



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DE AQUÍFEROS  
SEDIMENTARES E METASSEDIMENTARES DE DUPLA  
POROSIDADE DA REGIÃO DO ALTO PARAGUAI, MT**

**Área de Concentração: Hidrogeologia e Meio Ambiente**

**THIAGO LUIZ FEIJO DE PAULA**

**Orientador: Prof. Dr. José Eloi Guimarães Campos**

**BRASÍLIA, 2015.**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DE AQUÍFEROS  
SEDIMENTARES E METASSEDIMENTARES DE DUPLA  
POROSIDADE DA REGIÃO DO ALTO PARAGUAI, MT**

Dissertação 076

**THIAGO LUIZ FEIJO DE PAULA**

**Orientador**

JOSÉ ELOI GUIMARÃES CAMPOS

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. José Eloi Guimarães Campos (Orientador)

Prof. Dr. Renato Blat Migliorini (UFMT)

Prof. Dr. Luciano Soares da Cunha (UnB)

## AGRADECIMENTOS

A CPRM - Serviço Geológico do Brasil e aos meus amigos, que influenciaram ou influenciaram em meus trabalhos da área de hidrogeologia me permitindo um amadurecimento profissional e uma bagagem de conhecimento que trago sempre comigo, Jamilo José Thomé Filho, Luiz Fernando Bomfim, Marcos Alexandre Freitas, João Alberto Oliveira Diniz e Fernando Antônio Carneiro Feitosa.

Aos amigos da Superintendência Regional Goiânia da CPRM, que de alguma forma contribuíram para meu crescimento profissional e me apoiaram durante as jornadas de trabalhos com esta dissertação, sendo em especial a Joffre Valmorio de Lacerda Filho, Maria Abadia Camargo e Fernando Santos Diener.

Ao Professor José Eloi Guimarães Campos, meu orientador e parceiro, pela seriedade, e dedicação com os trabalhos, pelo incentivo, conhecimento cedido e caloroso acolhimento, e também, pelas discussões conceituais a cerca deste trabalho que contribuíram de forma significativa para meu aprimoramento profissional.

Ao Sr. Gilberto Diener e sua família, pelas acolhidas nas minhas várias idas e vindas a Brasília, me garantindo sempre, quando necessário, confortáveis estadas.

Aos meus estimados pais, Armando Bezerra de Paula e Amara Ligia Feijó de Melo, e minha querida Tia, Ana Maria de Oliveira, por me amarem e estarem sempre ao meu lado.

A minha amada esposa, Juliane Lira Gomes de Paula, pelo afeto, companheirismo e incentivo incondicional, que sempre esteve ao meu lado me proporcionando toda energia necessária para superar qualquer desafio.

Ao meu valioso filho, Arthur Gomes de Paula, que mesmo sendo tão pequenino, foi maduro, paciente e companheiro, abdicando de seu precioso tempo de brincar ou simplesmente estar com seu pai, em função das horas dedicadas a este trabalho.

Obrigado!

# SUMÁRIO

RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	ix
CAPÍTULO 1 .....	1
INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Apresentação e Justificativas .....	1
1.2 Objetivo .....	1
1.3 Materiais e Métodos .....	2
1.4 Localização da Área de Estudo .....	4
CAPÍTULO 2 .....	6
REFERENCIAL TEÓRICO .....	6
2.1 Conceitos de Aquíferos .....	6
2.2 Classificação dos Aquíferos .....	6
2.2.1 Classificação dos Aquíferos quanto à Morfogênese/ Tipo de Porosidade .....	6
2.2.2 Classificação dos Aquíferos quanto à Pressão .....	7
2.3 Propriedades Físicas e Hidráulicas dos Aquíferos .....	8
2.4 Modelos Conceituais de Fluxo e Número de Reynolds .....	9
CAPÍTULO 3 .....	14
DISCUSSÃO SOBRE AQUÍFEROS DE DUPLA POROSIDADE .....	14
3.1 Pertinência do Termo .....	14
3.2 Aplicação do Conceito de Aquíferos de Dupla Porosidade .....	16
3.3 Condições Hidráulicas .....	17
3.4 Proposta de Enquadramento .....	18
3.5 Potencial para Abastecimento .....	20
3.5.1 Abastecimento Público .....	22
3.5.2 Uso para Lazer .....	22
3.5.3 Uso Rural .....	22
CAPÍTULO 4 .....	24
CONTEXTO GEOLÓGICO .....	24
4.1 GEOLOGIA REGIONAL .....	24
4.1.1 Sedimentos e Metassedimentos Proterozoicos da Região do Alto Paraguai .....	24
GRUPO CUIABÁ .....	28
Formação Bauxi .....	29
Formação Puga .....	29
GRUPO ALTO PARAGUAI .....	30
Formação Araras .....	30
Formação Raizama .....	30
Formação Diamantino .....	31
GRUPO AGUAPEÍ .....	31
Formação Fortuna .....	31
Formação Vale da Promissão .....	32
Formação Morro Cristalino .....	32
4.1.2 Bacia Sedimentar Paleo-mesozoica do Paraná .....	32
Formação Furnas .....	33
Formação Ponta Grossa .....	33
Formação Botucatu .....	34
GRUPO BAURU .....	34
Grupo Bauru Indiviso .....	34
4.1.3 Bacia Sedimentar Paleo-mesozoica dos Parecis .....	35
Formação Tapirapuã .....	35
GRUPO PARECIS .....	35
Formação Salto das Nuvens .....	35



Formação Utiariti .....	36
4.1.4 Bacia Sedimentar Cenozoica do Pantanal .....	37
Formação Pantanal .....	37
Coberturas Detrito-lateríticas Ferruginosas .....	37
Depósitos Aluvionares .....	38
4.2 GEOLOGIA LOCAL .....	38
Grupo Cuiabá .....	38
Formação Puga.....	40
Formação Araras .....	42
Formação Raizama.....	42
Formação Diamantino .....	50
CAPÍTULO 5 .....	53
ENQUADRAMENTO DOS AQUÍFEROS DA REGIÃO DO ALTO PARAGUAI.....	53
5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	53
5.2 CONTEXTO REGIONAL .....	53
Aquífero Cuiabá .....	53
Aquífero Bauxi.....	54
Aquífero Puga .....	55
Aquífero Araras.....	55
Aquífero Raizama .....	56
Aquífero Diamantino.....	56
5.3 AQUÍFEROS DE DUPLA POROSIDADE.....	57
5.3.1 Caracterização da Zona Não Saturada .....	57
Anéis Concêntricos .....	59
Open End Hole .....	60
5.3.2 Caracterização da Zona Saturada .....	63
Aquífero Raizama .....	64
Aquífero Diamantino.....	67
5.4 MODELO CONCEITUAL DE FLUXO DOS AQUÍFEROS RAIZAMA E DIAMANTINO .....	71
5.5 ESTIMATIVA DE RESERVAS HÍDRICAS .....	74
Reservas Reguladoras (Rr).....	75
Reservas Permanentes (Rp).....	76
Reservas Totais (Rt).....	77
Reservas Explotáveis (Re) .....	77
5.6 PROPOSTA PARA PLANO DE MONITORAMENTO.....	78
CAPÍTULO 6 .....	80
CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	80
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	80
6.2 CONCLUSÕES .....	81
6.3 RECOMENDAÇÕES.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	86
ANEXO.....	90
I. CÁLCULOS DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA PARA ZONA NÃO SATURADA - ENSAIOS <i>in situ</i> pelos métodos dos ANÉIS CONCÊNTRICOS E <i>OPEN END HOLE</i> .....	90
Ensaio em Latossolos .....	90
Ensaio em Neossolo Flúvico.....	92
II. CÁLCULOS DE TRANSMISSIVIDADES E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA PARA ZONA SATURADA - ENSAIO DE BOMBEAMENTO DO CADASTRO SIAGAS .....	93
Ensaio em poços do Aquífero Raizama.....	93
Ensaio em poços do Aquífero Diamantino.....	97
Ensaio em poços do Aquífero Parecis .....	100

III. POÇOS UTILIZADOS - PERFIS LITOLÓGICOS E CONSTRUTIVOS .....	102
Perfis Litológicos e Construtivos - Aquífero Raizama .....	102
Perfis Litológicos e Construtivos - Aquífero Diamantino .....	107
Perfis Litológicos e Construtivos - Aquífero Parecis.....	111
IV. RELAÇÃO DE PONTOS UTILIZADOS NA ÁREA DE TRABALHO .....	116

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Padrão para tratamento dos dados descritivos e analíticos dos poços.....	3
Figura 1.2 - Localização da área de trabalho, na Sub Bacia Hidrográfica Alto Paraguai no Estado Mato Grosso. ....	5
Figura 2.1 - Representação esquemática da disposição e fluxo de um meio com dupla porosidade (integrular/fraturado).....	11
Figura 2.2 - Valores para o número de Reynolds (Re) em vários domínios diferenciados de velocidade e diâmetro de tubos, sob diferentes regimes de fluxo (Smith <i>et al.</i> 1976).....	12
Figura 3.1 - Proposta para enquadramento dos tipos de aquíferos, quanto à porosidade. ....	19
Figura 4.1 - Localização dos sedimentos e metassedimentos do Proterozoico e das Bacias sedimentares do Paraná, Parecis e Pantanal na área da Sub-bacia Hidrográfica Alto Paraguai no Mato Grosso. ....	25
Figura 4.2 - Mapa de unidades litoestratigráficas da área de estudo.....	26
Figura 4.3 - Coluna cronoestratigráfica para área de estudo (Fonte: LACERDA FILHO <i>et al.</i> , 2004).....	27
Figura 4.4 - Filito cinza rico em matéria orgânica do Grupo Cuiabá. Mesmo se tratando de rocha metapelítica o fraturamento ortogonal à foliação ainda permite o desenvolvimento de aquífero fraturado de baixo potencial (UTM 521396 / 8229044).....	39
Figura 4.5 - (a) Seção delgada com nicol paralelo e (b) Seção com nicol cruzado mostrando cristais angulosos de tamanhos variados e inexistência de qualquer porosidade primária em metavulcânica do Grupo Cuiabá (UTM 514476 / 8245026).....	39
Figura 4.6 - Diamictito da Formação Puga. Notar o clasto de quartzito intensamente fraturado (UTM 441459 / 8204132). ....	40
Figura 4.7 - Amostra de mão do diamictito da Formação Puga. Os clastos maiores apresentam tamanhos e composição variadas e a matriz com cimentação por sílica diminuído espaços vazios entre grãos. (UTM 526902 / 8296241).....	41
Figura 4.8 - Zona de fratura materializada pelo vale em V interceptando camadas de rochas metapsamíticas da Formação Puga na Serra do Mangaval (UTM 524145 / 8296875).....	41
Figura 4.9 - Dolomito de cor bege a cinza claro, intensamente fraturado e com pequena cavidade de dissolução que compõe sistema aquífero fissuro-cárstico no contexto da Formação Araras (UTM 573008 / 8375422).....	42
Figura 4.10 - Exposição de sucessão psamo-pelítica da Formação Raizama. Este conjunto apresenta anisotropias determinadas pelos planos de fraturamento subverticais, além do acamamento com baixo ângulo de mergulho (UTM 578859 / 8382840). ....	43
Figura 4.11 - Marcas onduladas simétricas marcando o plano de acamamento da Formação Raizama (UTM 578859 / 8382840). ....	44
Figura 4.12 - Estratificação cruzada preservada perpendicular aos planos de acamamento da Formação Raizama (UTM 578859 / 8382840). ....	44
Figura 4.13 - Amostra de mão mostrando textura submatura e considerável porosidade intergranular primária residual nos arenitos da Formação Raizama (UTM 578859 / 8382840). ....	45
Figura 4.14 - Amostra de mão mostrando pequenos planos abertos com alteração ao longo das paredes indicando percolação de água em uma porção silicificada e de pouca porosidade residual matricial da Formação Raizama (UTM 578859 / 8382840).....	45
Figura 4.15 - Fraturas subverticais preenchidas da Formação Raizama (UTM 578859 / 8382840).....	46

