, necessita que sua gestão seja baseada em normas técnicas e informações acerca da disponibilidade e demanda em cada região.

O estado de Mato Grosso é reconhecido nacionalmente como “celeiro do país” devido às suas atividades de agronegócio bem estabelecidas, obtendo recordes de produção em soja, algodão, milho e pecuária. Além disso, o estado também possui uma abundância de recursos hídricos, sendo a área-limite de três bacias hidrográficas importantes: Amazônica, Tocantins-Araguaia e Paraguai.

A boa gestão dos recursos hídricos é necessária uma vez que sua demanda cresceu muito nos últimos anos. A partir de relatório emitido para análise de finalidade de uso de outorgas cadastradas no ano de 2021 no estado do Mato Grosso, é possível observar que a irrigação se encontra como a principal utilidade de uso para cadastros de águas superficiais, representando 47,6% das outorgas emitidas; para as águas subterrâneas, 56,4% das outorgas emitidas englobam usos diversos envolvendo fazendas, comércios, hotéis e abastecimento urbano (SEMA, 2021).

O Brasil está entre os dez países com maior área irrigada do mundo, tendo capacidade para aumentar em cinco vezes as lavouras que utilizam de irrigação (Embrapa, 2016). Embora não seja o estado com maior área irrigada do país, o Mato Grosso aparece como um dos estados com forte previsão de expansão de área irrigada nos próximos anos (Embrapa, 2016). Como maior consumidora de água doce em escala mundial, a agricultura é o fator principal na

degradação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, devido a licenciamentos ambientais que desrespeitam as capacidades de suporte dos mananciais, graças a insuficiência de informações em algumas regiões (Klemp, 2010). Mato Grosso, enquanto estado com forte vocação agropecuária, apesar de apresentar um grande potencial hídrico, é vulnerável a desequilíbrios, caso trabalhos de análise da disponibilidade e monitoramento destes recursos não sejam realizados, pois apresenta perspectivas de expansão de atividades que demandam grandes volumes de recursos hídricos.

A segurança hídrica é quesito imprescindível para o desenvolvimento socioeconômico, principalmente quando analisados diversos eventos hidrológicos extremos ocorridos na última década no Brasil (ANA, 2019). Regiões que antes não apresentavam desequilíbrio considerável entre demanda e disponibilidade de água estiveram sujeitas a situações de deficiências de abastecimento em anos recentes, como no caso das recentes crises hídricas do sudeste, em especial na bacia do rio Paraíba do Sul, afetando boa parcela da população. Durante as crises hídricas recentes no Brasil, várias medidas eventuais foram tomadas como racionamento, alocações de reservatórios, obras emergenciais ou suspensões de abastecimento. Enquanto algumas medidas podem ter algum impacto positivo com resultados momentâneos, ainda não há capacidade de assegurar futuramente a disponibilidade hídrica para manutenção das diversas atividades necessárias.

O Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), idealizado e desenvolvido pela Agência Nacional de Águas (ANA) em parceria com o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), atua a partir de indicadores de diversas dimensões de forma a assegurar a segurança hídrica no território nacional, evitando e minimizando efeitos do desequilíbrio hídrico nas atividades econômicas e no abastecimento (ANA, 2019).

É consenso que ao desenvolver programas de uso sustentável dos recursos hídricos de uma região existe a necessidade de uma rede de monitoramento permanente da disponibilidade

de água, já que esta rede vai permitir o acompanhamento da disponibilidade hídrica ao longo do ano e, conseqüentemente, apoiar as estratégias e tomadas de decisão em relação às demandas do futuro (OCDE, 2015). No contexto de agricultura irrigada, uma rede de monitoramento gera a garantia de que os volumes bombeados estão adequados à disponibilidade, assegurando a segurança hídrica e resguardando a natureza, o produtor e toda sociedade.

Este presente trabalho foi originado a partir do estudo intitulado “Estudo Integrado da Disponibilidade Hídrica Superficial e Subterrânea como forma de Segurança Hídrica para o Desenvolvimento Sustentável do Polo de Irrigação Sustentável do Sul do Mato Grosso”, encomendado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional e desenvolvido em conjunto com pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Universidade Federal de Viçosa (UFV), tendo como objetivo a caracterização geral da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea em ação que visa a segurança hídrica de um polo de irrigação. A autora participou como bolsista de Iniciação Científica desse projeto.

1.1 Objetivos

Esta pesquisa tem como objetivo geral a caracterização da disponibilidade hídrica subterrânea do polo de irrigação de Primavera do Leste, no sul do estado do Mato Grosso, identificando o possível uso sustentável das reservas de água em uma região onde a atividade agropecuária é de grande relevância. Busca-se agregar dados e contribuir para a segurança hídrica da região ao melhorar e atualizar o conhecimento hidrogeológico. Este trabalho também visa contribuir com a produção de mapas para visualização da produtividade das unidades geológicas identificadas e construção de um modelo geológico para melhor compreensão dos sistemas aquíferos da região.

2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

A região de estudo está localizada ao sul do estado do Mato Grosso, região Centro-Oeste do Brasil, numa região dominada por chapadas e patamares com um relevo elevado em relação ao seu arredor. Esta região caracteriza a área do divisor de águas entre as bacias hidrográficas Amazônica, do rio Tocantins-Araguaia e do rio Paraguai (Figura 1). Abrange os municípios de Campo Verde, Dom Aquino, General Carneiro, Novo São Joaquim, Poxoréu, Primavera do Leste e Santo Antônio do Leste sendo o município de Primavera do Leste o principal polo da região, a aproximadamente 230 km de distância de Cuiabá, capital do estado.

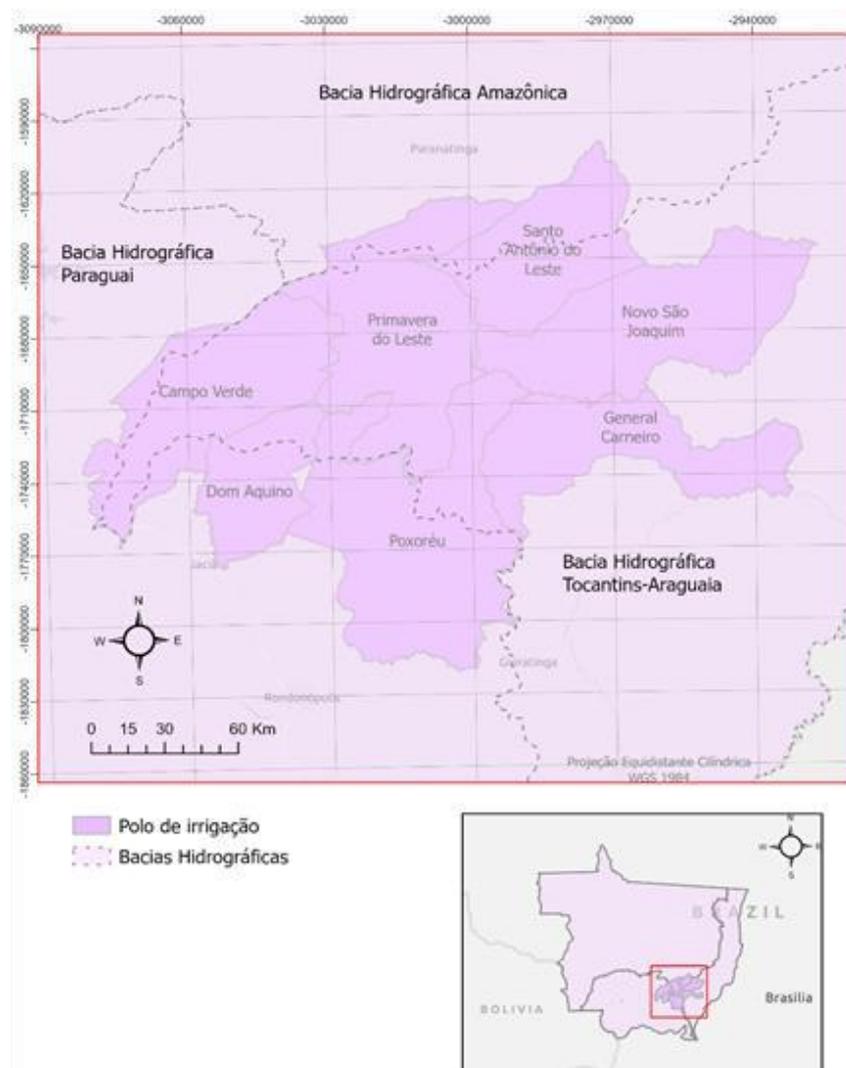


Figura 1 - Localização da região de estudo no estado do Mato Grosso.

O relevo do estado repousa sobre o escudo brasileiro na região denominada de Maciço Central, Maciço do Brasil Central ou Maciço Mato-Grossense. Apresenta grandes áreas de escudo exposto exibindo estruturas geológicas complexas sobre as quais se depositaram sedimentos. O Maciço Mato-Grossense apresenta-se soerguido para o Sul (Figura 2), onde apresenta suas maiores altitudes: 800-1200 metros, na Serra Azul e 500-800 metros, na Chapada dos Guimarães (Coutinho, 2005).

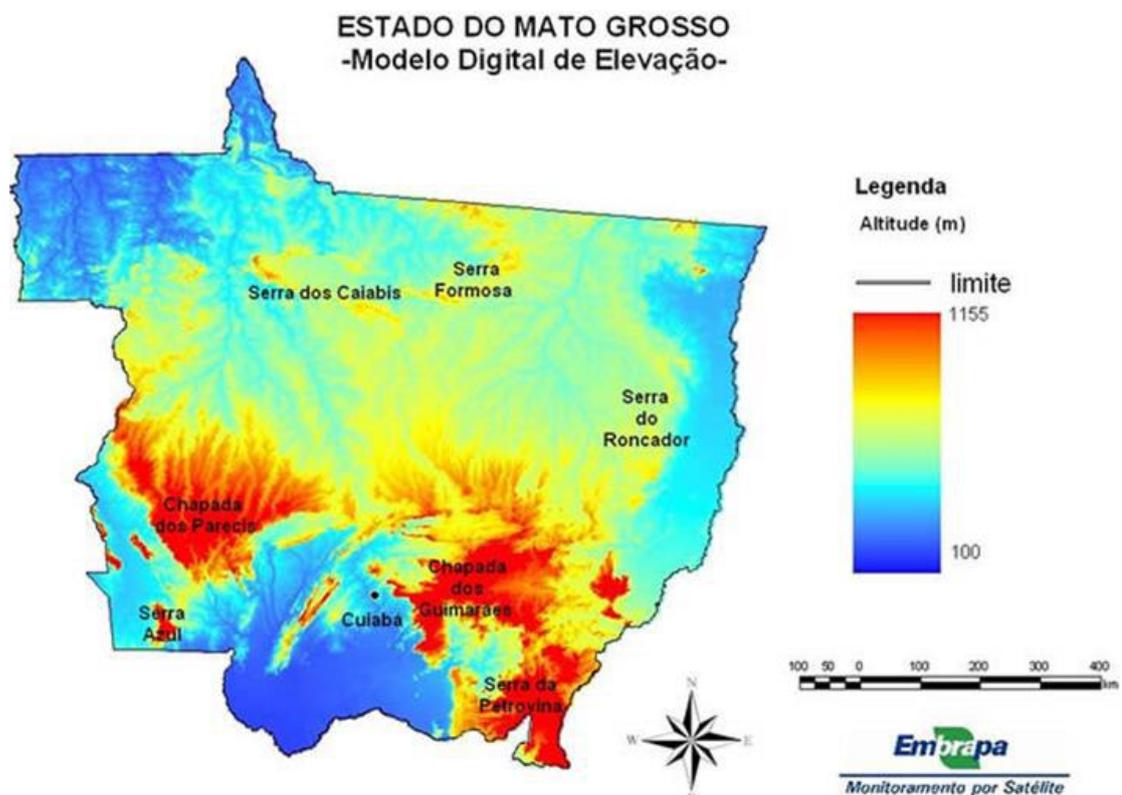


Figura 2 - Modelo de elevação para o estado do Mato Grosso. Retirado de Coutinho (2005).

2.1 Aspectos Socioeconômicos

O estado de Mato Grosso é reconhecido nacionalmente pela sua proeminência no agronegócio atingindo seguidos recordes na produção de grãos e rebanho bovino. De acordo com o Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária, o agronegócio representa 50,5% do PIB do estado. O impacto econômico do agronegócio é tão importante que de 1999 a 2012 o PIB estadual aumentou mais de 500%, saindo de R\$ 12 bilhões para R\$ 80,8 bilhões (Governo

do Mato Grosso, 2015). Os municípios que abrangem a região de estudo possuem cerca de 148 mil habitantes, segundo projeções do IBGE em 2021, tendo Campo Verde e Primavera do Leste como destaque na região, especialmente este último. Primavera do Leste hoje é a décima quinta cidade mais rica do agronegócio nacional, sétimo maior PIB e sexto maior IDH do estado (Prefeitura Municipal de Primavera do Leste, 2022) e no escopo deste trabalho representa a sede do polo de irrigação.

2.2 Clima e Vegetação

Devido sua grande extensão territorial, o estado do Mato Grosso possui grande diversidade nos tipos climáticos associados. Seu regime de chuvas é típico de ambiente tropical marcado por maior nível de precipitação pluviométrica entre novembro e março, especialmente entre janeiro e março na região norte do estado, dezembro-fevereiro no centro e novembro-janeiro no Sul (Coutinho, 2005), enquanto no inverno é excessivamente seco com raras ocorrências de chuvas.

Nos arredores da região de estudo o clima pode ser caracterizado como tropical quente, tendo como característica marcante altas temperaturas diárias, alcançando facilmente os 40°C nos meses mais quentes (Zimmer, 2014).