Figura 4.16 - (a) Seção delgada com nicol paralelo mostrando textura primária submatura existente nos arenitos da Formação Raizama. (b) Seção com nicol cruzado mostrando os clastos com extinção uniforme (UTM 578859 / 8382840). .....	46
Figura 4.17 - (a) Seção delgada com nicol paralelo mostrando em destaque abertura secundária planar por microfratura existente em quartzitos da Formação Raizama. (b) Seção com nicol cruzado mostrando os clastos cristais recristalizados e com extinção ondulante (UTM 578859 / 8382840). .....	47
Figura 4.18 - (a) Seção delgada com nicol paralelo mostrando porosidade intergranular primária existente nos arenitos da Formação Raizama. (b) Mesma seção com nicol cruzado mostrando os clastos com extinção normal (UTM 578859 / 8382840). .....	47
Figura 4.19 - Quartzito com planos de acamamento horizontal descolados e intensamente fraturado verticalmente da Formação Raizama (UTM 448130 / 8203833). .....	48
Figura 4.20 - Metapsamito que compõe aquífero de dupla porosidade em que a porosidade planar pode ser primária (plano de acamamento) ou secundária (plano de fraturamento), além da porosidade residual de caráter matricial (porosidade intergranular). (UTM 448130 / 8203833). .....	48
Figura 4.21 - Quartzito que compõe excelente reservatório do tipo dupla porosidade (aquífero misto) com fraturas subhorizontais de alívio e acamamento verticalizado (UTM 430578 / 8214438). .....	49
Figura 4.22 - Quartzito puro, limpo e maturo com estratificação cruzada preservada de forma discreta, descontinuidades planares e porosidade intergranular compondo um exemplo de aquífero de dupla porosidade (UTM 448130 / 8203833). .....	49
Figura 4.23 - Sucessão de pelitos laminados da Formação Diamantino (UTM 536276 / 8396485). .....	50
Figura 4.24 - Arenito arcoseano litificado com planos de acamamento horizontal da Formação Diamantino (UTM 523966 / 8402752). .....	51
Figura 4.25 - Local de extração de arenitos da Formação Diamantino. A porosidade é essencialmente matricial, tendo em vista a baixa ocorrência dos planos de fraturas (UTM 523966 / 8402752). .....	51
Figura 4.26 - Paralelepípedos amontoados próximos ao local de extração de arenitos da Formação Diamantino. Cada bloco constitui uma porosidade essencialmente matricial, sem a existência de qualquer porosidade secundária planar (UTM 523966 / 8402752). .....	52
Figura 4.27 - Arenito arcoseano verticalmente fraturado da Formação Diamantino. Além de intensamente fraturado contém porosidade matricial, evidenciado pelo seu caráter friável mesmo em amostras de rocha fresca (UTM 470881 / 8268302). .....	52
Figura 5.1 - Ilustração de campo mostrando o desenvolvimento de ensaio de infiltração <i>in situ</i> do tipo Anéis Concêntricos e <i>Open End Hole</i> . .....	59
Figura 5.2 - Gráfico mostrando os resultados para os ensaios de infiltração <i>in situ</i> do tipo Anéis Concêntricos e <i>Open End Hole</i> na zona não saturada de aquíferos da região do Alto Paraguai no Mato Grosso. .....	62
Figura 5.3 - Gráficos de vazão <i>versus</i> rebaixamento, com a identificação dos valores de estabilização da vazão e do rebaixamento, para o Aquífero Raizama. .....	65
Figura 5.4 - Gráfico rebaixamento x log-tempo de testes de bombeamento realizado no aquífero Raizama. ....	66
Figura 5.5 - Gráfico de vazão <i>versus</i> rebaixamento, com a identificação dos valores de estabilização da vazão e do rebaixamento, para o Aquífero Diamantino. ....	69
Figura 5.6 - Gráfico rebaixamento x log-tempo de testes de bombeamento realizado no aquífero Diamantino. ....	69

Figura 5.7 - Área localizada a sudeste do município Cáceres-MT, onde ocorre descarga dos aquíferos Diamantino e Raizama com indicação da direção de fluxo subterrâneo.....	72
Figura 5.8 – Modelo esquemático para o comportamento do fluxo subterrâneo dos aquíferos Raizama e Diamantino. ....	73
Figura 5.9 - Área próxima a sede do município Diamantino, onde ocorre descarga dos aquíferos Diamantino e Raizama com indicação da direção aproximada de fluxo subterrâneo. ....	74

## LISTA DE TABELA

Tabela 5.1 - Relação das classes de solos da zona não saturada conforme aquífero e tipo de aquífero quanto ao tipo de porosidade predominante. ....	58
Tabela 5.2 - Condutividade hidráulica vertical – $K_v$ (m/s) calculados a partir de ensaios de infiltração com os métodos Anéis Concêntricos em Latossolos para a zona vadosa dos Aquíferos de Dupla porosidade (fraturado\intergranular) da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai no Mato Grosso. ....	60
Tabela 5.3 - Condutividade hidráulica vertical - $K_v$ (m/s) calculados a partir de ensaios de infiltração com os métodos Anéis Concêntricos em Latossolos e Neossolo Flúvico para zona vadosa de outros tipos de aquíferos na região da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai no Mato Grosso. ....	60
Tabela 5.4 - Condutividade hidráulica vertical – $K_v$ (m/s) calculados a partir de ensaios de infiltração com o método <i>Open End Hole</i> em latossolos para a zona vadosa dos Aquíferos de Dupla porosidade (fraturado\intergranular) da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai no Mato Grosso.....	61
Tabela 5.5 - Condutividade hidráulica vertical - $K_v$ (m/s) estimadas a partir de ensaios de infiltração com o método <i>Open End Hole</i> em latossolos e Neossolo Flúvico para a zona vadosa de outros tipos de aquíferos na região da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai no Mato Grosso. ....	62
Tabela 5.6 - Relação dos aquíferos testados, registros dos poços cadastrado no Banco de Dados do SIAGAS / CPRM, vazão final do teste de rebaixamento, profundidade e Método utilizado para o cálculo de condutividade e transmissividade hidráulica. ....	64
Tabela 5.7 - Transmissividade e condutividade hidráulica calculadas a partir de ensaios de bombeamento no aquífero Raizama. ....	67
Tabela 5.8 - Transmissividade e condutividade hidráulica calculados a partir de ensaios de bombeamento no aquífero Diamantino. ....	70

## RESUMO

A caracterização de aquíferos de dupla porosidade da região do Alto Paraguai no Estado de Mato Grosso é importante para o melhor entendimento do comportamento hidráulico de reservatórios com fluxos controlados, simultaneamente, por porosidade tipo intergranular e tipo planar. Os aquíferos de dupla porosidade Raizama e Diamantino são constituídos por metassedimentos deformados, de baixo grau metamórfico, distribuídos ao longo de uma faixa arqueada com direção nordeste-sudoeste e concavidade voltada para sudeste. Os reservatórios apresentam boa potencialidade como fonte alternativa para abastecimento público e privado para consumo humano, para indústrias e para atividades rurais. A zona não saturada apresenta diminuição da eficiência da condutividade hidráulica vertical com o aumento da profundidade. As zonas saturadas apresentam direção de fluxos geralmente controlados por anisotropias, com baixa permeabilidade, e o armazenamento é condicionado à porosidade planar e intergranular. Nos aquíferos de dupla porosidade pode ocorrer a predominância de um ou outro tipo de porosidade. Sob um contexto geral, os aquíferos tem fluxo local, raso, que migra das áreas mais elevadas em direção às baixas, e fluxo intermediário com forte influência de anisotropias controladas por fraturas em maiores profundidades, em direção as porções topograficamente rebaixadas em um contexto regional. Quando comparados a aquíferos exclusivamente fraturados, os sistemas de dupla porosidade estudados apresentam menores rebaixamentos, capacidades específicas maiores e curvas de rebaixamento *versus* tempo, mais suaves e estabilizadas. Para as porções em que os aquíferos são considerados de dupla porosidade, a transmissividade e condutividade hidráulica são respectivamente, da ordem de  $10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s e  $10^{-7}$  m/s para o Aquífero Raizama, e  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s e  $10^{-7}$  m/s para o Aquífero Diamantino. A área de recarga mais importante está localizada na porção nordeste da área estudada em função da existência de áreas mais elevadas, relevo com padrão suave ondulado, solos com maior capacidade de infiltração e maiores precipitações médias anuais. A descarga principal ocorre por perdas laterais para o Aquífero Parecis e por contribuição aos afluentes do Rio Paraguai.

**Palavras-chave:** Aquífero Dupla porosidade, Fluxo subterrâneo, Formação Raizama, Formação Diamantino.

## ABSTRACT

The characterization of aquifers of double porosity of the Alto Paraguay region in the State of Mato Grosso, Brazil, is important for the understanding of the hydraulic behavior of groundwater reservoirs with flow simultaneously controlled by intergranular porosity type and fracture porosity type. The double porosity Raizama and Diamantino aquifers systems consist of deformed, low grade metamorphic sediments, distributed along a northeast-southwest belt with southeast concavity. These aquifers have good potential as an alternative source for public and private water human supply, to industries and to rural activities. The vertical hydraulic conductivity of the unsaturated zone decreased with increasing depth. Saturated zones flow direction is controlled by anisotropies, with low permeability, and the storage is conditioned by fracture and intergranular porosity. In double porosity aquifers it can be observed the predominance of one or another type of porosity. In a general context, the aquifers show local, shallow hydrogeologic flow, which migrates from the higher areas towards the lowlands. The intermediate hydrogeologic flow is strongly influenced by anisotropies controlled by fractures in greater depths, toward topographically depressions in the regional context. When compared to fractured aquifers, double porosity systems present lower drawdown, higher specific capacity and drawdown as a function of time curves smoother and more stabilized. For the portions where the aquifers are considered of double porosity type, the transmissivity and hydraulic conductivity are respectively on the order of  $10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s and  $10^{-7}$  m/s to the Raizama Aquifer, and  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s and  $10^{-7}$  m/s to the Diamantino Aquifer. The most important recharge area is located in the northeastern portion of the study area due to the existence of higher areas, wavy pattern relief, soils with higher infiltration capacity and higher average annual rainfall. The main discharge areas occur by lateral losses for the Parecis Aquifer and contribution to the Paraguay River tributaries.

**Keywords:** Double porosity Aquifer, groundwater flow, Raizama Formation, Diamantino Formation.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 Apresentação e Justificativas

O presente projeto de pesquisa atende a necessidade de gerar e difundir conhecimento hidrogeológico básico necessário para o desenvolvimento sustentável na região da sub-bacia hidrográfica do Alto Paraguai situada no estado do Mato Grosso. Também deverá apresentar importante contribuição para controle descritivo, quantitativo e qualitativo de alguns aquíferos presentes na região.

Devido ao grande crescimento econômico, que tem como base as atividades de agropecuária, o Estado de Mato Grosso tem enfrentado dificuldades para realizar gestão das águas utilizadas para irrigação. Muitos rios já se encontram com a capacidade de outorga esgotada, e dessa maneira, as formas alternativas para obtenção de água se voltam para a perfuração de poços nos aquíferos da região.

Apesar de na região existirem importantes trabalhos realizados com temática em hidrogeologia, estes, no geral, não focam a caracterização dos aquíferos sedimentares e metassedimentares proterozoicos com detalhamentos específicos de comportamento hidráulico. Comparando diferentes trabalhos de cartografia ou de diagnóstico podem ser notadas formas diferentes para a classificação e descrição do comportamento hidráulico para um mesmo tipo de aquífero.

O aprofundamento dos estudos é necessário para melhor entendimento sobre a descrição e disponibilidade hídrica destes aquíferos, gerando assim, conhecimento para consolidar políticas confiáveis de gerenciamento de recursos hídricos na região e embasar futuros trabalhos de pesquisa.

O desenvolvimento da presente pesquisa ainda se justifica na necessidade de se ampliar as discussões e o conhecimento sobre aquíferos de características hidráulicas mistas com porosidade simultaneamente intergranular e fissural.

### 1.2 Objetivo

O estudo tem como objetivo caracterizar os aquíferos sedimentares e metassedimentares proterozoicos da região do Alto Paraguai no Estado de Mato Grosso e gerar um modelo conceitual para subsidiar a gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Para tanto, foram integradas as seguintes metas que são consideradas objetivos específicos da pesquisa proposta:



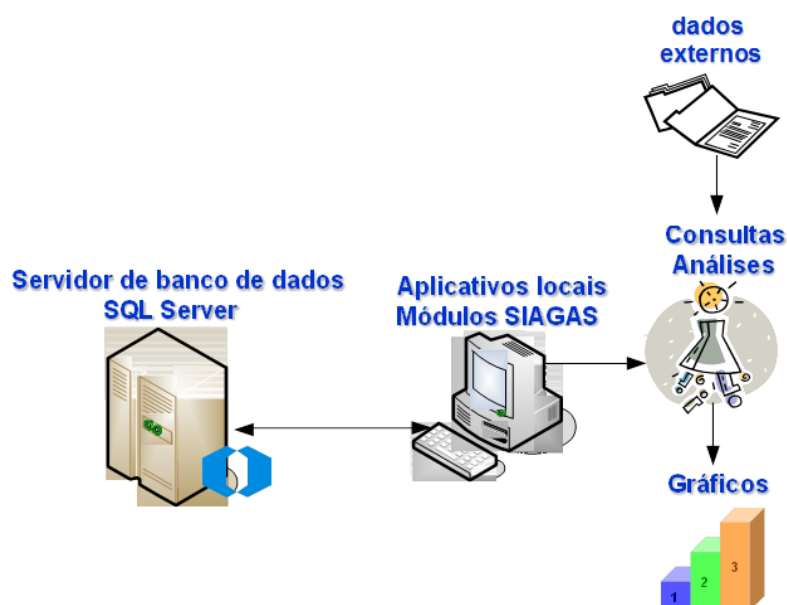
- Discussão sobre aspectos conceituais a respeito de aquíferos mistos ou de dupla porosidade;
- Descrição litológica e dimensional dos aquíferos associados às sucessões metassedimentares da região do Alto Paraguai;
- Determinação do tipo de porosidade, se intergranular (primária e/ou secundária) e/ou secundária planar (tectônica);
- Estudo do comportamento hidráulico, se livre ou confinado, descrevendo as formas de transmissão de água, formas de recarga e descarga, com determinação de parâmetros hidrodinâmicos; e
- Definição da potencialidade quanto a produtividade dos diferentes tipos de reservatórios para diferentes usos potenciais.

Os dados levantados deverão contribuir de forma significativa para embasar futuros trabalhos de pesquisa sobre cartografia e diagnóstico dos aquíferos sedimentares (inclusive paleozoicos) e metassedimentares proterozoicos, amenizando as controvérsias acerca das diferentes formas de classificação e descrição do comportamento hidráulico para um mesmo tipo de aquífero.

### **1.3 Materiais e Métodos**

Para alcançar os objetivos propostos foram necessários desenvolver os seguintes trabalhos em etapas de escritório e de campo:

- Coleta de dados e informações secundárias (publicadas ou não) - esta etapa visou ao desenvolvimento de um banco de dados com planos de informações georeferenciadas - foram levantados todos os dados referentes à área de estudo, bem como dados teóricos referentes à caracterização e classificação de aquíferos intergranulares, fraturados, cársticos, físsuro-cárstico e de dupla porosidade;
- Cadastro dos pontos d'água da região - para efetivar este cadastro foram integrados dados do SIAGAS / CPRM e dados obtidos durante os trabalhos de campo (Figura 1.1).



**Figura 1.1 - Padrão para tratamento dos dados descritivos e analíticos dos poços.**

- Tratamento dos dados descritivos e analíticos dos poços e tratamento dos dados de ensaios de bombeamento em softwares específicos para a determinação de parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos - para a determinação da condutividade e transmissividade hidráulica, foram utilizados dados de ensaios de bombeamento, e para a zona não saturada foram utilizados dados de ensaios de infiltração *in situ* realizados durante levantamento de campo. Para a zona vadosa foram aplicados ensaios do tipo anéis concêntricos e *open end hole*;
- Definição dos parâmetros dimensionais dos aquíferos - foram obtidos parâmetros como espessura, porosidade, porosidade efetiva, homogeneidade / heterogeneidade e demais propriedades físicas dos aquíferos estudados;
- Descrição de amostras de mão e de seção delgada - o estudo de lâminas em diferentes escalas de observação possibilitou a identificação dos diferentes tipos de porosidade (primária residual, secundária por dissolução, secundária tectônica, etc.);
- Desenvolvimento de modelo conceitual para os aquíferos locais - o modelo foi proposto a partir da integração de todas as informações geradas durante o desenvolvimento do trabalho e apresentou: aquífero (intergranular e/ou fraturado), sobreposição de aquíferos, sistemas de fluxos hidrogeológicos (local, intermediário e regional), áreas de recarga principais, áreas de descarga, entre outros aspectos conceituais dos aquíferos que possam representar sua funcionalidade;
- Cálculo de reservas hídricas estimadas - foram aplicados métodos tradicionais para estimativas de reservas hídricas dos aquíferos ou adaptadas equações já conhecidas para meios aquíferos distintos. Foram estimadas as reservas reguladoras, permanentes, totais

e de disponibilidades (reservas exploráveis);

- Proposição de Plano de monitoramento, com definição de periodicidade de amostragem e parâmetros a serem analisados - este plano determinou o monitoramento quantitativo e qualitativo dos aquíferos, isto é, a potenciometria e as análises químicas disponíveis; e
- Trabalhos de campo - todas as etapas de atividades anteriormente enumeradas foram precedidas e acompanhadas por trabalhos de campo na região da pesquisa. Tratam-se de trabalhos regionais para o levantamento de dados relativos a geologia, solos, geomorfologia e uso e ocupação da região. Os dados obtidos foram fundamentais para apoiar todas as outras fases, principalmente para as fases de interpretação e integração dos dados.

#### **1.4 Localização da Área de Estudo**

A Sub-bacia hidrográfica Alto Paraguai está localizada na porção norte da bacia Hidrográfica do Prata com aproximadamente 328.700 km<sup>2</sup> de abrangência, sendo descrita pela área de drenagem do alto rio Paraguai até a confluência do rio Negro (no Paraguai), e está incluída no território brasileiro em aproximadamente 53,1% no estado de Mato Grosso do Sul e 46,9% no estado de Mato Grosso. A área de trabalho está compreendida entre as coordenadas 14° 6' 23,515" S e 16° 44' 10,336" S de latitude e 57° 57' 52,144" W e 55° 47' 32,814" W de longitude, correspondendo a 67.764 km<sup>2</sup> numa parte da porção norte da Sub bacia hidrográfica Alto Paraguai e porção centro-sudoeste do Estado Mato Grosso (Figura 1.2).

Os sedimentos e metassedimentos proterozoicos na área do Alto Paraguai dentro do estado de Mato Grosso pertencem a Faixa Paraguai da Província Tectônica Tocantins. Juntos afloram na área de trabalho em aproximadamente 12.150 km<sup>2</sup> e constituem reservatórios de água subterrânea de considerável potencial numa região em que sua disponibilidade é de fundamental importância para a continuação do crescimento das atividades econômicas.