Em sua extensão a vegetação pode aparecer como variados tipos de floresta ou cerrado a depender do clima local e relevo. De forma geral o cerrado é predominante, apresentando-se com vegetação do tipo rala a denso, a depender dos diversos tipos de solos que são desenvolvidos sobre as variadas estruturas geológicas. Em áreas preservadas aparece mais denso formando uma vegetação compacta com árvores de médio porte, já as matas ciliares e de galerias complementam a característica vegetação da região (Zimmer, 2014). Sua ocorrência parece estar associada a condições climáticas associadas a períodos de seca o que pode levar a indicação de que o maior parâmetro para sua distribuição seja o regime hídrico.

2.3 Geologia Regional e Local

2.3.1 Compartimentação geotectônica

De forma geral é possível identificar três grandes províncias geotectônicas no estado do Mato Grosso (Figura 3): o Cráton Amazônico (província estabilizada anteriormente aos eventos Brasilianos), a Província Tocantins (estruturada durante o Ciclo Orogênico Brasiliano, entre 960-540 Ma) e as Bacias Sedimentares Fanerozoicas (mais jovens que 540 Ma).

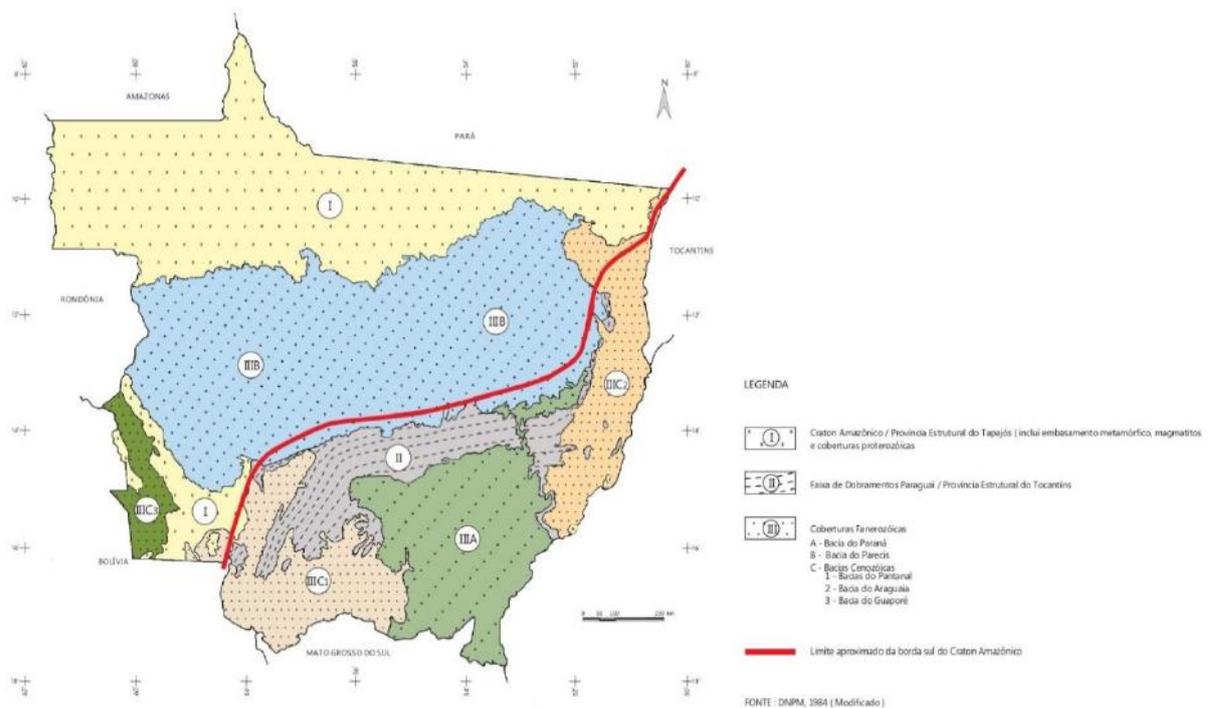


Figura 3 - Compartimentação do estado do Mato Grosso em três grandes províncias geotectônicas principais. Modificado de Prodeagro (2000).

Cráton Amazonas

O cráton Amazônico ocupa uma extensa área do estado ocupando uma porção a norte e outra a sudoeste tendo a Bacia dos Parecis inserida entre essas duas áreas. Os limites leste, sul e sudeste do cráton estão em contato com a Faixa Paraguai (Província Tocantins). No contexto do estado de Mato Grosso, o cráton Amazônico pode ser subdividido em três províncias

tectônicas, de nordeste para sudoeste e da mais antiga para a mais jovem, segundo Santos *et al.* (2000): Amazônia Central, Rondônia-Juruena e Sunsás. Tratam-se de áreas constituídas por terrenos vulcânicos, vulcanossedimentares e arcos magmáticos com registros de diversos episódios magmáticos e de sedimentação com idades que vão desde 2,6 a 0,9 Ga (CPRM, 2004).

Província Tocantins

No estado do Mato Grosso esta província tem registros restritos da Faixa Brasília na região sudeste, sendo estes quase totalmente encobertos por sedimentos quaternários da Bacia do Bananal. De forma geral, o registro característico deste compartimento no Mato Grosso é associado à Faixa Paraguai.

Faixa Paraguai

A Faixa Paraguai tem idade neoproterozoica e foi desenvolvida na borda sul do cráton Amazônico, sendo caracterizada por uma sequência de rochas metassedimentares (grupos Cuiabá e Alto Paraguai, e formações Puga, Bauxi e Urucum) e rochas metavulcanossedimentares (Unidade Nova Xavantina).

A Faixa Paraguai apresenta forma de arco com concavidade para SE, orientação na direção NE-SW no seu ramo norte e N-S no seu segmento sul. Se estende da região de Nova Xavantina, passando por Cuiabá e Província Serrana no Mato Grosso e segue até Corumbá, no Mato Grosso do Sul. Outro ramo com direção NW-SE ocorre de Corumbá até o interior da Bolívia (onde se chama Cinturão Tucavaca).

Uma abordagem para a Faixa Alto Paraguai é apresentada como uma entidade geotectônica dividida em dois principais domínios: uma margem passiva, envolvendo remanescentes de Crosta oceânica e bacia de antepaís (CPRM, 2004).

Bacias Sedimentares Fanerozoicas

Bacias Paleo-Mesozoicas

Bacia Do Paraná

Seu registro no estado do Mato Grosso compreende a terminação noroeste da bacia. O empilhamento estratigráfico e as estruturas observadas demonstram que os esforços que atuaram nesta região correspondem a movimentos epirogênicos ascendentes e descendentes, de diversas amplitudes, e que truncaram determinadas sequências, uma situação que foi observada durante o Paleozoico, Mesozoico e mesmo no Cenozoico. Quanto às estruturas, observam-se blocos altos e baixos ao longo de falhas, além de estruturas flexurais caracterizadas por domos e arcos responsáveis pela perturbação da feição estrutural monoclinal original da bacia (Prodeagro, 2000).

Além da Bacia do Paraná, destaca-se com grande relevância a Bacia do Parecis no centro-norte do estado do Mato Grosso. Trata-se de uma estrutura com ocorrência expressiva com alguns estudos geológicos e geofísicos desenvolvidos pela Petrobras. Também dentro das bacias paleo-mesozoicas tem-se a Bacia do Alto Tapajós, restrita ao norte do estado (CPRM, 2004).

Bacias Cenozoicas

Dentre as bacias Cenozoicas destaca-se a Bacia do Pantanal, uma das maiores bacias intracratônicas cenozoicas do país, possuindo por volta de 600 m de pacote sedimentar, e associadas às rochas da Formação Pantanal (CPRM, 2004). Além desta ocorrem bacias menores como a do Alto Xingu, Bananal e Guaporé.

2.4 Estratigrafia

A geologia da área de estudo compreende desde rochas do Neoproterozoico a rochas do Cenozoico, com destaque para as coberturas sedimentares cenozoicas e rochas da Bacia do Paraná (Ordoviciano – Cretáceo). Conforme observado na Figura 4, a região faz limites com a parte do extremo leste da Faixa Paraguai e compreende basicamente as unidades estratigráficas sedimentares mais recentes, entre os três principais compartimentos tectônicos anteriormente comentados. Apesar do Cráton Amazônico ser bastante expressivo no Mato Grosso, não há muitas ocorrências aflorantes a sul. Em seguida, a Figura 5 mostra as unidades aflorantes referentes a área de estudo. Nota-se a grande influência das unidades atreladas a Bacia do Paraná entre as unidades aflorantes. Coberturas cenozoicas também apresentam grande extensão, geralmente, recobrando os sedimentos do Grupo Paraná. Já as unidades ligadas à Faixa Paraguai têm ocorrência restrita às bordas norte e leste do polo.

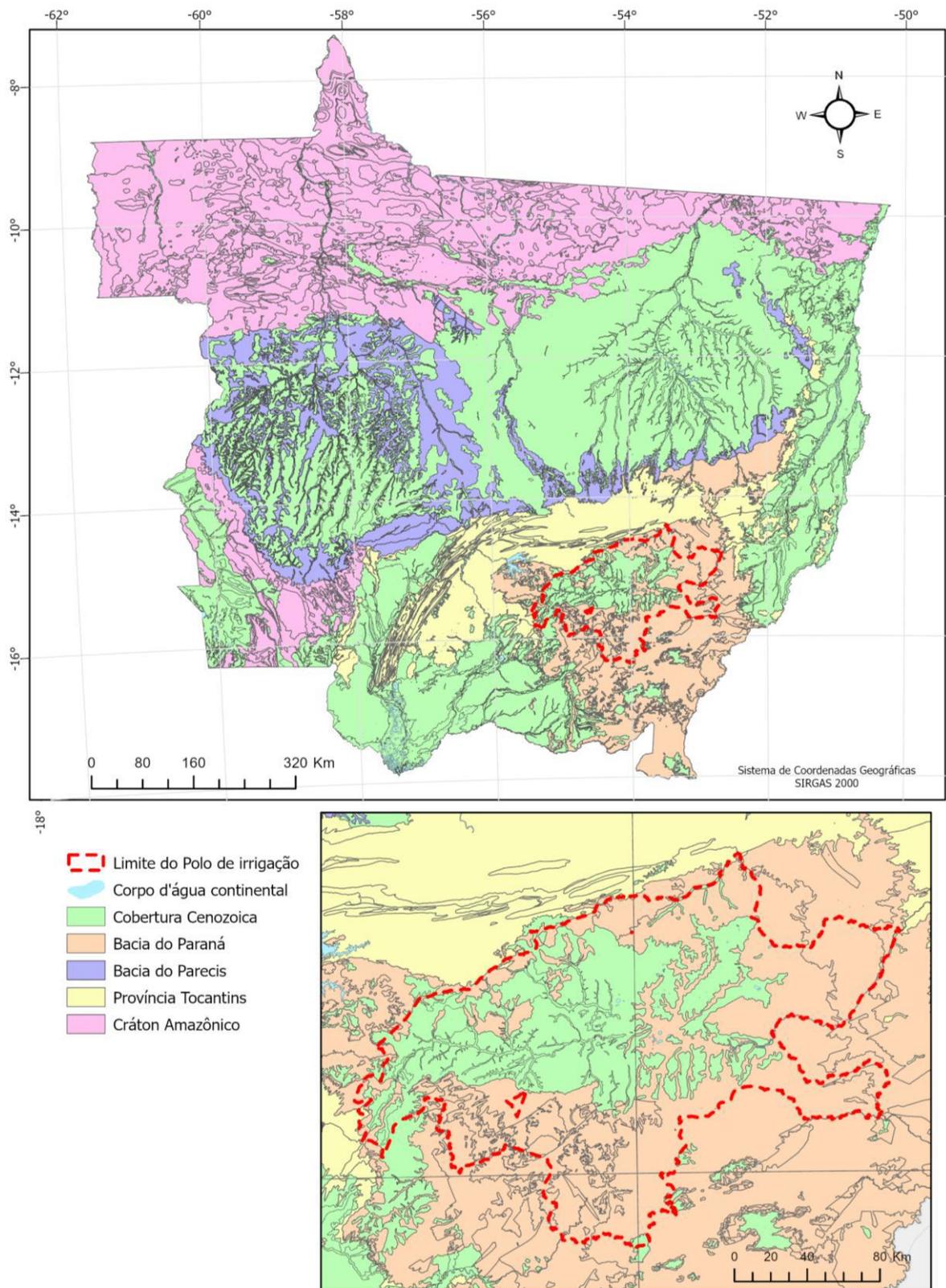


Figura 4 - Localização da área de estudo no contexto da compartimentação geológica do estado. Modificado de IBGE (2009).