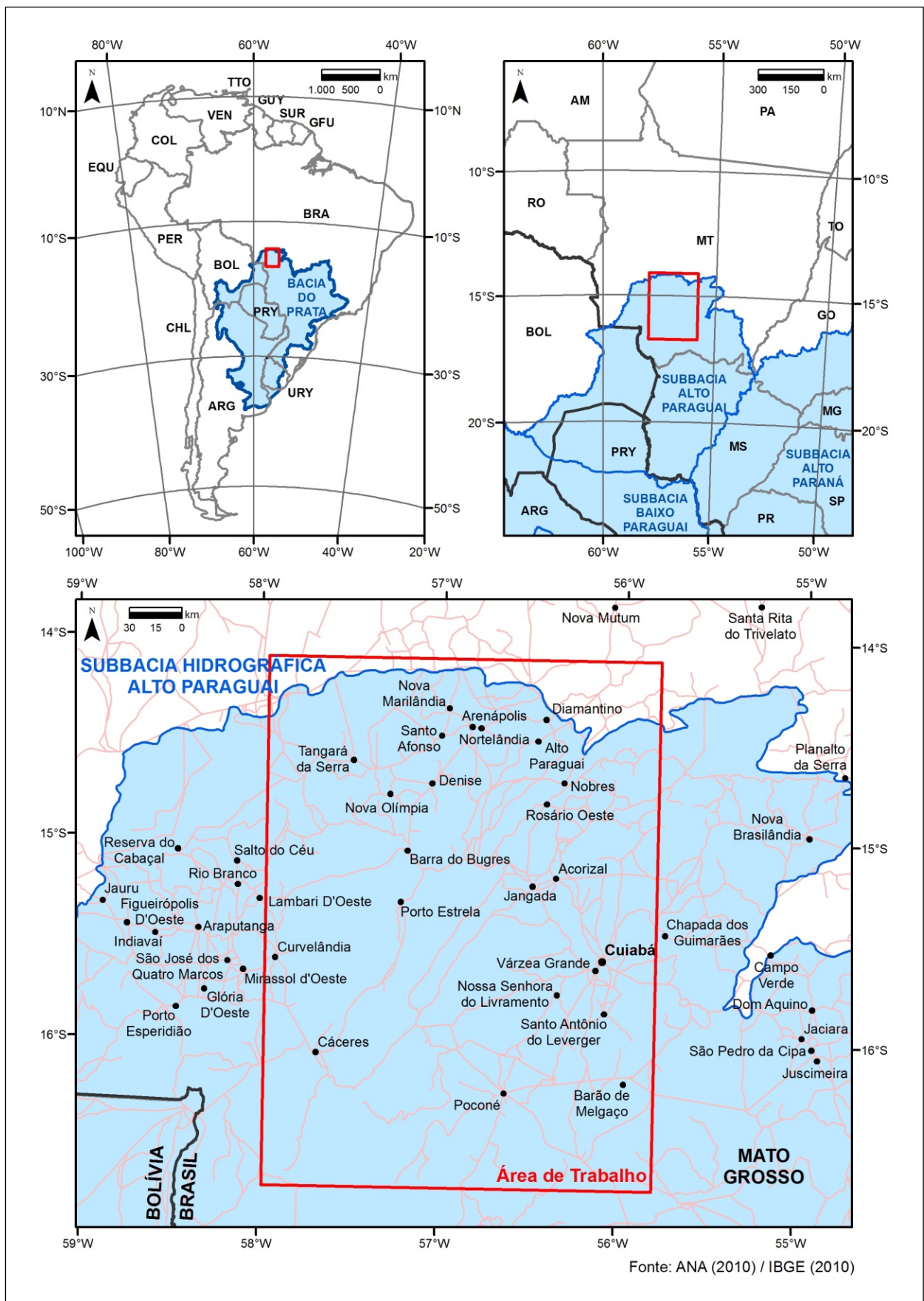


Figura 1.2 - Localização da área de trabalho, na Sub Bacia Hidrográfica Alto Paraguaí no Estado Mato Grosso.

## CAPÍTULO 2

### REFERENCIAL TEÓRICO

#### 2.1 Conceitos de Aquíferos

Segundo Custodio & Llamas (1983) um aquífero, ou reservatório subterrâneo, é um estrato ou formação geológica que permite a circulação de água através de seus poros ou fissuras, e que o homem possa explorar em quantidades economicamente significativas para atender às suas necessidades.

O conceito proposto por Custodio & Llamas é atualmente considerado ultrapassado, uma vez que o aquífero inclui não apenas a porção com importância econômica como reservatório, mas também a zona não saturada e zona de transição. A partir deste critério fica claro que o aquífero desempenha outras importantes funções além de um reservatório, incluindo a função filtro e reguladora que considera uma base mais ecológica de definição.

Os Aquíferos desempenham duas importantes funções hidráulicas: a de armazenamento e a de transmissão. Os interstícios e poros servem tanto para acumulação de água como para o seu movimento, funcionando como uma rede de condutos. Contudo, esse movimento é muito lento, de tal maneira que as velocidades podem ser medidas em centímetros ou metros por dia ou, mesmo, por ano, salvo em casos excepcionais, a exemplo das cavidades em rochas calcárias (Johnson Division, 1974).

#### 2.2 Classificação dos Aquíferos

##### 2.2.1 Classificação dos Aquíferos quanto à Morfogênese/ Tipo de Porosidade

A litologia do aquífero, ou seja, a sua constituição geológica (porosidade/permeabilidade intergranular ou de fissuras) é que irá determinar a velocidade média da água em seu meio, a qualidade da água e a sua qualidade como reservatório. O tipo petrográfico (litologia) é decorrente da sua origem geológica, que pode ser **sedimentar terrígena**: aluvial, fluvial, lacustre, eólica, glacial ou marinha; **sedimentar química** ou **bioquímica**: calcários, formações ferríferas bandadas e outras; **magnética**: plutônica, hipoabissal ou vulcânica e **metamórfica**: de origem metassedimentar ou metaígnea. O tipo de rocha, em última análise, é responsável pela determinação dos diferentes tipos de aquíferos (ABAS, 2013).

Aquífero poroso ou sedimentar - é aquele formado por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, onde a circulação da água se faz nos poros formados entre os clastos que podem ser fragmentos de rochas de diferentes tamanhos, grãos de areia, silte e argila de granulação variada. Constituem os mais importantes aquíferos, pelo grande

volume de água que armazenam, e por sua ocorrência em grandes áreas. Esses aquíferos ocorrem nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos. Uma particularidade desse tipo de aquífero é sua porosidade quase sempre distribuída de forma homogênea, permitindo que a água flua para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática ali existente. Essa propriedade é conhecida como isotropia do aquífero.

Aquífero fraturado ou fissural - formado por rochas ígneas (plutônicas e vulcânicas) ou metamórficas, densas e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas e falhas, que são abertas devido a movimentos tectônicos ou por contração térmica (ex.: basaltos, granitos, gabros, veios de quartzo, etc.). A capacidade dessas rochas de acumular água está relacionada à quantidade de fraturas, tamanho, aberturas e intercomunicação, permitindo a infiltração e fluxo da água. Poços perfurados nessas rochas fornecem de poucos até dezenas de metros cúbicos de água por hora, sendo que a possibilidade de se ter um poço produtivo dependerá deste interceptar fraturas capazes de conduzir a água. Nesses aquíferos, a água só pode fluir onde houver fraturas, que, quase sempre, tendem a ter orientações preferenciais. São ditos, portanto, aquíferos anisotrópicos. Um caso particular de aquífero fraturado é representado pelos derrames de rochas vulcânicas basálticas, das grandes bacias sedimentares brasileiras que em função do fraturamento térmico e tectônico podem apresentar vazões de dezenas de metros cúbicos por hora. Outra exceção pode ser associada aos sistemas fraturados desenvolvidos em minérios de ferro (itabiritos ou jaspilitos fraturados e decompostos) que, via de regra, produzem dezenas de metros cúbicos por hora.

Aquífero cárstico (e fissuro cárstico) - formado em rochas calcárias ou carbonáticas (calcários, dolomitos, margas e mármore) onde a circulação da água se faz nas fraturas e outras discontinuidades (diáclases) que resultaram da dissolução do carbonato pela água. Essas aberturas podem atingir grandes dimensões, criando, nesse caso, rios e lagos subterrâneos. São aquíferos heterogêneos e anisotrópicos, descontínuos, com águas duras, com fluxo turbulento em canais.

### **2.2.2 Classificação dos Aquíferos quanto à Pressão**

Os aquíferos podem ser classificados de acordo com a pressão das águas nas suas superfícies limítrofes: superior, chamada topo, e inferior, chamada base, e também em função da capacidade de transmissão de água das respectivas camadas limítrofes: confinante superior e confinante inferior (Feitosa *et al.*, 2008).

O aquífero confinado, também chamado de reservatório submetido a pressão, ou aquífero artesian, é um tipo no qual a pressão da água no topo é maior do que a pressão atmosférica, com

toda espessura saturada e pode ser drenante ou não drenante. O não drenante é aquele cujas camadas limítrofes são formações geológicas impermeáveis (aquicludes) e o drenante é o aquífero no qual, pelo menos, uma das camadas limítrofes é semipermeável, permitindo a entrada e saída de fluxos.

No aquífero livre ou não confinado, não existe camada limitante na fase superior. Os aquíferos livres são aqueles onde o limite superior é a superfície freática, cuja posição é função do regime de fluxo subterrâneo e na qual todos os pontos da superfície se encontram a pressão atmosférica. Podem ser também drenantes ou de base semipermeável e não drenante de base impermeável. A forma da superfície superior do aquífero livre é denominada de superfície do nível de água. Essa forma vai depender em parte da topografia do terreno, tendendo, em geral, a acompanhar a conformação da superfície do solo. O limite superior do aquífero livre é definido pela própria superfície freática.

Aquífero suspenso é um caso especial de aquífero livre formado sobre uma camada impermeável ou semipermeável de extensão limitada e situada entre a superfície freática regional e o nível do terreno. Neste caso há duas superfícies potenciométricas: a suspenso de distribuição limitada e mais rasa e outra regional, com maior continuidade regional e mais profunda.