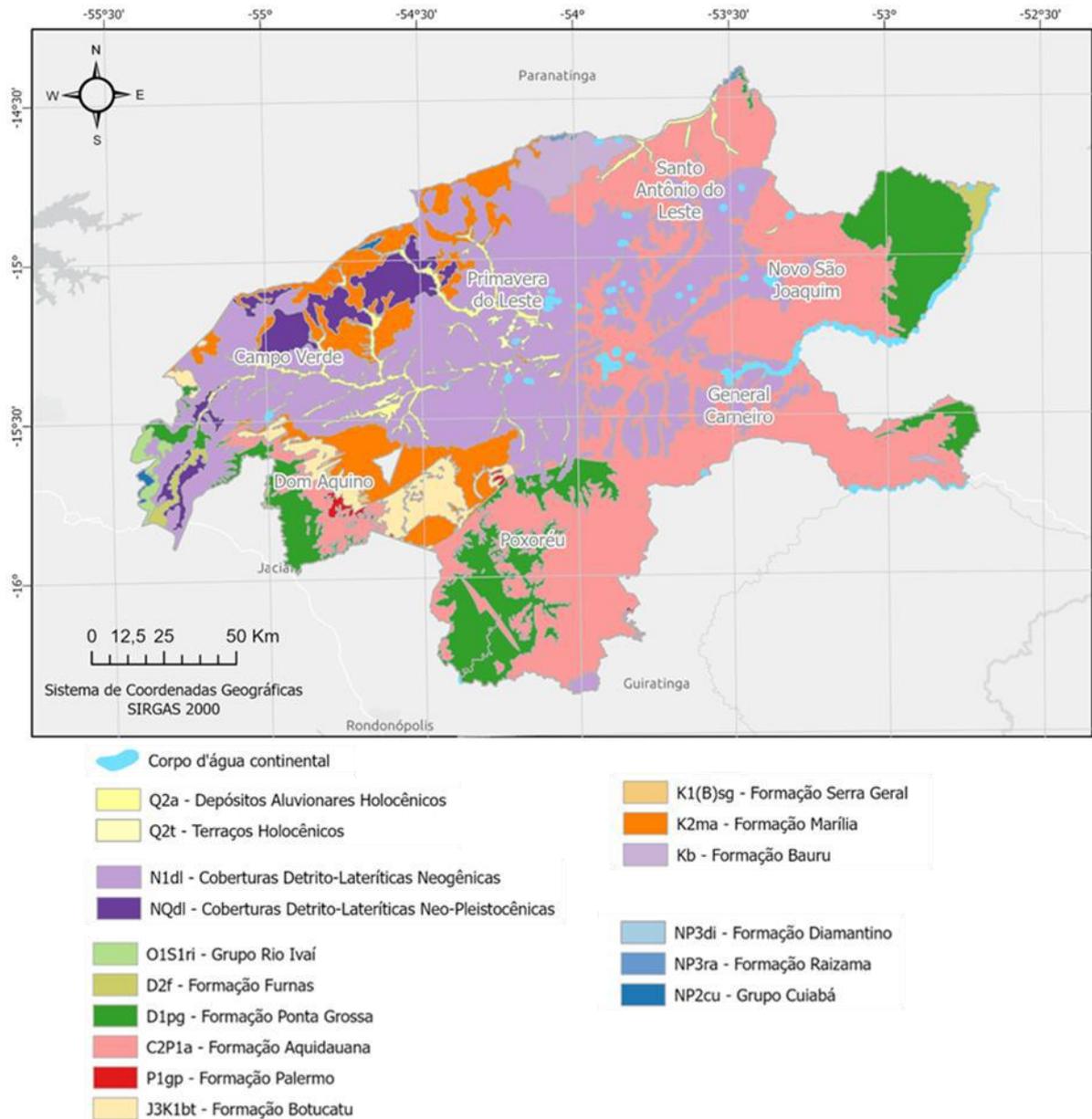


Figura 5 - Unidades aflorantes na região de estudo. Modificado de IBGE (2009).

Para análise das unidades litoestratigráficas aflorantes foi considerado o banco de dados vetoriais por estado do IBGE. Os códigos adotados foram compilados a partir da confecção do mapa geológico do estado (IBGE, 2009).

A seguir as unidades geológicas na área de estudo são brevemente apresentadas:

2.4.1 Rochas Neoproterozoicas

Formação Raizama:

Sua denominação vem de *Rizama Sandstone*, definido por Evans (1984), em referência ao povoado de Raizama e constitui basicamente um pacote arenítico. Almeida (1964) elevou estes sedimentos a nível de formação, definindo assim a Formação Raizama e situando-a na base do Grupo Alto Paraguai.

Formação Diamantino:

Constitui-se essencialmente de arcóseos com ocorrência pontual de intercalações com pelitos na sua seção basal. Este pacote é expressivo e situa-se no topo do Grupo Alto Paraguai. A sedimentação proposta é em ambiente deposicional deltaico e mar restrito.

Grupo Cuiabá:

O Grupo Cuiabá constitui uma sequência de metassedimentos dobrados que integram a Faixa Paraguai. Engloba metaconglomerados polimíticos, meta-arenitos, meta-arcóseos, metassiltitos, filitos, metaconglomerados e metacalcários. Suas primeiras referências vêm de Evans (1894), que denominou como *Cuiabá Slates* as ardósias com clivagens e deformações acentuadas aflorantes no Rio Paraguai. Outros autores incorporaram o termo de série ao fazer caracterização dos filitos e conglomerados xistosos aflorantes nos arredores de Cuiabá. Luz *et al.* (1980) subdividiram o Grupo Cuiabá em nove subunidades litoestratigráficas, numerando informalmente de 1 a 9 e uma unidade indivisa (CPRM, 2004).

2.4.2 Bacia do Paraná

Grupo Rio Ivaí:

Esta unidade litoestratigráfica de idade neo-ordoviciano a eossiluriana é composta pelas formações Alto Garças, Iapó e Vila Maria, entretanto as informações cartográficas disponíveis para o estado de Mato Grosso não permitem individualização sendo então apresentadas de forma indivisa. Dos arredores da cidade de Chapada dos Guimarães até a fronteira com o Mato Grosso do Sul o Grupo Rio Ivaí aflora de forma contínua compondo a primeira escarpa da borda da Bacia do Paraná. Em ambas as áreas sua seção basal encontra-se em contato discordante angular sobre as rochas metamórficas do Grupo Cuiabá.

Formação Furnas:

Formada basicamente por uma sucessão de arenitos tendo, da base ao topo, arenitos menos feldspáticos e de granulação mais fina com lentes de argilitos. Seu registro indica ambiente de deposição fluvial a transicional e repousa, em discordância, sobre as rochas do embasamento e por superfície erosiva sobre as rochas do Grupo Rio Ivaí, caracterizando um evento transgressivo.

No Mato Grosso esta unidade ocorre ao longo das bordas norte e noroeste da Bacia do Paraná. Na região da borda noroeste da bacia, desde os arredores da Chapada dos Guimarães até o limite sul do Estado, afloram camadas de arenitos finos a grossos com estratificação cruzada. Seu contato superior é transicional para a Formação Ponta Grossa.

Formação Ponta Grossa:

É constituída por folhelhos marinhos de cor cinza e intercalações de arenitos finos depositados sob a ação de ondas em uma plataforma rasa e é interpretada como o resultado do afogamento dos depósitos litorâneos da Formação Furnas por um evento transgressivo de idade devoniana.

Nas regiões centro-sul e leste está sobreposta à Formação Furnas por contato gradual e concordante e está sotoposta à Formação Aquidauana por contato erosivo e também pela Cobertura Detrito-Laterítica e Aluviões Recentes. Às vezes a Formação Furnas tem contato com a Formação Aquidauana por falha normal.

Formação Aquidauana:

No estado Mato Grosso esta formação aflora nas regiões leste e sudeste. Na região sudeste do estado se apresenta essencialmente em arenitos vermelhos e roxos, friáveis, porosos, compostos principalmente por quartzo, às vezes feldspáticos, com cimento ferruginoso e escassa matriz arenosa e argilosa.

Seu ambiente de deposição é continental constituído por depósitos fluviais e lacustres. Sua associação lateral a sul da bacia com depósitos glaciais do Grupo Itararé sugere uma área glacial próxima à área de sedimentação dessa unidade. Baseado em dados palinológicos, sua idade pode ser associada ao Carbonífero Superior (CPRM, 2004).

Formação Palermo:

A Formação Palermo constitui-se de siltitos e siltitos arenosos de cores cinza em subsuperfície e amarelo esverdeado em superfície, por alteração. No estado do Mato Grosso a Formação Palermo faz contato direto com a Formação Aquidauana. Devido a pouca espessura da unidade e semelhança com o padrão de relevo da Formação Corumbataí, sobrejacente, e que também apresenta distribuição descontínua, em alguns momentos foram representadas juntas numa única zona homóloga (Prodeagro, 2000).

Formação Botucatu:

Ocorre nas regiões centro-sul e leste do estado e corresponde a arenitos avermelhados, friáveis e pouco argilosos. Essa unidade apresenta relevância pelos seus arenitos constituírem

ótimos aquíferos explorados em diversos estados brasileiros, fazendo parte do denominado Aquífero Guarani (CPRM, 2004).

Formação Serra Geral:

Ocorre na região sudeste do Mato Grosso e é constituído por uma sucessão de derrames vulcânicos. A Formação Serra Geral é associada a reativação que culminou em espessos derrames magmáticos na Bacia do Paraná durante o processo de fragmentação do Gondwana e abertura do Atlântico.

Formação Marília:

Esta unidade é constituída basicamente por depósitos imaturos e foi definida como uma subdivisão do Grupo Bauru (CPRM, 2004). Ocorre nas regiões sul e sudeste do Mato Grosso sendo considerada como indivisa uma vez que não foi possível separar os membros Serra da Galga, Ponte Alta e Echaporã. É caracterizada como um pacote de arenito grosso a fino e apresenta também lentes de calcário fino e estratos de siltito e argilito subordinados. O ambiente deposicional indica um ambiente subaquoso fluvial e lacustre com canais de deltas aluviais e planícies de inundação. (CPRM, 2004).

Grupo Bauru:

Embora esta unidade permaneça na categoria de Grupo, seu entendimento no Mato Grosso foi substancialmente modificado levando a retirada da Formação Caiuá, sua redefinição na categoria de Grupo e a inclusão da Formação Santo Anastácio (CPRM, 2004). Desta forma, o Grupo Bauru permanece composto pelas formações Uberaba e Marília; a Formação Adamantina é quase totalmente redefinida como Formação Vale do Rio do Peixe e, são definidas as formações Presidente Prudente, São José do Rio Preto e Araçatuba.

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.* (1993). Perfis realizados nas regiões da Fazenda Chafariz, Cachoeira do Bom Jardim, Dom Aquino e Poxoréu permitiram a divisão proposta nas formações: Paredão Grande, Quilombinho, Cachoeira do Bom Jardim e Cambambe. No geral o Grupo Bauru está associado à sedimentação arenítica, eventualmente com ocorrência de conglomerados. Suas estruturas sedimentares são pobremente preservadas e seu ambiente de deposição é interpretado como continental subaquoso raso, no qual teriam predominado os depósitos de planície.

2.4.3 Coberturas cenozoicas

Coberturas Detrito-Lateríticas Neogênicas:

Trata-se de coberturas ferruginosas, originadas em superfícies de pediplanação pela combinação de altas temperaturas e alternância entre estação seca e chuvosa que concentra os óxidos de ferro em concreções. Enquanto alguns autores consideram também a Formação Cachoeirinha como unidade autônoma, outros a englobam com as coberturas detrito-lateríticas; esta formação costuma recobrir o Grupo Bauru e a Formação Aquidauana e tem relativa expressão dentro do Mato Grosso.

Coberturas Detrito-Lateríticas Neo-Pleistocênicas:

Tratam-se de coberturas muitas vezes preservadas e responsáveis por modelar boa parte do relevo atual. Sua porção superior aflorante costuma ser a parte mais elevada do relevo enquanto em encostas, onde aflora sua porção mediana, podem estar parcialmente recobertas por colúvios e alúvios (CPRM, 2004).

Depósitos Aluvionares Holocênicos:

São depósitos de sedimentos inconsolidados representados por areias com níveis de cascalho e lentes de material siltoargiloso e sua ocorrência é basicamente associada à sedimentação aluvial. Sua idade provável é pleistocênica, obtida através de conteúdo fossilífero encontrado nas aluviões e paleoterraços aluviais de alguns rios da região.

Terraços Holocênicos:

Os terraços fluviais são abundantes nas drenagens de primeira e segunda ordens e representam sítios de sedimentação onde é comum a presença de areia e argila inconsolidada a semiconsolidada. O domínio de um ou outro sedimento se fundamenta nos contínuos processos de cheias e vazantes e na própria maturidade do rio.

3 HIDROGEOLOGIA

Um dos principais parâmetros considerados para avaliação de unidades aquíferas é a forma de circulação da água subterrânea. A porosidade granular, também designada como porosidade primária, está relacionada à porosidade intersticial da rocha e depende dos diferentes arranjos, formatos, tamanhos e graus de compactação dos grãos dos sedimentos. Além disso, esta porosidade também depende de fatores diagenéticos que afetam as rochas desde a sua deposição. A porosidade fissural, ou porosidade secundária, é o tipo de porosidade desenvolvida a partir do fraturamento das rochas (ver Figura 6). Além do fraturamento, alguns tipos de rochas podem estar associados às feições de dissolução. Nesse caso, a porosidade é denominada como cárstica ou terciária. A partir da definição desses principais tipos de porosidade, é possível determinar as duas grandes categorias de aquíferos, granular e fissural. Conseqüentemente, há uma separação pelo tipo de rocha, considerando sistemas granulares associados a rochas sedimentares, onde a permeabilidade da rocha está principalmente associada a porosidade entre os grãos; e sistemas fraturados associados a rochas cristalinas afetadas por falhas e fraturas, onde a permeabilidade da rocha é associada a essas zonas de quebra que levam a um aumento da porosidade original da rocha (ANA, 2016).

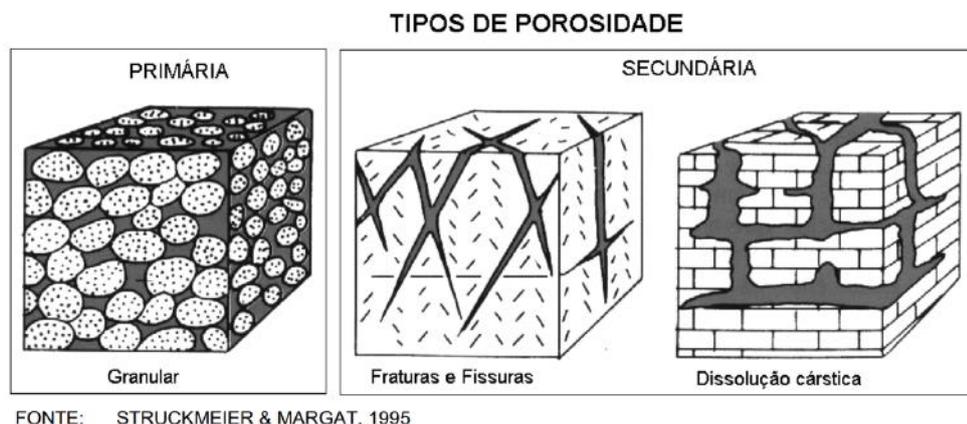


Figura 6 - Classificação de tipos de porosidade. Retirado de Prodeagro (2000).

Sistemas Aquíferos

O Estado de Mato Grosso abrange, em termos de compartimentação geotectônica e como já descrito, o Cráton Amazônico, a Faixa Paraguai, as bacias sedimentares do Paraná e Parecis e as bacias sedimentares cenozoicas, que levam a associação das províncias e subprovíncias hidrogeológicas no estado. *Mente et al.*, (1983), identificaram províncias e subprovíncias hidrogeológicas também concordantes com essa compartimentação geotectônica, corroborando seu papel na identificação das características de cada sistema aquífero (Prodeagro, 2000). Considerando a área de abrangência da área de estudo e a compartimentação geotectônica, na Faixa Paraguai as unidades litoestratigráficas que recobrem o Grupo Cuiabá foram agrupadas em aquíferos predominantemente granulares, assim como as bacias sedimentares Paraná, Parecis e demais cenozoicas que representam predominantemente sistemas aquíferos granulares clássicos. São poucos os aquíferos associados a sistemas fraturados, ficando restritos ao Grupo Cuiabá e à Formação Serra Geral.

Considerando a distribuição litoestratigráfica do Mato Grosso, um problema comum para apresentação de resultados hidrogeológicos regionais é a descontinuidade de unidades estratigráficas, que leva ao agrupamento de algumas unidades para melhor assimilação e desenvolvimento de trabalhos. Em relatório do Prodeagro (2000) - Programa para o Desenvolvimento da Agropecuária, apresentou-se um estudo com objetivo de compilar dados para uma caracterização regional do estado do Mato Grosso em diversas áreas de conhecimento, incluindo caracterização hidrogeológica. Adotou-se uma abordagem de unificação de unidades litoestratigráficas em unidades aquíferas a partir de cada tipo de sistema aquífero, considerando sua permeabilidade relativa, com base na sua composição litológica, sua expressão regional por extensão no estado e grau de confinamento da água subterrânea. Foi realizada uma análise considerando estatisticamente os dados de capacidade específica, a qual refletia a produtividade dos poços de cada unidade geológica e que baseou a unificação e definição das unidades

aquíferas para o Mato Grosso. As unidades do sistema aquífero granular foram nomeadas com a letra “G” seguida de numeração de 1 a 7 conforme a faixa de produtividade de cada grupo; analogamente, o sistema aquífero fraturado teve suas unidades nomeadas com a letra “F” seguida de número, de 1 a 6. A partir de seus resultados, as unidades estratigráficas aflorantes apresentadas e descritas para a área de estudo desse trabalho no item anterior foram correlacionadas e são análogas às seguintes unidades.

3.1 Sistema Aquífero Granular

Unidade Aquífera G1

Composta por um aquífero de permeabilidade relativamente média a alta, de fluxo contínuo e livre. Os sedimentos desta unidade são inconsolidados e apresentam extensão regional, eventualmente local. Abrange sedimentos de algumas bacias cenozoicas como a Bacia do Pantanal e coberturas conglomeráticas indiferenciadas e da superfície paleogênica peneplanizada de latossolização (Prodeagro, 2000), correspondente a crostas lateríticas e latossolos vermelhos.

Unidade Aquífera G2

É representada por permeabilidade relativa baixa a média, fluxo contínuo, livre, composto por sedimentos inconsolidados de extensão local. Esta unidade é associada a aluviões antigos (terraços elevados) e atuais, os quais em bacias cenozoicas apresentam uma expressão considerável, entretanto devido sua constituição mais argilosa, possuem uma menor permeabilidade relativa.

Unidade Aquífera G3

Apresenta permeabilidade relativa média a média-baixa, fluxo contínuo, livre, predominantemente inconsolidado, de extensão local. Esta unidade é representada pelas Coberturas Detríticas Laterizadas, composta por sedimentos arenoargilosos possuindo níveis de cascalho e com lateritos ferruginosos, podendo apresentar teores altos de ferro e manganês na água. Sua espessura chega a uma dezena de metros.

Unidade Aquífera G4

Caracterizada por permeabilidade relativa alta, fluxo contínuo, semiconfinado a confinado por camadas de menor permeabilidade superpostas, por vezes apresenta comportamento livre. Esta unidade apresenta uma extensão regional a regional limitada, sendo composta por sedimentos arenosos consolidados representados pelas formações Botucatu e Furnas.

Unidade Aquífera G5

Possui permeabilidade relativamente média a alta com fluxo contínuo, localmente descontínuo, comportamento predominantemente livre, apresentando-se eventualmente semiconfinado ou confinado, de extensão regional sendo ocasionalmente local. Esta unidade é representada por sedimentos consolidados das formações Marília, Aquidauana e do Grupo Rio Ivaí, na Bacia do Paraná. É representada pela Formação Raizama na Faixa Paraguai e também nas janelas estruturais na Bacia do Pantanal.

As unidades geológicas que compõem essa unidade aquífera são predominantemente arenosas, com presença de siltitos, argilitos e conglomerados, sendo que as maiores espessuras são encontradas na Formação Aquidauana. Na Formação Marília, os sedimentos são localmente calcíferos, com lentes e nódulos de calcário. Considerando o contexto do Grupo Bauru no estado do Mato Grosso, também é possível associar o grupo à ocorrência da unidade Marília.

Unidade Aquífera G6

Permeabilidade relativa média a baixa com fluxo contínuo, localmente descontínuo consequente de variação litológica ou pela presença de fraturas. Possui comportamento livre a semiconfinado ou confinado, entretanto, por causa de sua permeabilidade, pode atuar como camada confinante quando sobrejacente a unidades mais permeáveis. Possui extensão regional a local e abrange as formações Ponta Grossa e Palermo, na Bacia do Paraná. Na Faixa Paraguai está representada pela Formação Diamantino, em menor expressão.

3.2 Sistema Aquífero Fraturado

Unidade Aquífera F1

Representa a Formação Serra Geral, da Bacia do Paraná, e se apresenta com pequena área aflorante, não sendo muito explorada no Estado de Mato Grosso. Apesar disso, esta unidade tem grande expressão em outros estados como São Paulo e Paraná, onde seu potencial é melhor aproveitado seguindo estruturas tectônicas que impulsionam sua capacidade produtiva.

Unidade Aquífera F4

Esta unidade engloba as rochas metassedimentares e a ocorrência localizada de metavulcânicas do Grupo Cuiabá. É muito heterogênea e descontínua, de permeabilidade relativa baixa a média, por vezes, ampliada pela presença de camadas de material grosseiro. O Grupo Cuiabá apresenta extensão regional, com ocorrência na Faixa Paraguai e como janelas estruturais nas bacias do Pantanal e Araguaia. Apresenta comportamento de aquífero livre a semiconfinado ou confinado, pois ocorre sotoposto a outras unidades.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Levantamento bibliográfico

Foi realizado um levantamento bibliográfico com o intuito de aumentar a base de conhecimento sobre a temática deste trabalho. A pesquisa bibliográfica foi realizada nos temas de hidrogeologia, geologia, geomorfologia, uso e ocupação do solo e dados de consumo e demanda de água. Foi feita consulta a relatórios do Serviço Geológico do Brasil - CPRM para levantamento de dados geológicos da região e caracterização dos domínios hidrogeológicos locais. Dados vetoriais de ambiente *GIS* foram obtidos em bases de dados do IBGE. É possível citar alguns materiais, como Atlas de Irrigação (ANA), Relatório de Superintendência de Recursos Hídricos (SEMA) e Mapas geológicos estaduais (CPRM), dentre outros mais. Dados complementares foram adquiridos 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.

4.2 Aquisição e Processamento de dados de poços

4.2.1 Inventário de poços – SIAGAS/RIMAS

Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS)

Para aquisição dos dados do SIAGAS foi utilizado 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 do projeto, 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*.

Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS)

Os dados da RIMAS foram acessados por pesquisa simples no site da rede, no qual realizou-se uma busca por poços instalados na bacia hidrográfica do Rio Tocantins no estado do Mato Grosso. O resultado apontou apenas um poço da rede instalado na região do estudo, localizado no Município de Primavera do Leste, 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 arquivo *shapefile* de pontos, e integrados com as demais informações geográficas disponíveis para a área de trabalho.

Após aquisição desses dados foi feita uma análise sistemática filtrando as seguintes informações: poços que apresentam perfil, poços com perfil que possuem informação estratigráfica e informações estratigráficas com detalhamento de unidades litológicas. Nesta análise concluiu-se que o inventário de poços utilizado é composto basicamente de dados do SIAGAS e dentre os 230 registros totais, 87 poços apresentaram perfil e informações geológicas a serem analisados.

Dos 87 poços selecionados para esta análise inicial, 32 não retornaram informação estratigráfica sobre o perfil do poço. A partir deste grupo, 30 poços possuíram algum tipo de informação litológica na descrição do perfil e 2 poços não apresentaram nenhum tipo de

informação litológica, entretanto possuíam informações de filtro, o que poderia indicar alguma composição do material do poço.

Do grupo total dos 87 poços analisados, apenas vinte e cinco apresentaram informações de filtro. O material dos filtros é composto em sua grande maioria por plástico geomecânico, mas também existem ocorrências de aço galvanizado com rosca e luva, aço sem costura e outros materiais não especificados. A litologia na região do filtro é em sua grande maioria composta de arenitos de granulometria grossa a fina, em alguns casos com presença de argila, mas tendo registro também de materiais mais finos como siltitos e folhelhos.

As informações de classificação estratigráfica e filtro foram inseridas na planilha geral de dados. Em resumo, a Tabela 1 indica a análise quantitativa dos perfis de poço distribuídos na área do empreendimento e que serão utilizados para confecção deste trabalho.

Tabela 1 - Resumo do quantitativo de poços analisados no estudo.

Poços da base SIAGAS	
Total de poços analisados	87
Poços com estratigrafia	55
Poços mistos	12
Poços descartados	22

A Tabela 2 representa as unidades identificadas a partir da análise desses perfis. Em pelo menos 55 poços há informações estratigráficas suficientes para que possa haver uma correlação dos perfis. Em alguns poços há ocorrência de mais de uma formação, com destaque para poços mistos com ocorrência da Formação Furnas e Formação Ponta Grossa. As ocorrências estratigráficas mais frequentes nos perfis são das formações Bauru, Ponta Grossa, Furnas e Aquidauana, respectivamente. Aparições de outras unidades geológicas têm menos de 10 registros.

Tabela 2 - Ocorrências estratigráficas extraídas dos perfis de poços do SIAGAS/RIMAS.

Unidade estratigráfica	Ocorrências
Cobertura laterítica	2
Formação Aquidauana	9
Formação Bauru	17
Formação Botucatu	1
Formação Cachoeirinha	4
Formação Furnas	14
Formação Ponta Grossa	15
Grupo Bauru	1
Grupo Cuiabá	2
Grupo Paraná	1
São Vicente	1
Terciário-Quaternário	4

Torna-se necessário agrupar e rever as descrições estratigráficas uma vez que a entrada de informações do SIAGAS não é unificada e pode representar a mesma unidade com diferentes nomenclaturas. Em se tratando de descrições litológicas, o universo de diferentes descrições torna obrigatória a correlação das unidades e agrupamento sob mesma nomenclatura para padronização da informação na preparação do modelo geológico. A unificação de nomenclatura litológica serve, de forma prática, para que não haja divergência de um mesmo tipo litológico descrito de forma ligeiramente diferente; assim, torna mais fácil a correlação de camadas dentro de uma mesma unidade estratigráfica e auxilia a modelagem geológica.

4.2.2 Inventário de poços – SEMA

Um problema enfrentado no decorrer deste estudo foi a necessidade de compilar os dados iniciais oriundos da Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA). Os poços utilizados

englobam um conjunto de poços cadastrados através de processos de outorga, mas que não se encontravam disponíveis numa base de dados digital que facilitasse o acesso e utilização das informações. Foi necessário o suporte de estagiários locais no estado do Mato Grosso que realizassem a digitalização destes processos de outorga para posterior processamento dos dados brutos para uma planilha onde fosse possível consultar e fazer análise similar ao que foi feito no inventário de poços SIAGAS/RIMAS.

Com base na planilha com as informações da SEMA, foi possível elaborar um esquema de análise litológica e estratigráfica, padronizando com os dados iniciais dos poços retornados do SIAGAS. Na Tabela 3, é possível observar o resumo quantitativo dos poços analisados. Na Tabela 4 observa-se as unidades estratigráficas identificadas nos perfis. Destaca-se nesses dados a Formação Cachoeirinha que anteriormente não tinha aparecido de forma expressiva.

Tabela 3 - Resumo do quantitativo de poços analisados na base de dados SEMA.

Resumo	
Total de poços analisados	351
Poços com estratigrafia	130
Poços mistos	15
Poços descartados	221

Tabela 4 - Ocorrências estratigráficas extraídas dos perfis de poços da SEMA.