### **2.3 Propriedades Físicas e Hidráulicas dos Aquíferos**

A porosidade de um material é expressa pela razão entre o volume de vazios ou ocupado por ar e/ou água pelo volume total (Custodio & Llamas, 1983). Este conceito não expressa a quantidade total de água que um aquífero pode fornecer uma vez que parte deste volume será retido pela atração das moléculas, por tensão superficial e capilaridade. A quantidade que a unidade de volume do material fornece chama-se vazão específica e se relaciona à porosidade eficaz ou efetiva, e a quantidade que a unidade de volume retém chama-se retenção específica (Johnson Division, 1974).

Segundo Johnson Division, a propriedade de uma formação aquífera relacionada com a sua função de conduto ou canal é chamada de permeabilidade. O movimento da água entre um ponto e outro sucede sempre que entre esses se estabeleça uma diferença de pressão.

Em 1856, o engenheiro francês Henry Darcy, descobriu a lei que regula o movimento das águas subterrâneas medindo a vazão  $Q$  em função da permeabilidade dos materiais estudados e observou que este equivale a:

$$Q = K \cdot A \cdot (h_1 - h_2) / L, \text{ onde:}$$

$Q$  = vazão;

$K$  = Constante de proporcionalidade, também denominada de condutividade hidráulica;

$A$  = área de secção considerada ( $m^2$ );

$(h_1 - h_2)/L =$  gradiente hidráulico. Diferença de carga hidráulica por distância horizontal.

A condutividade hidráulica  $K$  é expressa por uma unidade de comprimento dividida por uma unidade de tempo como, por exemplo: m/s, m/dia ou cm/dia, etc. (Custodio & Llamas 1983, Freeze & Cherry, 1979 e Fetter, 1994). A condutividade hidráulica ( $K$ ), que aparece como coeficiente de proporcionalidade na lei de Darcy, depende de uma variedade de fatores físicos, como porosidade, distribuição e tamanho das partículas, forma das partículas, arranjo das partículas e outros (Todd, 1980). Como também é função das propriedades do fluido em consideração. A vazão do fluido transportado é diretamente proporcional ao peso específico do fluido e inversamente proporcional à viscosidade dinâmica do fluido ( $\nu$ ), a qual é a medida da resistência ao cisalhamento. A condutividade hidráulica pode ser expressa em m/d, m/s ou cm/s, e pode ser determinada utilizando fórmulas, métodos de laboratório ou ensaios de campo. Em geral, devido à atitude do acamamento das rochas a condutividade hidráulica horizontal / subhorizontal é maior que na vertical.

O conceito de transmissividade foi introduzido por Theis em 1935, e é definido como a vazão que flui através de uma área vertical de aquífero saturado, de unidade de largura e de altura sobre um gradiente unitário a uma temperatura determinada (Custodio & Llamas, 1983). A transmissividade de um aquífero é igual à sua condutividade hidráulica multiplicada pela espessura saturada (Heath 1983).  $T = K \cdot b$ ; sendo  $T =$  transmissividade,  $K =$  condutividade hidráulica,  $b =$  espessura saturada, e  $T$  é expressa por uma unidade de comprimento ao quadrado dividido por uma unidade de tempo, por exemplo:  $m^2/dia$ ,  $m^2/s$ ,  $cm^2/s$ , etc.

O coeficiente de armazenamento ( $S$ ) é definido como o volume de água que um aquífero libera ou toma em armazenamento por unidade de área superficial do aquífero por unidade de variação em carga (Heath, 1983). O coeficiente de armazenamento é adimensional, e seus valores para aquíferos do tipo confinado são obtidos multiplicando a expansão da água liberada em metros cúbicos pela espessura em metros do aquífero, da ordem de  $10^{-5}$  a  $10^{-3}$ , e para os aquíferos livres, coincide com os valores de porosidade específica, variando entre 0,1 e 0,3.

## **2.4 Modelos Conceituais de Fluxo e Número de Reynolds**

Os diversos métodos de interpretação do comportamento do fluxo subterrâneo baseiam-se nos fundamentos da Lei de Darcy associado aos princípios de conservação de massa e energia.

De acordo com o enunciado da Lei de Darcy, para fluxos de águas subterrâneas, a velocidade de escoamento é dependente do gradiente hidráulico, permeabilidade do material e da viscosidade da água. O grau de inclinação, gradiente hidráulico ( $\Delta h/\Delta L$ ), representa a razão entre o desnível ( $\Delta h$ ), diferença de potencial entre dois pontos, e a distância horizontal entre dois pontos ( $\Delta L$ ), de forma que, a velocidade de fluxo é diretamente proporcional a diferença de



potencial para uma distância lateral constante (Teixeira *et al.*, 2000).

A solução de Theis é uma das mais tradicionais para a análise do comportamento transiente de um aquífero confinado durante um teste de bombeamento para escoamento radial em sistemas homogêneos, isotrópicos e de extensão infinita. Utilizando um método gráfico de superposição de dados de campo com curvas padrão baseada na equação de Theis, é possível determinar a permeabilidade e o coeficiente de armazenamento do aquífero. Porém, quando fraturas são interceptadas por poços de bombeamento, o comportamento transiente do aquífero difere significativamente daquele previsto pela solução de Theis e deste modo uma abordagem diferenciada torna-se necessária (Fontenele *et al.*, 2010).

A escolha de um modelo conceitual adequado é fundamental para a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos a partir dos dados de ensaios de bombeamento, para os estudos de recarga do aquífero, de fluxo de contaminantes e migração de plumas de contaminação, para a determinação de vazões outorgáveis, dentre outros aspectos. Por outro lado, o uso do modelo conceitual inadequado pode resultar em modelos matemáticos incorretos, parâmetros hidráulicos sub ou superestimados, cálculos de rebaixamentos sub ou superestimados e erros na determinação do potencial quantitativo do aquífero (Oliveira, 2009).

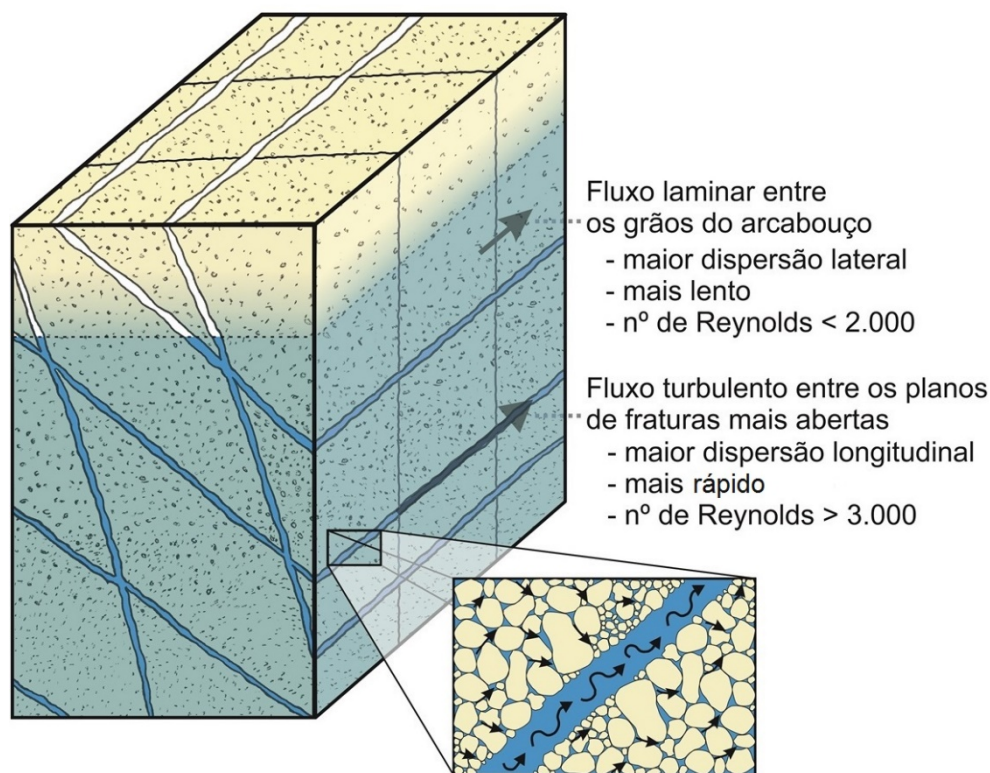
No modelo de porosidade intergranular o fluxo é dado por meios rochosos que têm em seu arcabouço grãos (clastos e/ou matriz), suportados e acomodados entre si, e que permitem a condução e armazenamento de fluidos através dos espaços vazios intergranulares conectados entre si. Neste modelo, a condição de fraturamento não é considerada ou não existe, e sendo assim, a quantificação do fluxo é dada unicamente pela porosidade existente entre os grãos.

Por outro lado, o modelo de fluxo por porosidade planar (fraturado), é dado por um meio em que a condutividade e o armazenamento de águas subterrâneas são dados exclusivamente por meio de estruturas planares (fraturas e falhas) em blocos rochosos com insignificante ou inexistente matriz porosa. Neste caso, o fluxo é quantificado exclusivamente por meio da porosidade planar, e sua intensidade dependerá da quantidade, densidade e conectividade de planos abertos. Pode ser analisados por duas abordagens: meio contínuo, em que hidráulicamente o meio fraturado se comporta como um meio poroso equivalente, e descontínuo, em que são considerados os fluxos em cada fratura individualmente.

O modelo de dupla porosidade (intergranular/fraturado) pode ser aplicado a meios rochosos, onde ainda persista porosidade intergranular primária residual, associada à porosidade secundária, com elevada ocorrência de planos de fraturas. O potencial de um sistema aquífero convergido por este sistema de fluxo será tanto maior quanto for à ocorrência da porosidade primária, ampliada pela porosidade secundária planar. No geral, o fluxo é quantificado primariamente através da porosidade planar e secundariamente através da interconexão

hidráulica existente entre grãos (Figura 2.1).

Para qualquer destes modelos, a zona saturada tem todas as aberturas interconectadas cheias de água que se movem numa direção controlada pelo gradiente hidráulico. O movimento na zona saturada pode ser tanto laminar como turbulento. No fluxo laminar, as partículas de água se deslocam de modo ordenado ao longo das linhas de fluxo. No fluxo turbulento as partículas de água se movem de modo desordenado, irregular, o que resulta numa completa mistura das partículas. Sob gradientes hidráulicos naturais, fluxo turbulento ocorre só em grandes aberturas tais como aquelas em cascalho, corridas de lava e cavernas de calcário. Fluxos são laminares na maioria dos depósitos granulares e em rochas fraturadas (Heath, 1983).