Unidade estratigráfica	Ocorrências
Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	5
Cobertura detrito-laterítica neogênica	5
Formação Aquidauana	7
Formação Bauru	18
Formação Botucatu	5
Formação Cachoeirinha	57
Formação Furnas	17
Formação Pantanal	3

Formação Ponta Grossa	14
Formação Rio Vermelho	1
Granito São Vicente (intrusão nas rochas Grupo Cuiabá)	4
Grupo Bauru	7
Grupo Cuiabá	3
Grupo Paraná	3
Grupo Rio Ivaí	1
Superfície paleogênica paleoplanizada com latossolização	1

Fez-se necessário unificar as descrições estratigráficas da mesma forma que foi realizado com as informações do SIAGAS, a fim de tornar mais fácil a representação de cada unidade, dado que há diferentes nomenclaturas para a mesma definição. Ao realizar tal padronização, é possível a correlação das unidades estratigráficas no modelo geológico de maneira mais segura.

Por fim, as informações geológicas coletadas foram tratadas em um arquivo seguindo o formato de importação de banco de dados do *software Leapfrog Geo*. Paralelamente, os dados hidráulicos de cada unidade também foram tratados e compilados em planilhas para cálculos posteriores.

4.3 Modelo digital de elevação

Além dos arquivos obtidos com os inventários de poços elaborou-se um arquivo para delimitação topográfica da área de estudo. Foram obtidos modelos digitais de elevação (MDE) a partir da plataforma Topodata, um banco de dados geomorfométricos do Brasil, disponibilizada pelo INPE, onde é possível fazer downloads de dados em formato *geotiff*. Os dados neste portal estão estruturados em quadrículas compatíveis com escala 1:250.000, portanto, em folhas de 1° de latitude por 1,5° de longitude, com resolução espacial de 30m. Foram necessários seis modelos topográficos para englobar a localização do estudo e confecção de um mosaico em ambiente *GIS*, com *software Arcgis*.

4.4 Leapfrog Geo

Tradicionalmente, os modelos geológicos são produzidos utilizando um processo de desenho manual; as seções são definidas e as litologias, falhas e outras estruturas são desenhadas nas seções e a partir daí são desenhadas linhas para conectar as superfícies através de várias seções. Este tipo de modelagem geológica, chamada explícita, é mais demorado e inflexível pois é difícil atualizar o modelo quando há atualização nos dados disponíveis. Suposições iniciais podem moldar um modelo de uma forma que nunca é corrigida por causa do esforço envolvido em começar de novo. A modelagem implícita elimina o trabalho árduo ao usar ferramentas matemáticas para derivar o modelo a partir dos dados (Cowan *et al.* 2002).

Para realizar a modelagem, o *Leapfrog* pode utilizar algoritmos convencionais como a krigagem (simples e ordinária), vizinhos mais próximos e o inverso da distância, mas acaba se destacando pelo uso do algoritmo *Fast RBF (Fast Radial Base Function)*. Este algoritmo foi desenvolvido a partir de funções de base radial e utiliza parâmetros fornecidos pelo geólogo para derivar qualquer uma de várias variáveis a serem modeladas. Variáveis como litologias

podem ser usadas para construir superfícies gerando contatos mais similares aos encontrados naturalmente, se distanciando de modelos construídos a partir de contatos geométricas rígidos.

Conforme Cowan *et al.* (2003), esse algoritmo se assemelha a um tipo específico de krigagem, conhecida como krigagem dupla, capaz de realizar a interpolação dos dados de forma automática a partir dos dados e diferente da modelagem explícita em que as superfícies são criadas a partir de linhas e polígonos derivados da interpretação de quem está modelando. Para a aplicação deste algoritmo se utiliza funções de interpolação que definem a importância de cada amostra com base na distância com o ponto a ser interpolado.

Em resumo, esse algoritmo consiste numa série de funções dentro de um conjunto de dados e a partir daí se escolhe um conjunto de funções básicas de forma que a sua combinação linear satisfaça as condições de interpolação (Barreto, 2021). Conforme Caumon *et al.* (2012):

$$f(x) = \sum_{i=1}^L c_i \cdot p_i(x) + \sum_{n=1}^N \lambda_n \cdot \Phi(|x - x_n|)$$

Onde:

$p_i(x)$: Função polinomial de base;

c_i : Coeficiente de drift;

L : Total de termos polinomiais;

N : Número de pontos de dados;

$\Phi(|x - x_n|)$: Função de covariância entre um ponto de dado (x_n) e um ponto desconhecido (x);

λ_n : Coeficientes de interpolação desconhecidos.

Para encontrar os coeficientes, é necessário resolver o seguinte sistema:

$$\begin{bmatrix} \Phi & P \\ P^T & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \lambda \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f \\ 0 \end{bmatrix}$$

Onde:

$$\Phi = \begin{bmatrix} \phi(0) & \cdots & \phi(|x_1 - x_N|) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi(|x_N - x_1|) & \cdots & \phi(0) \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} p_l(x_1) & \cdots & p_L(x_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_l(x_N) & \cdots & p_L(x_N) \end{bmatrix}$$

O primeiro objetivo deste conjunto de funções é satisfazer as condições de interpolação (utilizando os parâmetros Φ , P , λ e f), e, em seguida, otimizar os processos (utilizando parâmetros P^T e c). Esse conjunto de equações torna a modelagem mais rápida quando comparada com os algoritmos tradicionais.

Este é um método considerado de interpolação global e que tal como a krigagem possui covariograma de controle de dados e a sua extrapolação pode ser a partir de uma média especificada ou realizada de forma automática (Seequent, 2017). O uso do *Fast RBF* apresenta vantagens como a capacidade de modelar uma geologia complexa com variadas formas, gerar superfícies a partir dos dados das sondagens ou poços e não necessitar de digitalização manual. Além disso, o uso do *Leapfrog* possibilita a integração entre diversos tipos de dados de entrada e integração de vários tipos de informação. A integração de modelagem do *Leapfrog* com outros *softwares* é uma grande vantagem que ocasiona um desenvolvimento dinâmico e automatiza diversos trabalhos.

5 RESULTADOS

5.1 Produtividade dos aquíferos

Os poços considerados para esta análise foram separados a partir de suas informações geológicas de forma a individualizar seus dados em sua respectiva unidade geológica. Do total de poços disponibilizados no inventário de poços, 158 foram considerados para os cálculos dos resultados pois apresentaram dados hidráulicos e descrição geológica. Para confecção de resultados foram desconsiderados os poços mistos, ou seja, que apresentaram dados de mais de uma unidade aquífera, uma vez que o objetivo é analisar individualmente cada unidade em maior detalhe. A análise de produtividade considerou a análise de valores médios da profundidade dos poços, vazão e sua capacidade específica. A capacidade específica também é conhecida inapropriadamente como vazão específica e é um parâmetro utilizado para definir a capacidade de produção dos poços (ANA, 2016). Este parâmetro foi obtido através dos dados de capacidade específica nas informações hidráulicas dos poços do inventário. Para os poços que não tinham esse valor já definido, este foi calculado a partir da razão entre a vazão do poço e seu rebaixamento durante o teste de bombeamento. O rebaixamento é a diferença entre os níveis dinâmico (ND) e estático (NE) e a expressão para este cálculo é dada por:

$$\text{Capacidade específica} = Q/s = Q/(\text{ND}-\text{NE})$$

Onde:

Q = vazão do poço;

s = rebaixamento do poço;

ND = nível dinâmico (nível estabilizado após bombeamento de determinada vazão);

NE = (nível de água antes do bombeamento).

Uma dificuldade para avaliação dos dados foi a distribuição dos dados entre as unidades litoestratigráficas uma vez que a distribuição dos poços não é uniforme. Municípios como Primavera do Leste e Campo Verde, com maiores populações e concentração de poços em contraste com os outros municípios, influenciam na estatística dos dados.

De forma geral, segundo a divisão por tipo de aquífero, apenas a Formação Serra Geral e Grupo Cuiabá representariam o sistema fraturado, enquanto todas as outras ocorrências estão ligadas ao sistema granular. Entretanto, devido à ocorrência restrita de aquíferos do sistema fraturado, apenas o Grupo Cuiabá apresentou ocorrência com dados para avaliação. De forma geral, a capacidade produtiva do sistema granular é maior que no sistema fraturado. Os valores médios de capacidade específica e vazões por sistema aquífero estão apresentados na Tabela 5. Enquanto os valores de capacidade específica nas unidades do sistema granular variaram numa faixa entre 0,01 a 14,40 m³/h/m, no sistema fraturado esses valores ficaram entre 0,05 e 0,66 m³/h/m.

Tabela 5 - Valores médios de capacidade específica e vazões por sistema aquífero.

	Capacidade específica (m ³ /h/m)			Vazão (m ³ /h)			Profundidade (m)		
	MÍN	MÁX	MÉD	MÍN	MÁX	MÉD	MÍN	MÁX	MÉD
Granular	0,01	14,40	2,06	0,39	17,74	6,59	12,00	302,00	81,48
Fraturado	0,05	0,66	0,34	1,30	4,28	4,74	75,00	135,00	101,00

Algumas unidades estratigráficas descritas nos dados originais não correspondem à nomenclatura de unidades aflorantes *in situ* e foram correlacionadas de acordo com a estratigrafia adotada neste trabalho. Ainda assim, algumas unidades aflorantes não

apresentaram informações hidráulicas, seja pela distribuição irregular de poços ou pela falta de informações na descrição geológica.

As unidades que apresentaram mais poços no sistema granular foram Formação Cachoeirinha e Formação Bauru, que juntas somam mais de 100 ocorrências. Unidades como Formação Cachoeirinha apresentaram mais de 50 ocorrências devido sua extensão na área de estudo, enquanto outras unidades como Grupo Cuiabá apresentaram poucos poços devido sua ocorrência restrita. O sistema fraturado apresenta pouca expressão de poços tanto pela pouca representação de unidades estratigráficas quanto pela pouca extensão destas unidades na área de estudo.

Das unidades que apresentaram dados para esta avaliação, conforme Tabela 6, a mais produtiva foi Formação Pantanal, seguida pela Formação Cachoeirinha, com valores de capacidade específica média de 5,02 e 2,68 m³/h/m, respectivamente. Em termos de vazão, a maior média ficou registrada com a Formação Pantanal com valor 8,60 m³/h.

Avaliando também a profundidade dos poços foi possível identificar que uma unidade do sistema granular apresenta o poço com maior profundidade, mas quando comparados aos poços associados ao sistema fraturado este último apresenta uma maior profundidade média. Na Tabela 5 é possível observar que a profundidade média do sistema granular é de 81,48 m enquanto para o sistema fraturado essa média é de 101 m. A unidade que apresenta maior profundidade de poço é a Formação Cachoeirinha, com profundidade máxima de 302 m, apesar de ser a Formação Furnas a unidade granular com maior profundidade média de 116,53 m. (Tabela 6). É possível observar a distribuição gráfica desta análise de produtividade de aquíferos representada em mapa nas Figuras 7 e 8. Os mapas representam graficamente os valores encontrados e sua distribuição no âmbito da área de estudo. Fica perceptível a correlação das maiores faixas com os sedimentos cenozoicos concentrados principalmente na porção central do polo.

Tabela 6 – Análise de produtividade por unidade identificada pelo inventário de poços.

	Capacidade específica (m ³ /h/m)			Vazão (m ³ /h)			Profundidade (m)		
	MÍN	MÁX	MÉD	MÍN	MÁX	MÉD	MÍN	MÁX	MÉD
Coberturas detrítico-lateríticas	0,79	3,56	2,00	1,50	17,74	8,18	18,00	178,00	62,00
Fm. Aquidauana	0,04	1,94	0,71	2,50	6,60	4,39	42,00	80,00	55,67
Fm. Bauru	0,11	5,54	1,47	4,08	12,77	7,31	30,00	200,00	76,45
Fm. Botucatu	0,04	2,53	1,66	2,42	5,81	4,41	18,00	162,00	76,67
Fm. Cachoeirinha	0,15	10,59	2,68	1,50	17,74	8,18	12,00	302,00	89,66
Fm. Furnas	0,01	14,40	2,17	0,39	14,40	6,30	30,00	220,00	116,52
Fm. Pantanal	0,70	9,33	5,02	6,00	11,20	8,60	73,00	74,00	73,50
Fm. Ponta Grossa	0,08	3,00	1,12	5,28	6,60	5,76	60,00	150,00	91,20
Grupo Rio Ivaí	1,33	1,33	1,33	6,00	6,00	6,00	43,00	43,00	43,00
Grupo Paraná	0,13	0,18	0,15	4,10	5,78	4,94	100,00	132,00	116,00
Superfície Paleogênica	0,13	0,13	0,13	3,00	3,00	3,00	60,00	60,00	60,00
Terciário-Quaternário	0,15	0,34	0,25	3,24	3,24	3,24	24,00	100,00	62,00
Fm. Rio Vermelho	0,66	0,66	0,66	6,80	6,80	6,80	82,00	82,00	82,00
Grupo Cuiabá	0,05	0,09	0,07	1,30	4,28	2,79	75,00	135,00	105,00
Granito São Vicente	0,07	0,51	0,29	4,16	5,08	4,62	100,00	132,00	116,00

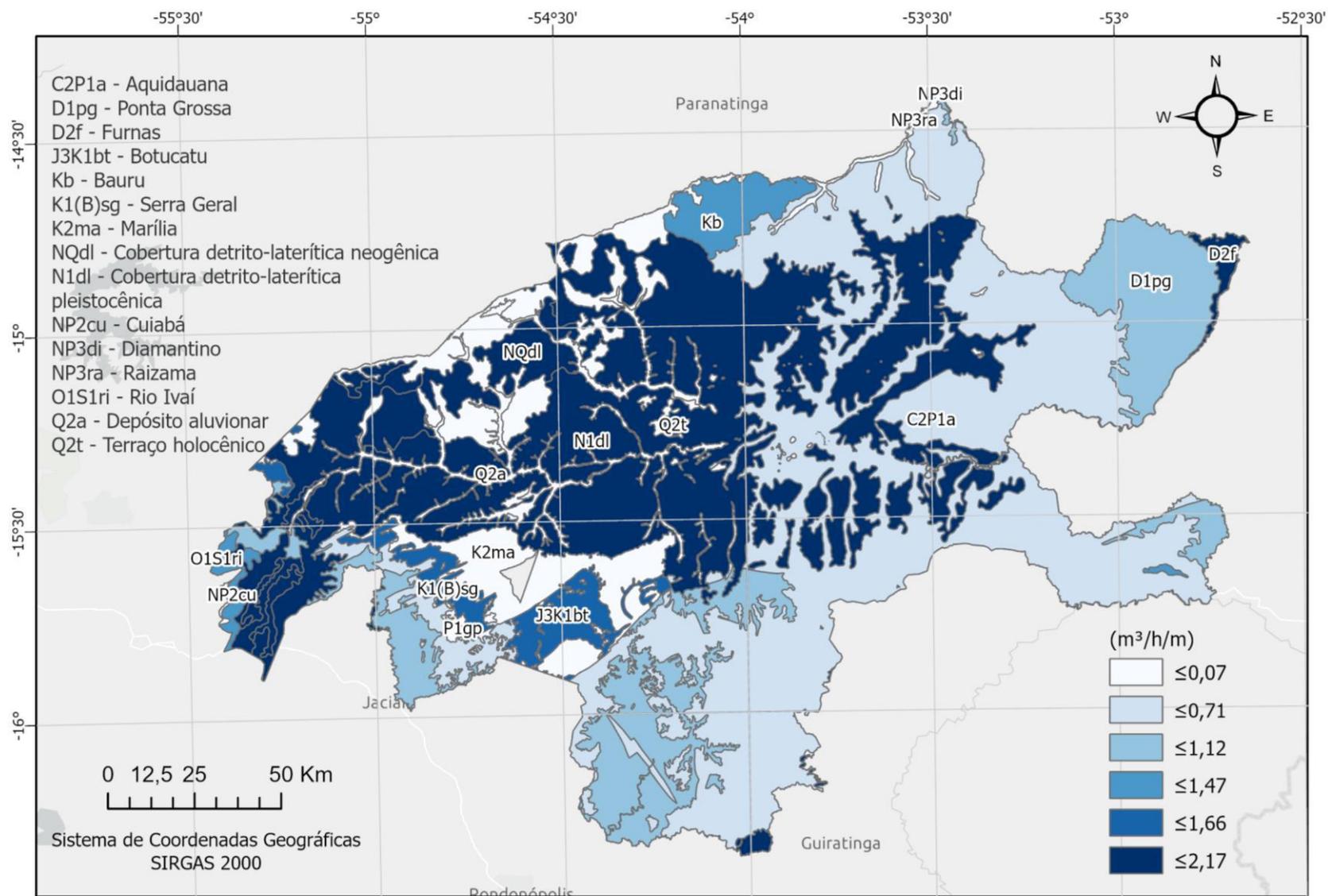


Figura 7 - Mapa de capacidade específica (m³/h/m) por unidade aquífera.

5.2 Modelagem Geológica

A etapa de modelagem utilizou as informações litológicas e estratigráficas extraídas dos perfis em arquivos adequados para entrada no *Leapfrog Geo*. Após confecção dos arquivos os dados foram validados no *software* para elaborarem os contatos entre as unidades e então gerar as superfícies de contato geológico e os volumes finais.

Esperava-se obter um modelo para toda a área do polo de irrigação, entretanto a distribuição de dados disponíveis foi bastante concentrada em alguns pontos, deixando uma enorme porção sem dados suficientes para gerar um modelo satisfatório. Devido este inconveniente optou-se então por adotar um núcleo de modelagem considerando uma região mais densa em dados para que os resultados fossem otimizados (Figura 9).

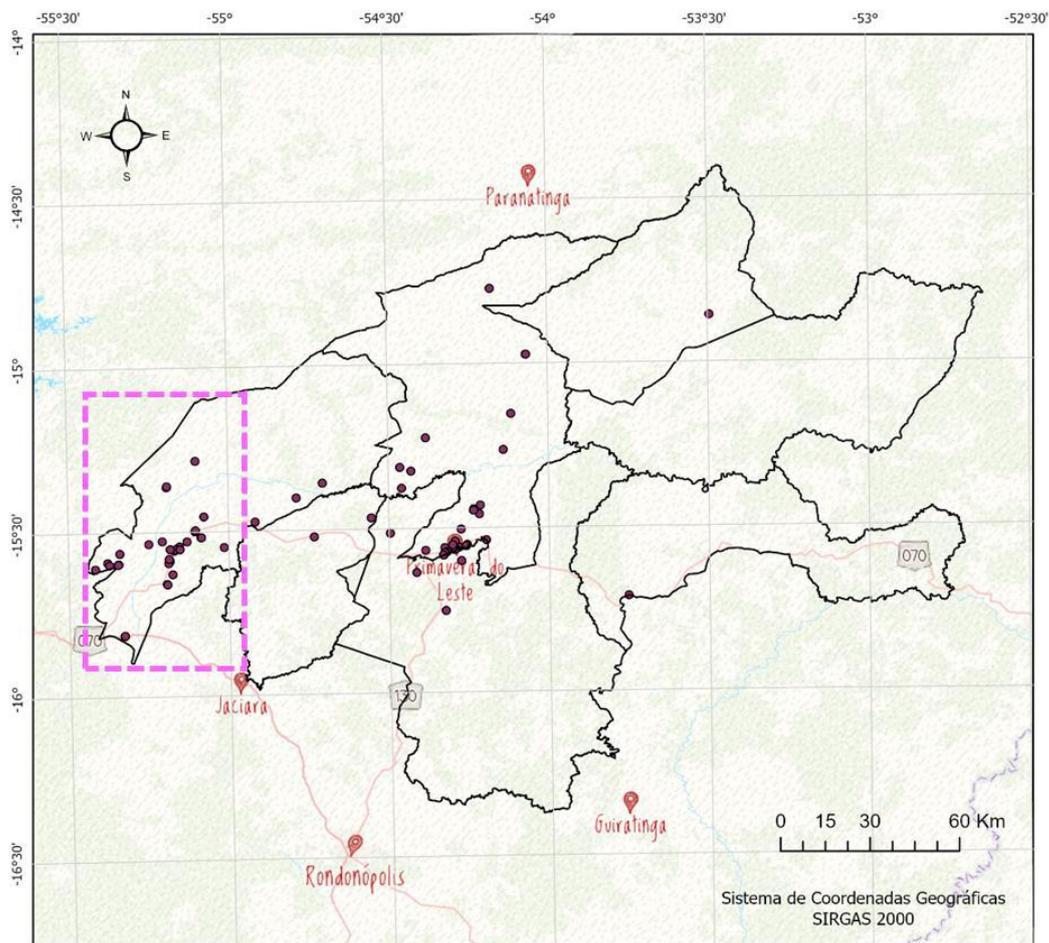


Figura 9 - Distribuição de poços e indicação de localização do modelo geológico.

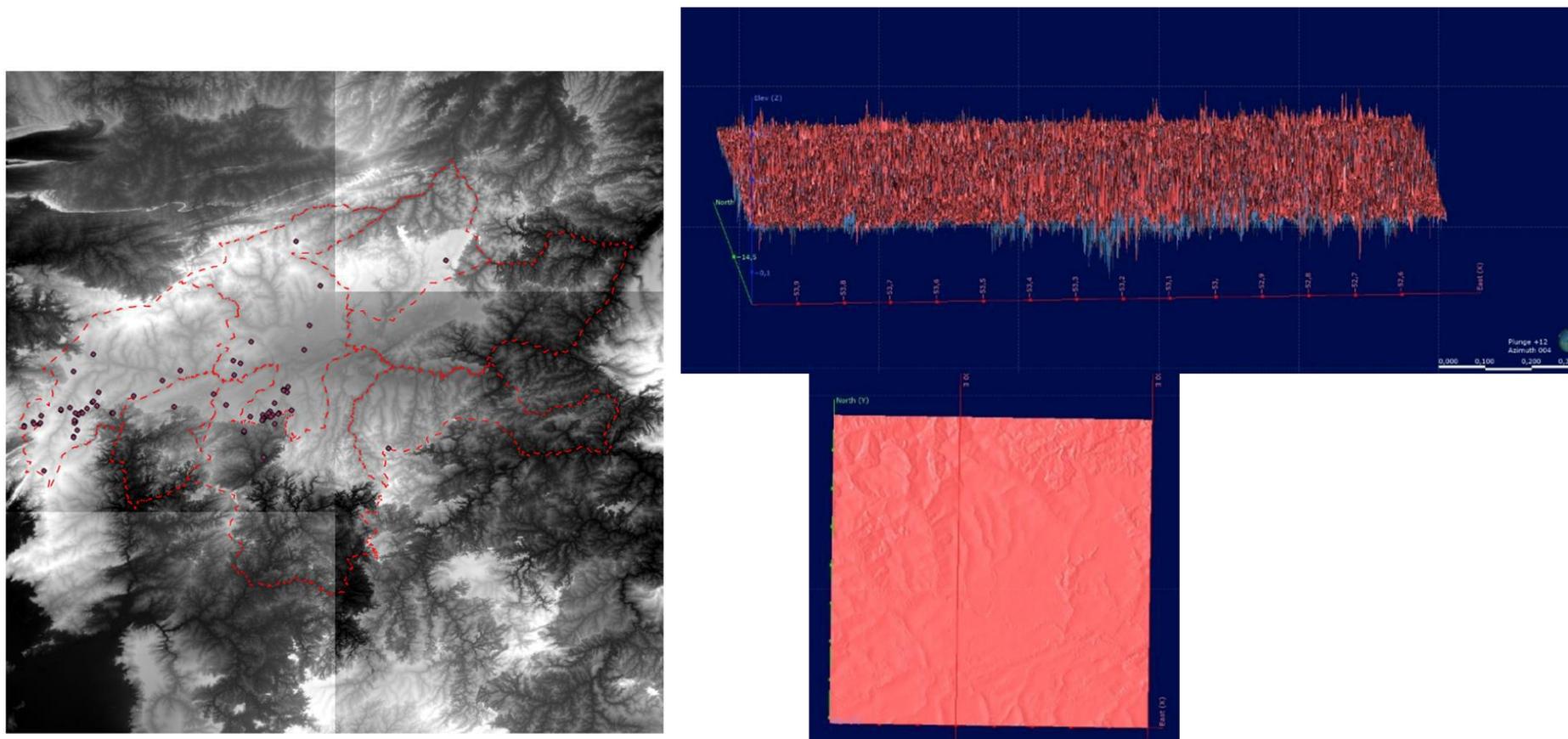


Figura 10 – Mosaico do modelo digital de elevação (em tons de cinza); à direita superior estes mesmos dados introduzido no *software* apresentando distorções. Os dados foram transformados em pontos com informação da cota topográfica e triangulados dentro do próprio *Leapfrog* para gerar a superfície topográfica final (direita inferior).

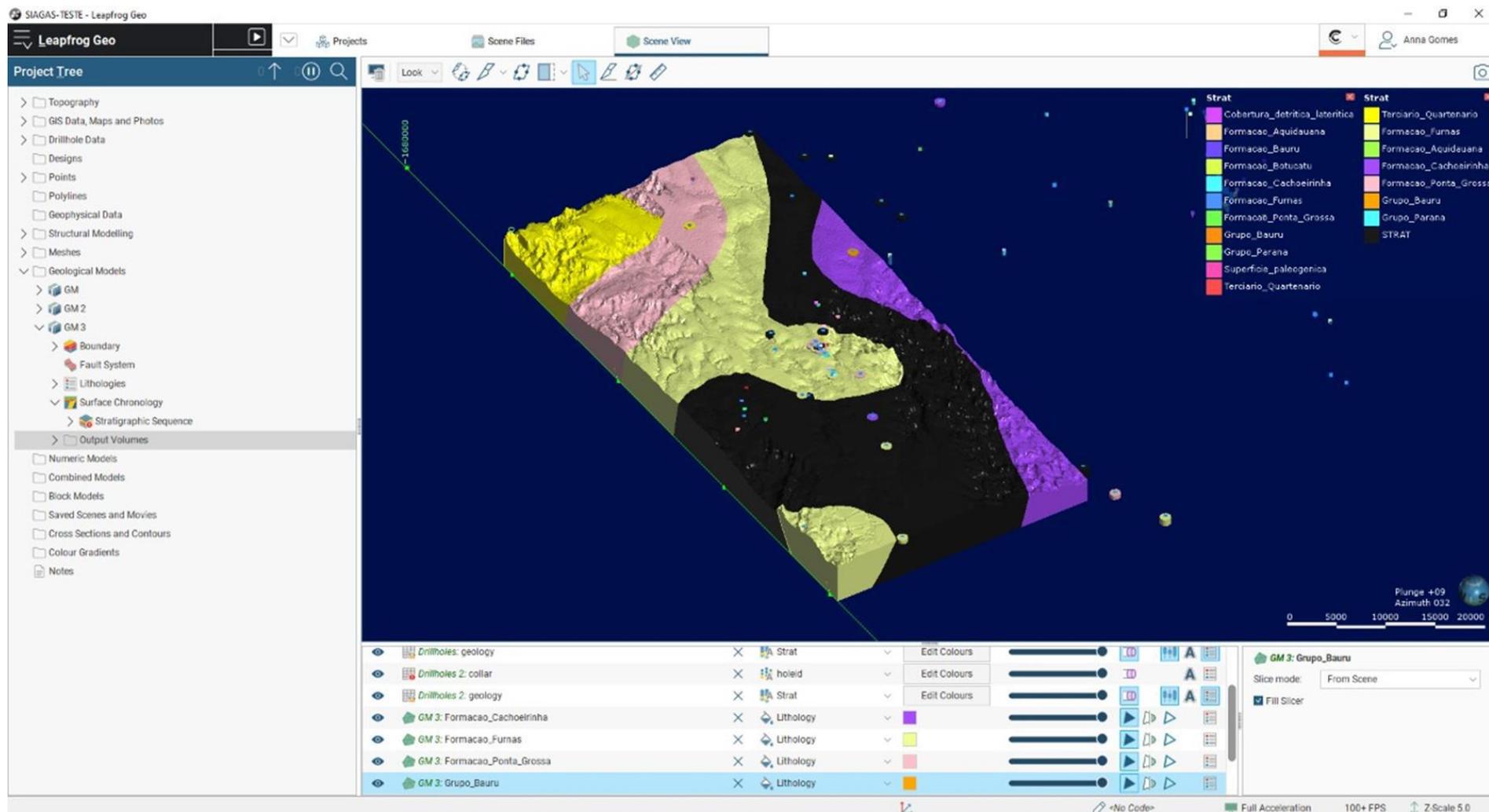


Figura 11 - Modelo geológico preliminar com volumes gerados após determinação das superfícies de contato entre as unidades.