**Figura 2.1 - Representação esquemática da disposição e fluxo de um meio com dupla porosidade (integranular/fraturado).**

No fluxo laminar em meio granular, as diferentes linhas de fluxo convergem em estreitos espaços entre as partículas e divergem nos maiores interstícios. Assim, há alguma interdigitação das linhas de fluxo que resulta em dispersão transversal - ou seja, dispersão a ângulos retos em relação a direção do fluxo da água subterrânea. Também, diferenças na velocidade resultam da fricção entre a água e as partículas de rocha. A menor velocidade do movimento ocorre adjacente às partículas e a mais rápida velocidade ocorre no centro dos poros. A dispersão resultante é longitudinal - ou seja, na direção do fluxo (Heath, 1983).

A transição entre o fluxo laminar e turbulento foi definida por Osborne Reynolds em 1883, em que define um parâmetro ( $R_e$  - Número de Reynolds) em seu experimento, que

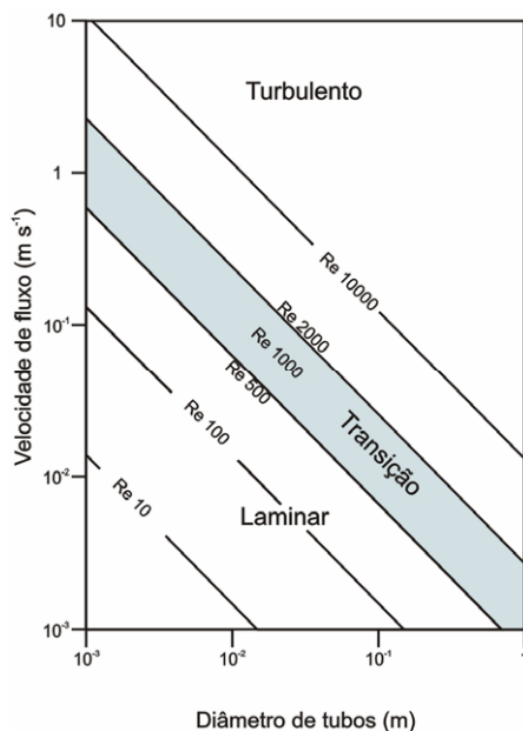
descreve resistência do meio ao deslocamento da água, sendo de utilidade na definição da faixa limite de validade da Lei de Darcy.

A equação básica que determina o número de Reynolds é apresentada como:

$$Re = (\rho \cdot v \cdot d) / \mu; \text{ onde:}$$

- $Re$  = número de Reynolds, adimensional;
- $\rho$  = densidade do fluido, em  $\text{kg/m}^3$ ;
- $v$  = velocidade média do fluxo, em  $\text{m/s}$ ;
- $d$  = diâmetro do canal ou tubo, em metros;
- $\mu$  = viscosidade do fluido, em  $\text{kg/s.m}$ .

Sendo assim, os valores para o número de Reynolds ( $Re$ ) variam conforme as velocidades de fluxo e os diâmetros de canais distintos (Figura 2.2).



**Figura 2.2 - Valores para o número de Reynolds (Re) em vários domínios diferenciados de velocidade e diâmetro de tubos, sob diferentes regimes de fluxo (Smith *et al.* 1976).**

Os modelos de fluxo esperados para os aquíferos sedimentares e metassedimentares proterozoicos da região do Alto Paraguai mapeados em superfície, são de aquífero intergranular, fissural, e de dupla porosidade, sendo este último o principal foco deste trabalho.

Nos modelos de aquífero de dupla porosidade (intergranular/fraturado), as fraturas são assumidas por possuir boa permeabilidade, mas baixa porosidade e capacidade de armazenamento. Somente as fraturas são capazes de produzir escoamento diretamente para um poço, enquanto que a matriz atua como a fonte armazenadora que fornece água para as fraturas (Bäumle, 2003).

Em reservatórios naturalmente fraturados, as fraturas podem possuir permeabilidades de várias ordens de grandeza maior que o restante da formação, enquanto que sua porosidade pode

ser significativamente menor. Assim as fraturas controlam o fluxo de fluidos, enquanto os blocos são os responsáveis pelo armazenamento deste fluido (Reis, 1990).

A hipótese básica do modelo de dupla porosidade (intergranular/fraturado) é a de que o fluxo de fluidos ocorre exclusivamente nas fraturas. Os blocos de matriz são isolados entre si e limitados em toda a sua extensão pelas fraturas, estando distribuídos uniformemente ao longo destas e atuando como fontes ou sorvedouros puntiformes (Lins Junior, 1991).

Segundo Fontenele (2010), para se considerar mecanicamente uma formação fraturada, precisa-se admitir a existência de um meio com dois componentes coexistentes – os blocos rígidos da matriz e fraturas as adjacentes, altamente permeáveis.

O modelo mais conhecido para aquífero livre de dupla porosidade é o que foi desenvolvido por Moench (1984), que é baseado na suposição do escoamento difusivo matriz-fratura que considera as condições de fluxo e armazenamento.

Segundo Costa Almeida (1985), o conceito de dupla porosidade deve ser utilizado para demonstrar que a existência de fraturas permeáveis (macrofraturas) faz com que o meio fissurado fique compartimentado em blocos que, por sua vez, possuem uma porosidade de poros e microfraturas. Os blocos caracterizam-se por armazenar, em geral, um maior volume de água, sendo pouco permeáveis, enquanto que as fraturas são mais permeáveis, mas contribuem pouco para a porosidade total. Sendo assim, o volume de água fornecido por estes meios provém fundamentalmente dos blocos, mas o fluxo é condicionado pelas fraturas.

Oliveira (2009) utilizou o modelo fluxo de dupla porosidade desenvolvido por Moench (1984) aplicando a aquíferos sedimentares psamíticos de ocorrência livre e fortemente litificados por cimentação por sílica em que o meio é considerado homogêneo e anisotrópico com fluxo variando de laminar a turbulento. Em seu trabalho descreve que o cimento resulta na diminuição da porosidade primária, e em função da maior litificação, o conjunto sofre maior influência do fraturamento, portanto, responde a um modelo hidráulico do tipo dupla porosidade, com espaço matricial não superior a 2 ou 3% e porosidade secundária planar com superfície potenciométrica coincidindo com o nível freático da água. Entretanto, esta superfície apresenta continuidade lateral menos evidente, sendo controlada por blocos tectonicamente deslocados. Sendo assim, a modelagem do fluxo por dupla porosidade é mais complexa, pois se deve avaliar o fluxo na porosidade matricial ou primária residual e ao longo das fraturas que pode variar de laminar a turbulento.

## CAPÍTULO 3

### DISCUSSÃO SOBRE AQUÍFEROS DE DUPLA POROSIDADE

#### 3.1 Pertinência do Termo

Embora a maior parte das descrições nos produtos de mapa hidrogeológico, livro didático, ou relatório técnico, distingam tipos de aquíferos quanto aos tipos de porosidade em apenas três grandes grupos, intergranular, fraturado e cárstico, trabalhos relacionados a comportamento hidrodinâmico de aquíferos podem demonstrar uma grande dificuldade de realizar um enquadramento simples com os rígidos limites conceituais estabelecidos por estes grupos. Os inúmeros contrassensos, acerca de classificações utilizando parâmetros físicos, podem indicar uma necessidade de uma nova divisão em mais grupos ou, pelo menos um melhor detalhamento mantendo os três grandes grupos e os subdividindo em subgrupos de características físicas e hidráulicas distintas.

Um exemplo bem conhecido de tratamento diferenciado para um destes grupos é dos aquíferos cársticos. Embora seja muito comum encontrar trabalhos que considerem estes aquíferos como um sistema simples que tem sua porosidade desenvolvida por dissolução química de carbonato de cálcio e/ou magnésio, também é comum encontrar trabalhos que ainda os subdividam em outra classe, a dos aquíferos fraturado-cársticos (ou fissuro-carsticos) (ex.: Lousada & Campos 2005). Esta terminologia é especificamente aplicada para sistemas em que ocorram lentes de rochas carbonáticas interdigitadas ou intercaladas a rochas menos permeáveis como lentes de calcários associadas a folhelhos ou lentes de mármore interdigitadas a filitos ou xistos. Para este exemplo, não é muito complicado entender, ou mesmo visualizar, que sistemas de fraturas e falhas existentes em um material carbonático potencializa o desenvolvimento de dissoluções ao longo dos planos de fraturas quando submetido à percolação de água. E sendo assim, o termo é associado a um tipo de comportamento misto, que é representado pela presença de fraturas com aberturas milimétricas a submilimétricas e de dissoluções cársticas que podem ter aberturas desde centimétricas até vários metros.

Sucessivamente, a existência de um comportamento misto, que não se enquadra exatamente em um dos três grandes grupos, mas sim parcialmente em pelo menos dois grupos, sugere no mínimo a possibilidade da existência de outros grupos de comportamento misto. No entanto, o que se tem encontrado nos trabalhos é que normalmente estes casos de enquadramento misto são classificados como aquele de comportamento que se entende (ou se considera) ser predominante.

São assim definidos comumente em trabalhos técnicos e livros didáticos os tipos: cárstico

(e/ou fraturado-cárstico), fraturado (ou fissural ou cristalino) e granular (ou intergranular ou poroso).

As generalizações, sobre a classificação, em muitos casos são aceitáveis, principalmente quando objetivam simplificar ou sintetizar a informação disponível. No entanto, qualquer trabalho que se adote tais simplificações não deve omitir as demais possibilidades, e de alguma forma deve registrar quais conceitos ou como são aplicados de forma simplificada.

Um exemplo de tipo de aquífero com comportamento misto que comumente é simplificado ou mesmo ignorado nos trabalhos de hidrogeologia, é o que apresenta simultaneamente porosidade intergranular e fraturada, que são geralmente chamados de aquíferos de dupla porosidade, ou poroso/fraturado, ou poroso/fissural. Este tipo de aquífero é capaz de armazenar e transmitir água através de sua porosidade primária intergranular e porosidade secundária planar, e mesmo dentro desse universo, existem aqueles que tendem a se aproximar mais de um dos seus extremos que são essencialmente intergranulares e essencialmente fraturados.

Assim, algumas simplificações surtem efeitos satisfatórios para aqueles casos de aproximação dos extremos, no entanto, aqueles casos em que se posicionam equilibradamente entre os dois tipos de porosidade, por exemplo: porosidade 50% primária intergranular e 50% secundária planar, comumente costumam causar estranheza, pois apresentam os dois comportamentos e dificilmente se enquadram de forma satisfatória em qualquer dos modelos individuais.

Conceitualmente o rótulo “dupla porosidade” pode chamar atenção, tendo em vista que o termo por si só não identifica quais são os tipos de porosidades, a exemplo de como se faz no caso de fraturado-cárstico. Esta forma de citar se popularizou bastante e é facilmente encontrada em alguns trabalhos. Outros autores preferem chamar de poroso/fissural ou poroso/fraturado. Ambos têm o mesmo significado, e se por um lado é estranho citar “dupla porosidade” em que não identificam quais são os tipos de porosidades, por outro lado não seria correto também citar poroso/fissural ou poroso/fraturado porque a porosidade é uma propriedade intrínseca de todos os aquíferos, restando assim a única forma verdadeiramente correta, que é intergranular/fraturado a qual é usualmente citada em trabalhos de pesquisa científica.

Ainda no âmbito da pertinência do termo podem-se utilizar exemplos para esclarecer esta discussão. O aquífero fraturado desenvolvido em rochas graníticas / ortognaissicas apresenta comportamento distinto de aquíferos fraturados desenvolvidos em quartzitos / metaconglomerados, pois no segundo grupo, além dos planos de fratura, ainda existem outras anisotropias planares como acamamento, discordâncias e clivagens não existentes em granitos e ortognaisses. De forma geral as rochas metassedimentares, mesmo em maiores graus

metamórficos apresentam comportamento aquífero mais favoráveis à transmissão da água, quando comparados aos sistemas associados a rochas cristalinas (granitos, gnaisses, granulitos, gabros, etc.).

### **3.2 Aplicação do Conceito de Aquíferos de Dupla Porosidade**

O modelo de dupla porosidade foi proposto pela primeira vez para descrever fluxos em meios porosos-fraturados na indústria do petróleo por Barenblatt *et al.* (1960).

De acordo com Barenblatt *et al.*, entende-se como meio de porosidade dupla aquele em que existem dois sistemas entrosados, um de blocos porosos, com permeabilidade baixa, mas com elevada capacidade de armazenamento, e outro de fraturas, com permeabilidade mais elevada em direções preferenciais, mas com escassa capacidade de armazenamento. Considera-se então que a porosidade total resulta da existência de dois tipos distintos: a porosidade correspondente aos blocos e a correspondente às fraturas.

Os meios porosos-fraturados foram considerados como compostos de dois sistemas que se sobrepõem, um representando uma rede de fraturas e o outro blocos porosos, portanto, dando origem ao termo "dupla porosidade" (Wong *et al.*, 2007).

É importante destacar que apenas podem ser considerados aquíferos mistos ou de porosidade intergranular/fraturada aqueles materiais que têm em seu arcabouço descontinuidades planares associadas aos espaços intergranulares. As descontinuidades planares podem ser materializadas por fraturas, juntas ou falhas e pelos planos de acamamento ou discordâncias. A porosidade intergranular pode ser representada por porosidade primária residual, porosidade secundária por dissolução de matriz ou cimento, ou porosidade secundária por dissolução de elementos do arcabouço. Desta forma, fica claro que a presença de solo sobre um maciço quartzítico sem porosidade residual não pode ser classificado como de dupla porosidade. Neste caso, se trata de dois aquíferos superpostos, sendo o superior do tipo intergranular e o inferior do tipo fraturado.

Um exemplo de utilização equivocada do conceito de dupla porosidade, é a aplicação do modelo para tratar dados de ensaio de bombeamento em estudos de caracterização de aquíferos desenvolvidos na camada superficial alterada de gnaisses e quartzos granodioritos, realizados por Fialho *et al.*, (1998).

Por outro lado, existem trabalhos como o Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil apresentados por Bomfim (2007), que o comportamento de dupla porosidade foi empregado de forma mais coerente em relação ao conceito, tratando grupos litológicos como sedimentos litificados e/ou silicificados de bacias sedimentares e parte de metassedimentos de baixo grau metamórfico de províncias tectônicas brasileiras como aquíferos

Porosos/Fissurais.

Outra aplicação do modelo de dupla porosidade, foi o seu emprego em estudos realizados por Zoltan *et al.*, (2009) para viabilizar análises de hidrodinâmica do aquífero Urucuia, no estado da Bahia, comprovando um maior favorecimento de permeabilidade vertical para sedimentos silicificados e fraturados.

### 3.3 Condições Hidráulicas

Os aquíferos constituídos por material com dupla porosidade no geral estão associados às sequências de rochas sedimentares com considerável litificação, cimentação e/ou sequências metassedimentares de baixo grau metamórfico.

Estes quando se aproximam da condição típica (porosidade 50% primária intergranular e 50% secundária planar) configuram reservatórios subterrâneos de meio heterogêneo e anisotrópico, de comportamento hidráulico variável e de complexa avaliação, conforme a forma de ocorrência da sucessão e empilhamento de fácies sedimentares, bem como o grau de litificação e de metamorfismo.

O armazenamento e a transmissão das águas em aquíferos de dupla porosidade se dão de forma complexa e distinta, pois apresentam características em comum (e simultaneamente) em relação aos modelos clássicos aplicados a sistemas intergranulares homogêneos e isotrópicos e fraturados heterogêneos anisotrópicos. Dentre as principais feições que podem ser utilizadas para distinção destes sistemas destacam-se:

- Capacidade de acumular e transmitir água conforme a ocorrência e quantidade de poros secundários planares (fraturas e/ou acamamento), permitindo a infiltração e transmissão de forma turbulenta, e potencializadas quando abertas e intercomunicadas (características comuns ao modelo conceitual de fluxo de aquífero fraturado ou fissural); e
- Capacidade de armazenar e transmitir água por meio de espaços vazios entre grãos do arcabouço, sendo que o fluxo preferencial da água ao longo da camada sedimentar aquífera ocorre de forma laminar (características comuns ao modelo conceitual de fluxo de aquífero intergranular).

Desta forma, os modelos clássicos de fluxos para aquíferos intergranulares homogêneos e isotrópicos e aquíferos fraturados heterogêneos anisotrópicos não podem ser aplicados como modelo conceitual para os aquíferos de dupla porosidade.

O cálculo de parâmetros hidrodinâmicos utilizando testes de bombeamento em poços tubulares, que captam reservatórios com fluxo por dupla porosidade, deve obedecer criteriosamente todos os parâmetros levantados comuns ao meio. Alguns softwares como



Aquifer Test versão 2014 da Waterloo Hydrogeologic Inc, já oferecem como método de cálculo o modelo de dupla porosidade. No entanto, mesmo sendo recente, e um dos poucos no seguimento que oferece a possibilidade do método, este considera o modelo dupla porosidade como um subtipo do modelo fraturado, o que não gera problema algum para o cálculo, mas pode levar o usuário a se sentir um pouco confuso.

No geral, os parâmetros hidráulicos dos reservatórios controlados por fluxo por dupla porosidade tende a ocupar uma condição intermediária em relação aos clássicos modelos de intergranular e fraturado. Se por um lado, o condicionante para desenvolvimento de estruturas planares notavelmente abertas é a diminuição dos espaços vazios (entre os grãos), por um cimento ou recristalização, diminuindo a capacidade de armazenamento, as fraturas desenvolvidas podem canalizar fluxos com maiores velocidades.

Num reservatório do tipo intergranular, os poços que bombeiam água proporcionam menores rebaixamentos do que em reservatórios do tipo exclusivamente fraturados. Isto acontece devido às zonas saturadas estarem melhores dispostas e homogeneamente saturadas nos meios intergranulares, ao contrário do que ocorre em reservatórios fraturados, que pode ter zonas aquíferas relacionadas a apenas um conjunto de fraturas restritas, sem qualquer comunicação hidráulica lateral ou vertical com o restante do aquífero, ou mesmo relacionadas a uma única fratura isolada.

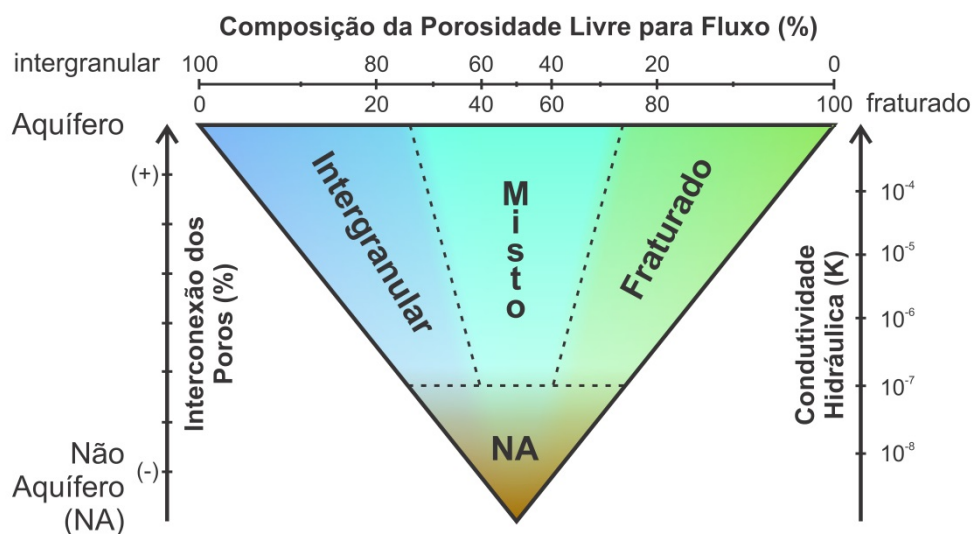
Sendo assim, os reservatórios com dupla porosidade admite uma forma intermediária entre modelos extremos, podendo apresentar comportamento de capacidade específica com valores intermediários, ou valores que ora se aproxima dos encontrados em aquíferos intergranulares, ora, dos valores verificados aquíferos fraturados, conforme a ocorrência em percentual dos dois tipos de porosidade.

### **3.4 Proposta de Enquadramento**

Tendo em vista a necessidade de um melhor enquadramento dos tipos de aquífero, neste trabalho será considerado, além das possibilidades de enquadramento classicamente utilizadas (intergranular, fraturada e cárstica), o tipo de dupla porosidade (intergranular/fraturado) (Figura 3.1). Os aquíferos desta natureza constituem aquelas rochas sedimentares como arenitos com considerável grau de litificação ou cimentação, e as sequências metassedimentares como quartzitos e metarritmitos de baixo grau metamórfico. Nestes metassedimentos, os planos de acamamentos são responsáveis por uma anisotropia planar bastante contínua em maciços psamíticos e até psefíticos.