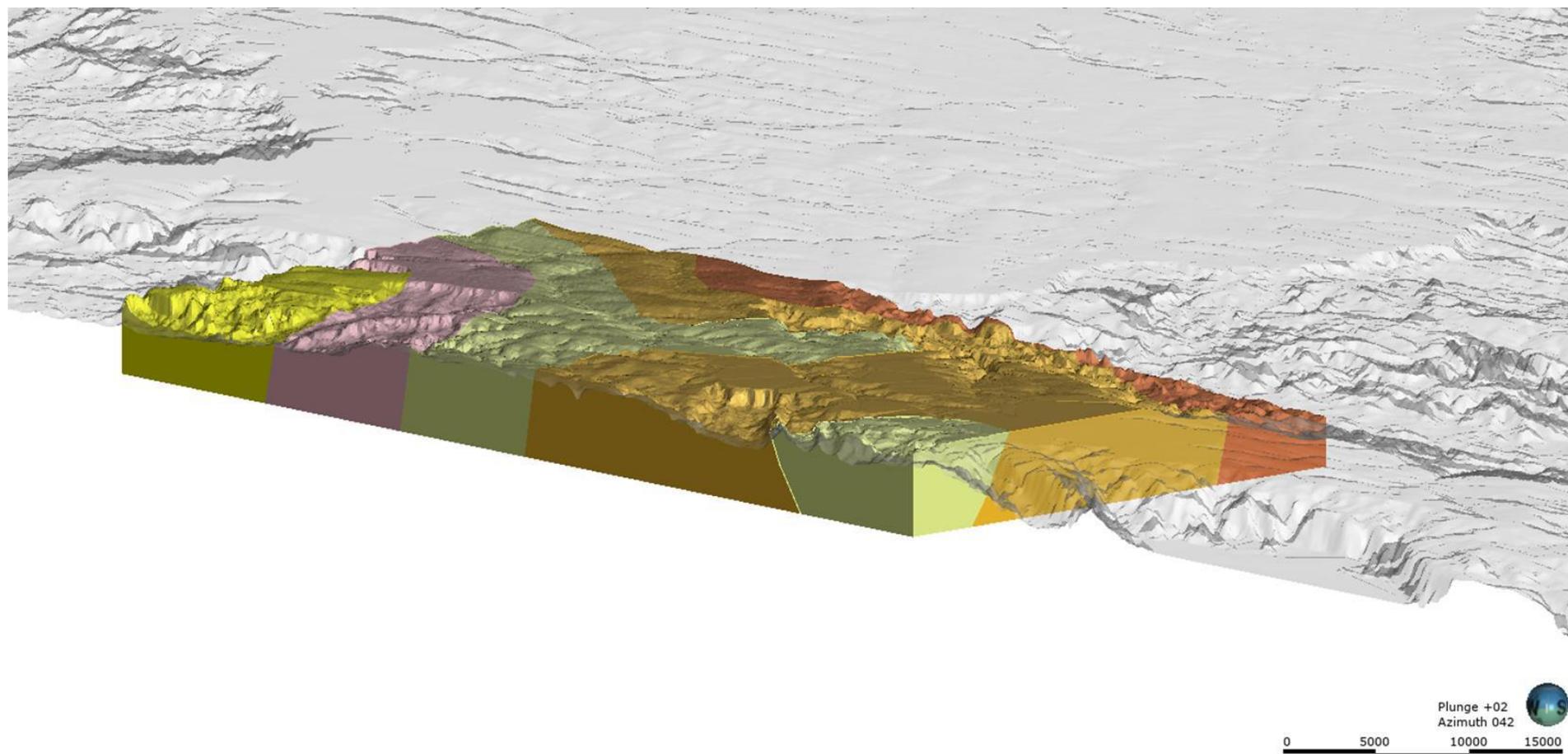


Figura 12 - Modelo geológico visto a sudoeste com sobreposição da superfície topográfica em transparência.

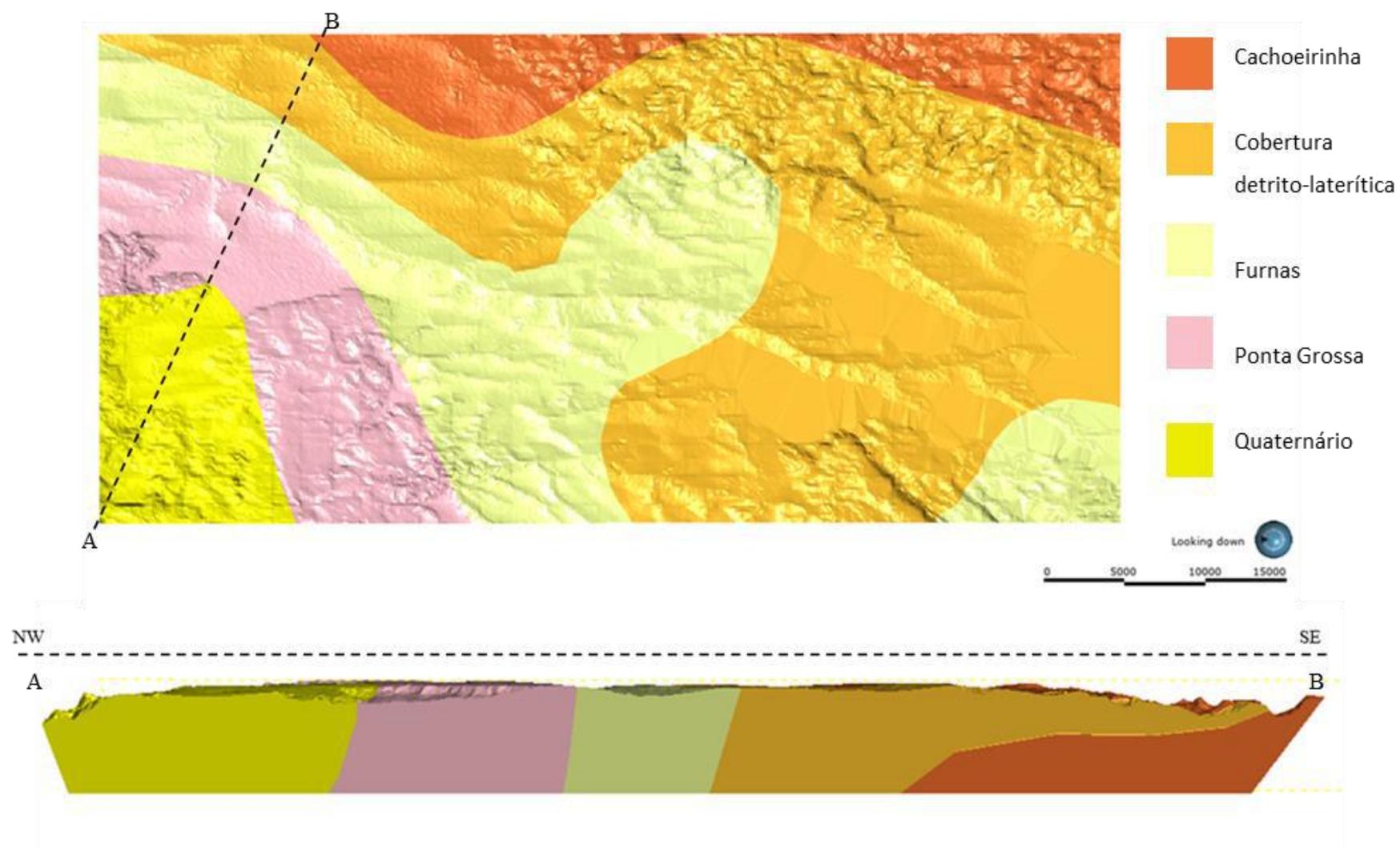


Figura 13 - Modelo geológico visto em mapa e em seção.

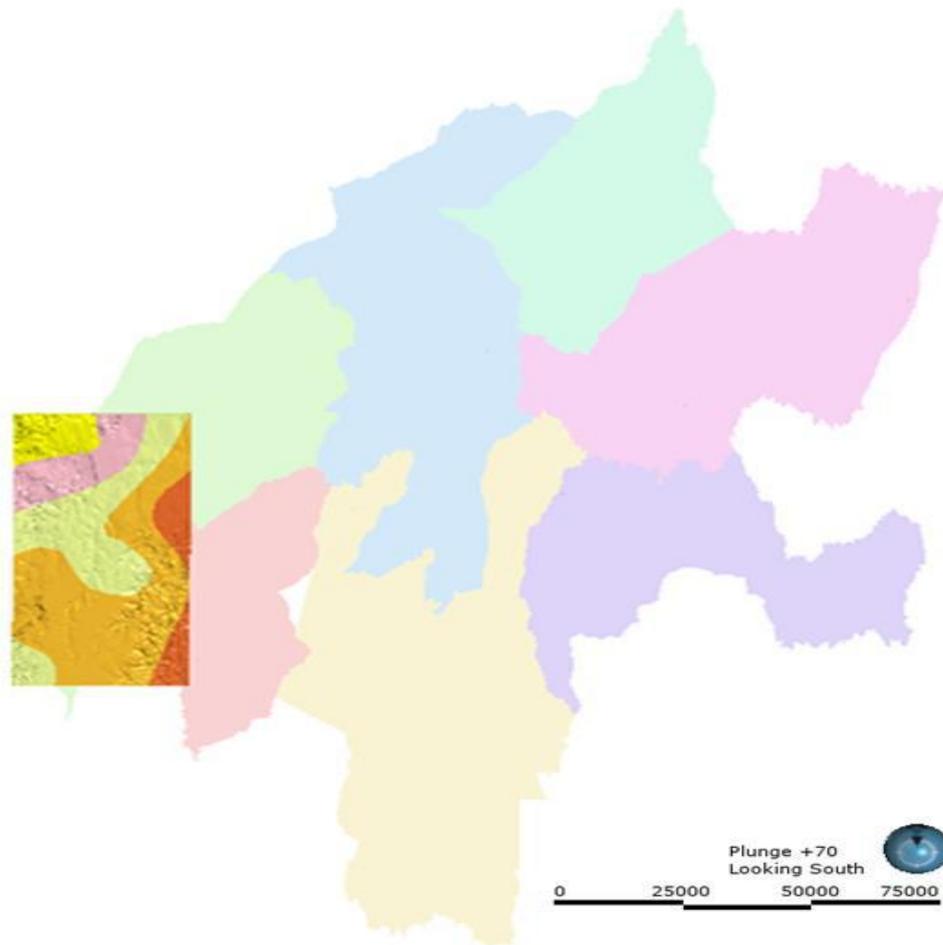


Figura 14 – Localização do modelo geológico em relação a área de estudo.

As imagens apresentadas indicam o tratamento dos dados no *Leapfrog*. Conforme Figura 10, a modelagem se inicia gerando a superfície topográfica a ser utilizada. Essa superfície não só indica o relevo superficial como também é a superfície por onde se distribuem os poços e estabelece os limites superiores do modelo. Após validação da superfície topográfica, os poços foram carregados a partir de planilhas. Primeiro o software estabelece superfícies de contato para limitar as unidades. Após essas superfícies estabelecidas há a geração de volumes preenchendo esses espaços, como se vê na Figura 11.

O modelo geológico final obtido representa o contato entre as unidades descritas. Na Figura 12 é possível ver em detalhe o volume final gerado e a superfície topográfica limitante. Devido a densidade de dados foi mais fácil identificar contatos entre essas unidades (Figura 13), entretanto parece bem mais simplificado que as diversas unidades que supostamente afloram nesta porção do polo. A unidade em contato com a Formação Cachoeirinha foi identificada por correlação entre poços que não detalhavam a unidade estratigráfica e poços com informação completa. Adotou-se então o agrupamento em um só grupo de Coberturas detrito-lateríticas.

A representação em unidades estratigráficas em detrimento de contatos litológicos foi definida para facilitar a limitação das superfícies. Os contatos considerados guias foram entre Formação Furnas e Ponta Grossa, entre Formação Ponta Grossa e Quaternário e entre Formação Cachoeirinha e Coberturas detrito-lateríticas. O limite entre a Formação Furnas e as Coberturas detrito-lateríticas foi bastante extrapolado devido à falta de bons dados para delimitação desse contato. Também é notório que o modelo se concentrou nas unidades superiores e não apresentou maiores detalhes em relação a distribuição das superfícies em maior profundidade. Isso reflete uma concentração de poços rasos, em média até 81,5m, que se tornam incapazes de promover um maior detalhamento do modelo.

A localização do modelo na área de estudo (Figura 14) demonstra o recorte no polo geral. Esse núcleo de modelagem foi escolhido não só pela maior disponibilidade de dados, mas também por se localizar fora do município de Primavera do Leste. Primavera concentra estudos por ser um importante município em âmbito econômico. O idealizado era expandir conhecimento para seus arredores para apoiar a gestão com mais detalhes nessas localidades.

6 DISCUSSÃO

A ideia de analisar a produtividade das unidades aquíferas na área do estudo visa fornecer maior segurança às informações de potencial hídrico da região, revisando análises em escala estadual ao serem aplicadas na escala do polo de irrigação.

Com a confecção do Mapa Hidrogeológico do Brasil (Mente *et al.*, 1983), o DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral, atual Agência Nacional de Mineração - ANM) tinha intenção de fornecer maior conhecimento hidrogeológico para o Brasil e a América do Sul. Mente e Mont'Alverne (1982) propõem uma classificação de avaliação da produtividade de aquíferos como muito fraca (inferior a $0,1 \text{ m}^3/\text{h/m}$), fraca a média ($0,1$ a $1 \text{ m}^3/\text{h/m}$), média a alto (1 a $4 \text{ m}^3/\text{h/m}$) e muito elevada (superior a $4 \text{ m}^3/\text{h/m}$). Das unidades avaliadas, o Grupo Cuiabá aparece como a unidade de produtividade muito fraca, uma concentração de unidades no intervalo fraco a médio com a Formação Aquidauana, Granito São Vicente, Terciário e Quaternário e unidades não individualizadas como superfície paleogênica, Grupo Paraná (sem discriminar subunidade) e Formação Rio Vermelho (associada a granitos do embasamento). No intervalo médio a alto temos as Coberturas detrito-lateríticas, formações Bauru, Botucatu, Cachoeirinha, Furnas, Ponta Grossa e Grupo Rio Ivaí. A formação Pantanal é a representante de produtividade muito elevada.

Em comparação com os agrupamentos de unidades aquíferas proposto em Prodeagro (2000), as discrepâncias estão no Grupo Cuiabá, que era indicado como pertencente a faixa baixa a média, mas neste trabalho apresentou desempenho inferior. Formação Aquidauana também ficou uma categoria abaixo do esperado e as unidades Botucatu, Furnas e Rio Ivaí aparecem agrupadas enquanto o proposto era que esta última obtivesse um resultado abaixo das outras duas unidades.

A partir desta avaliação percebe-se que o aquífero mais produtivo não é o mais extenso. A formação Aquidauana que tem bastante expressividade entre os aquíferos aflorantes alcançou resultados na faixa fraca a mediana. A denominação Formação Bauru, engloba as identificações de Formação Bauru e Grupo Bauru extraídas dos perfis, é uma unidade expressiva na região de Primavera do Leste e adjacências (Zimmer, 2014). Se encontra na mesma faixa de produtividade da Formação Cachoeirinha, mas foi ultrapassada por esta entre a repetição de ocorrências nas descrições nos perfis de poços.

Em relação a nomenclatura também cabe ressaltar que a denominação do termo Terciário, como aparece neste trabalho na unidade Terciário-Quaternário, se deve apenas às descrições de perfil encontrado na base de dados. É estabelecido que o termo se encontra ultrapassado e não foi modificado apenas por conveniência na confecção do trabalho.

A Formação Cachoeirinha é considerada como cobertura depositada no Terciário sobre o Grupo Bauru na região e, enquanto para alguns autores ela não seja uma unidade individualizada (Zimmer, 2014), comprovou sua expressividade local quando associada a captação de água por poços na região.

Os resultados de vazão também acompanham a tendência de capacidade específica. Destacam-se a Formação Pantanal, Formação Cachoeirinha e as Coberturas detrito-lateríticas com os maiores valores de vazão, respectivamente. Unidades associadas a Bacia do Paraná, tradicionalmente reconhecidas pelo seu potencial, como Formação Furnas, Bauru e Botucatu, também apresentaram maiores números que as demais unidades.

Os resultados hidráulicos também evidenciam uma ausência de dados de aquíferos fraturados. Embora tenham ocorrência restrita e pouca expressividade na região, os aquíferos fraturados podem ter bom potencial quando associados a estruturas que facilitem a circulação de água. As unidades associadas ao sistema fraturado tiveram fonte escassa e poderiam ser melhor avaliadas com novos dados que incrementassem o inventário.

Em relação ao modelo geológico existia uma expectativa em conseguir gerar volumes tridimensionais mais profundos capazes de indicar de forma segura a distribuição das camadas hidrogeológicas na região de estudo. A construção de um modelo conceitual é o primeiro passo para a modelagem numérica de fluxo de águas subterrâneas, uma ferramenta importante para gestão de recursos hídricos subterrâneos e que possui aplicações desde a compreensão do fluxo em sistemas aquíferos heterogêneos até a avaliação de áreas contaminadas e previsão de transporte de contaminantes (Carvalho, 2013).

Pela falta de dados com distribuição homogênea e pela extensão da área de estudo foi necessário conceber núcleos para a modelagem, entretanto, a ausência de contatos profundos no volume final gerado reflete a tendência a poços rasos na região estudada. Pela crescente demanda por recursos para irrigação e para evitar conflitos e estresse hídrico, a utilização de um modelo completo seria importante pois geraria maior segurança para a gestão das águas na região.

O Brasil é um país com problemas históricos em planejamento e gestão nacional de seus recursos e pelas demandas existentes e projetadas de recursos hídricos. O crescimento urbano e a ampliação da demanda hídrica para usos diversos, se aliados a uma política de ausência em planejamento, pode levar a novas crises hídricas e em maiores magnitudes (ANA, 2019). O crescimento da demanda de recursos irrigação e o uso urbano necessitam de continuidade no monitoramento de águas subterrâneas e avaliações que assegurem sua qualidade para as mais diversas atividades.

7 CONCLUSÕES

Na área que compreende o polo de irrigação de Primavera do Leste foi possível analisar por uma avaliação de produtividade das unidades que as coberturas cenozoicas apresentam maior expressividade em comparação com as outras unidades aquíferas da região. Destacam-se principalmente as Coberturas detrítico-lateríticas e Formação Cachoeirinha, registros mais recentes e que recobrem os sedimentos da Bacia do Paraná. A Formação Pantanal apresentou o maior potencial hídrico dentre todas, mas tem sua ocorrência restrita na área. A formação Bauru, reconhecida pelo seu potencial, aparece com destaque dentre as unidades associadas à Bacia do Paraná. A Formação Furnas, apesar de seus bons resultados, não apresenta distribuição expressiva na localidade.

Em relação a construção de um modelo geológico, o *software Leapfrog Geo* se mostrou adequado e bastante simples em sua utilização. Apresenta vantagem de uma rápida aplicação e integração com outros softwares para modelagem de fluxo, por exemplo. Um fator limitante em sua utilização foi a escassez e natureza dos dados, que não propiciaram volumes tridimensionais com maior profundidade e detalhes.

Considerando a importância do polo para o estado do Mato Grosso e o desenvolvimento de atividades de agronegócio e crescimento urbano, é necessário o desenvolvimento de avaliações e rede de monitoramento quantitativo e qualitativo das águas subterrâneas para garantir que a região possa gerenciar os recursos hídricos de forma responsável e priorizar seu desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F.F.M. de 1964. Geologia do centro-oeste mato-grossense. Rio de Janeiro, DGM/DNPM, 137p. (Boletim 215).

Alves, E. C. R. F; Silvino, A. N. O.; Andrade, N. L. R. de; Silveira, A. Gestão dos Recursos Hídricos no Estado de Mato Grosso. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 69-80, 10 jul. 2009.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. 2a. ed. Brasília - DF: [s. n.], 2021. Atlas.

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). Plano Nacional de Segurança Hídrica. Brasília, 2019.

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). Oficina Progestão / Letícia Lemos de Moraes - Brasília, 2016

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). Oficina de capacitação Progestão: águas subterrâneas / Leonardo de Almeida – Brasília, 2016.

Barreto, F. S. A modelagem implícita no aprimoramento do modelo conceitual de uma área contaminada. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/2d14f1e9-fdbd-4cdf-aec9-ced505261319/2022_01_TF_Fernanda_Barreto_RB_SH.pdf>.

Brito, S. Brasil está entre os países com maior área irrigada do mundo. [S. l.], 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/12990229/brasil-esta-entre-os-paises-com-maior-area-irrigada-do-mundo>. Acesso em: 31 out. 2022.

Caumon, G., Gray, G., Antoine, C. e Titeux, M.-O., 2012, Three-dimensional implicit stratigraphic model building from remote sensing data on tetrahedral meshes: theory and

application to a regional model of La Popa Basin, NE Mexico: *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 51, no. 3, p. 1613–1621.

Carvalho, A. M. de. Modelagem numérica como ferramenta para a gestão das águas subterrâneas em São José do Rio Preto (SP). – São Paulo, 2013

Coutinho, A. C. Dinâmica das queimadas no estado do Mato Grosso e suas relações e suas relações com as atividades antrópicas e a economia local. 2005. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

Cowan, E.J.; Beatson, R.K.; Ross, H.J.; Fright, W.R.; McLennan, T.J. e Mitchel, T.J. Practical implicit geological modelling. In: Fifth International Mining Geology Conference. [S.l.: s.n.], 2003. p. 17–19.

Cowan, E.J.; Beatson, R.K.; Ross, H.J.; Fright, W.R.; McLennan, T.J.; Evans, T.R.; Carr, J.C.; Lane, R.G.; Bright, D.V.; Gillman, A.J.; Osgut, P.A. e Titley, M. Rapid geological modelling. *Applied Structural Geology for Mineral Exploration and Mining*, International Symposium, 2002.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Programa de Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil: Subprograma de Mapas Geológicos Estaduais. Cuiabá: [s. n.], 2004. 1 mapa, 1 texto explicativo. Escala 1:1000000.

Evans, J.W., 1894. The Geology of Mato Grosso (Particularly the region drained by the upper Paraguay). *Journal of the Geological Society of London* 50 (2), 85–104. <<https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1894.050.01-04.10>>.

Freitas, A. F. da C. Petrografia e proveniência dos arenitos cambrianos da Formação Diamantino, Sul do Cráton Amazônico, região de Diamantino, Mato Grosso. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2012.

Governo do Mato Grosso. Economia. [S. l.], 23 nov. 2015. Disponível em: <<http://www.mt.gov.br/economia>>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estado de Mato Grosso: geologia. 1ª ed. [S. l.: s. n.], 2009. Mapa. Escala 1:1500000.

Klemp, S. M. Análise espaço-temporal de pivôs de irrigação central, na Bacia Hidrográfica do Alto Rio das Mortes - MT. 2010. Dissertação (Mestre em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2010.

Lima, A. P. B. Gênese de solos em topossequências no sudeste de Mato Grosso - Brasil. 2020. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

Luz J.S.; Oliveira A.M.; Souza J.O.; Motta J.F.M.; Tanno L.C.; Carmo L.S.; Souza N.B., 1980. Projeto Coxipó. Relatório Final. Goiânia, DNPM/CPRM, 1, 136.

Mente, A.; Pessoa, M. D.; Leal, O. 1983. Mapa Hidrogeológico do Brasil. Escala 1:5.000.000. DNPM, 1 mapa.

Mente, A., & Mont'Alverne, A. A. F. 1982. Mapa Hidrogeológico do Brasil na Escala de 1:5.000.000. Águas Subterrâneas. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22390>>.

OECD – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico. Governança dos recursos hídricos no Brasil. Paris: OECD Publishing, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264238169-pt>>.

Prefeitura Municipal de Primavera do Leste. Primavera do Leste aparece entre as 15 cidades mais ricas do agronegócio. [S. l.], 11 jan. 2022. Disponível em: <<https://primaveradoleste.mt.gov.br/noticias-6650>>.

Prodeagro – Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado do Mato Grosso. Mapa das unidades aquíferas do estado de Mato Grosso. 1ª. ed. [S. l.: s. n.], 2001. Mapa. Escala 1:1500000.

Prodeagro – Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado do Mato Grosso. Zoneamento sócio-econômico-ecológico: diagnóstico sócio-econômico-ecológico do estado de Mato Grosso e assistência técnica na formulação da 2ª aproximação. Cuiabá, 2000. Disponível em: <<http://www.dados.mt.gov.br/publicacoes/dsee/geologia/rt/DSEE-GL-RT-004.pdf>>.

Rolo, R. M. Modelagem geológica implícita com funções distância assinaladas. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Cuiabá, 2017.

SEMA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Superintendência de Recursos Hídricos. Gestão de Recursos Hídricos de Mato Grosso: Relatório 2018 - Cuiabá, 2021

Seequent. User Manual for Leapfrog Geo version 4.1. [S. l.: s. n.], 2017.

Santos, J.O.; Hartman, L.A.; Gaudette H.; Groves D.I.; Mcnaughton N.J.; Fletcher I.R. A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and the U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, v. 3, p. 435-488, 2000

Weska, R.K.; Rosa, D.B.; Pisani, J.R.T.; Arrais, J.C. De P.; Maciel, M.A.C.; Ribeiro, J.M.; Kato, S.L.R.; Araújo, S.A. De; Rosestolato Filho, A. A estratigrafia, a evolução tectônica e o diamante do Grupo Bauru da região de Poxoréu, MT, Brasil. In: *Simpósio Brasileiro de Geologia Do Diamante*, 1, 1993, Cuiabá. Anais...Cuiabá: Editora UFMT, Gráfica Universitária, 1993, p. 208-228.