O termo “porosidade livre para fluxo” utilizado na Figura 3.1 se refere à porosidade total, soma da porosidade matricial mais a porosidade planar (acamamento ou fraturas) que é livre para

o fluxo. Nesta proposta a porosidade livre para fluxo é equivalente à vazão específica aplicada a meios intergranulares.



**Figura 3.1 - Proposta para enquadramento dos tipos de aquíferos, quanto à porosidade.**

Os limites determinantes para enquadramento do tipo de aquífero de dupla porosidade não são matematicamente rígidos. Estes, na verdade, são definidos a partir da reunião de informações analíticas e descritivas que realmente comprovem a existência dos dois tipos de porosidade, incluindo:

- Descrições de afloramentos, amostras de mão e seção delgadas que identifique a existência de texturas e estruturas primárias e secundárias simultaneamente;
- Métodos de perfuração de poços tubulares que utilizam maquinários diferentes, sonda rotativa, a percussão e rotopneumática, conforme varia a natureza das camadas;
- Necessidade da utilização de revestimentos e filtros para manter a estabilidade das paredes do poço conforme o ocorre tipo de material;
- Ensaio de bombeamento com menores rebaixamentos e boas capacidades específicas, quando comparados a dados de ensaios em aquíferos exclusivamente fraturado; e
- Curvas de rebaixamento *versus* tempo mais suaves e estabilizadas, quando comparados a dados de ensaios em aquíferos exclusivamente fraturado.

São alguns exemplos de ocorrência de reservatórios de dupla porosidade:

- Aquíferos Furnas e Aquidauana, em algumas regiões próximas a borda norte-noroeste da Bacia sedimentar do Paraná, podem apresentar a porosidade dividida em aproximadamente 25% de porosidade secundária planar e 75% de porosidade primária intergranular;
- Aquífero Botucatu, na região de Mineiros, estado de Goiás, apresenta a porosidade

dividida em aproximadamente 20% de porosidade secundária planar e 80% de porosidade primária intergranular; e

- Aquíferos Raizama e Diamantino tem a porosidade extremamente variável, mas pode chegar em algumas áreas a proporção de 70% de porosidade secundária planar e 30% de porosidade primária intergranular.

Os aquíferos intergranulares são constituídos por rochas sedimentares com arcabouço (grãos, matriz, cimento e porosidade primária) favorável à transmissão de água entre os grãos, como por exemplo, arenitos e conglomerados existentes em bacias sedimentares paleo-mesozoicas, e excetuando aquelas condições em que haja ocorrência de cimentação (exemplo, sílica) e fraturamento. Além dos clássicos exemplos também constituem aquíferos deste tipo os depósitos de materiais arenosos e/ou cascalhosos inconsolidados, encontrados em aluviões ou bacias sedimentares cenozoicas, e alguns tipos de solos e mantos de alterações (considerados separadamente em relação à unidade subjacente) cuja importância em termos de potencialidade normalmente é mais reduzida em função de menores espessuras saturadas.

São alguns exemplos de ocorrência de reservatórios intergranulares:

- Aquífero Urucuia, a maior parte de sua expressão, ao longo de toda a sua distribuição, apresenta 100% de porosidade do tipo intergranular (Gaspar & Campos, 2007); e
- Aquífero Bauru na região de Araguari, estado de Minas Gerais em que cascalhos e areias não litificadas compõem o arcabouço dos reservatórios responsáveis integralmente pelo abastecimento urbano (Oliveira, 2003).

Por fim, serão consideradas como litotipos típicos de aquíferos fraturados as rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, densas, litificadas e maciças, onde haja transmissão de água por meio de fraturas, fendas e falhas abertas, excetuando aquelas condições em que ocorram baixo grau metamórfico para os metassedimentos.

São alguns exemplos de ocorrência de reservatórios fraturados:

- Aquíferos cristalinos do nordeste do Brasil que apresentam 100% da porosidade constituída por espaços secundários planares associados a fraturas; e
- Aquíferos de embasamento fraturados contendo granitos e gnaisses no estado de Goiás que apresentam espaços para transmissão de água relacionados a fraturas (Almeida *et al.* 2006).

### **3.5 Potencial para Abastecimento**

Regionalmente os reservatórios com comportamento de dupla porosidade (fraturado-intergranular) tem potencial de produtividade moderada. Embora considerando alguma variabilidade, conforme as possibilidades de variações geológicas (litológicas e estruturais),

climáticas (pluviometria) e de condições morfológicas do relevo, no âmbito nacional alguns destes reservatórios já constituem importantes fontes para abastecimento em centros urbanos, indústrias e áreas rurais de atividade agropecuária.

Comparativamente, estes reservatórios têm valores médios de parâmetros hidrodinâmicos inferiores àqueles do tipo essencialmente intergranular, e por outro lado, são melhores que os aquíferos exclusivamente fraturados de qualquer parte do embasamento cristalino (rochas plutônicas, vulcânicas, e metamórficas,) do Brasil, principalmente os da região Nordeste.

Um exemplo importante, e conhecido nacionalmente, é o do Sistema Aquífero Paranoá, que embora boa parte seja do tipo fraturado ou fraturado-cárstico, existe uma fração que tem a distinção de dupla porosidade (fraturado-intergranular) e que fornece os maiores volumes de água utilizando captação por bombeamento em poços tubulares na região do Distrito Federal e entorno. As vazões produzidas em poços a partir deste aquífero podem variar entre 10 a 50 m<sup>3</sup>/h onde predominam camadas e lentes de quartzitos intercaladas com metapelitos subordinados.

Outros exemplos de reservatórios com comportamento de dupla porosidade (fraturado-intergranular) podem ser verificados em parte da ocorrência do Aquífero Furnas (na Bacia do Paraná) e do Aquífero Serra Grande (na base da Bacia do Parnaíba), em que os poços apresentam as vazões variando de 5 a maiores que 100 m<sup>3</sup>/h. Estas variações extremas não são comuns em aquíferos exclusivamente do tipo intergranular ou do tipo fraturado. Em sistemas fraturados as vazões variam desde zero a valores inferiores a 40 m<sup>3</sup>/h, sendo os valores modais associados às menores descargas. Aquíferos intergranulares apresentam moda dos valores de vazões próxima aos valores de médias, e raramente ocorrem poços secos.

Estas variações são decorrentes das diferentes contribuições da porosidade matricial e planar. Nos casos em que há convergência das duas contribuições, nos sistemas de dupla porosidade, ocorrem as vazões consideradas anômalas. Quando a porosidade matricial é a principal e com valores reduzidos (menores que 8%) as menores vazões são observadas.

Outro argumento é relacionado à sensibilidade das características construtivas dos poços. Em sistemas exclusivamente intergranulares a posição dos filtros (por exemplo) não altera muito a vazão final. Para aquíferos mistos as seções filtrantes, posição da bomba, granulometria do pré-filtro causam um forte efeito sobre a produtividade dos poços. Quando os filtros não estão na zona de maior fraturamento em que os arenitos/quartzitos ainda contenham porosidade intergranular pode haver redução drástica da vazão potencial dos poços. Há ainda, na maioria dos casos, a necessidade de revestimento em zonas friáveis, o que não ocorre em poços de sistemas exclusivamente fraturados em que a rocha apresenta naturalmente maior coesão.

Os sistemas mistos têm potencial para abastecimento em diferentes sistemas de usos, incluindo abastecimento público, para consumo humano, e privado, como o setor de serviços

(industrial, lazer, paisagismo, uso pecuário e até para irrigação). A seguir são apresentados exemplos de usos em diferentes regiões e tipos rochosos.

### **3.5.1 Abastecimento Público**

O município de Rondonópolis no estado de Mato Grosso tem toda sua população, de aproximadamente 150.000 habitantes, abastecida pelo Aquífero Furnas (arenitos silicificados e fraturados paleozoicos). Neste caso os arenitos por apresentarem-se intensamente silicificados e compactados funcionam como aquífero simultaneamente intergranular e fraturado, com variação espacial da contribuição de cada tipo de porosidade.

Em Picos, estado do Piauí, toda a população de aproximadamente 80.000 habitantes é abastecida pelo Aquífero Serra Grande (arenitos e conglomerados clasto-suportados paleozoicos silicificados e fraturados que compõem excelente exemplo de aquífero de dupla porosidade).

No Distrito Federal e região do entorno, parte do abastecimento urbano para consumo humano é realizado utilizando o Aquífero Paranoá (unidades terrígenas com metamorfismo de baixo grau, como por exemplo, quartzitos e metarritmitos proterozoicos) que em muitos casos podem ser enquadrados como sistemas de dupla porosidade ou aquíferos mistos.

Na região do Alto Paraguai no Mato Grosso, os municípios de Diamantino e Alto Paraguai-MT, os Aquíferos Raizama e Diamantino podem ser utilizados como fonte alternativa para abastecimento público para consumo humano.

### **3.5.2 Uso para Lazer**

Em Jataí estado de Goiás o abastecimento de balneários de águas termais é realizado utilizando o Aquífero Aquidauana (arenitos silicificado e fraturados paleozoicos).

Na região de Barras do Garças, estado de Goiás, o abastecimento dos balneários de águas termais é realizado utilizando o Aquífero Furnas (unidades psamíticas e psefíticas) que recebem águas aquecidas de unidades mais profundas. Como se tratam de rochas intensamente silicificadas e fraturadas apresentam comportamento de aquífero de porosidade dupla.

### **3.5.3 Uso Rural**

Na região do município de Mineiros, estado de Goiás, há um grande número de granjas de avicultura que é abastecida pelo Sistema Aquífero Guarani (arenitos intensamente silicificado e fraturados mesozoicos) que naquela região apresenta atributos e funcionamento hídrico similar a sistemas de dupla porosidade.

Em Água Boa, estado do Mato Grosso, algumas atividades agrícolas utilizam poços que captam águas do Aquífero Diamantino (unidades terrígenas com metamorfismo de baixo grau,

como quartzitos e metapelitos fraturados do proterozoico) que apresentam funcionamento hídrico compatível com sistemas de dupla porosidade.

## CAPÍTULO 4

### CONTEXTO GEOLÓGICO

#### 4.1 GEOLOGIA REGIONAL

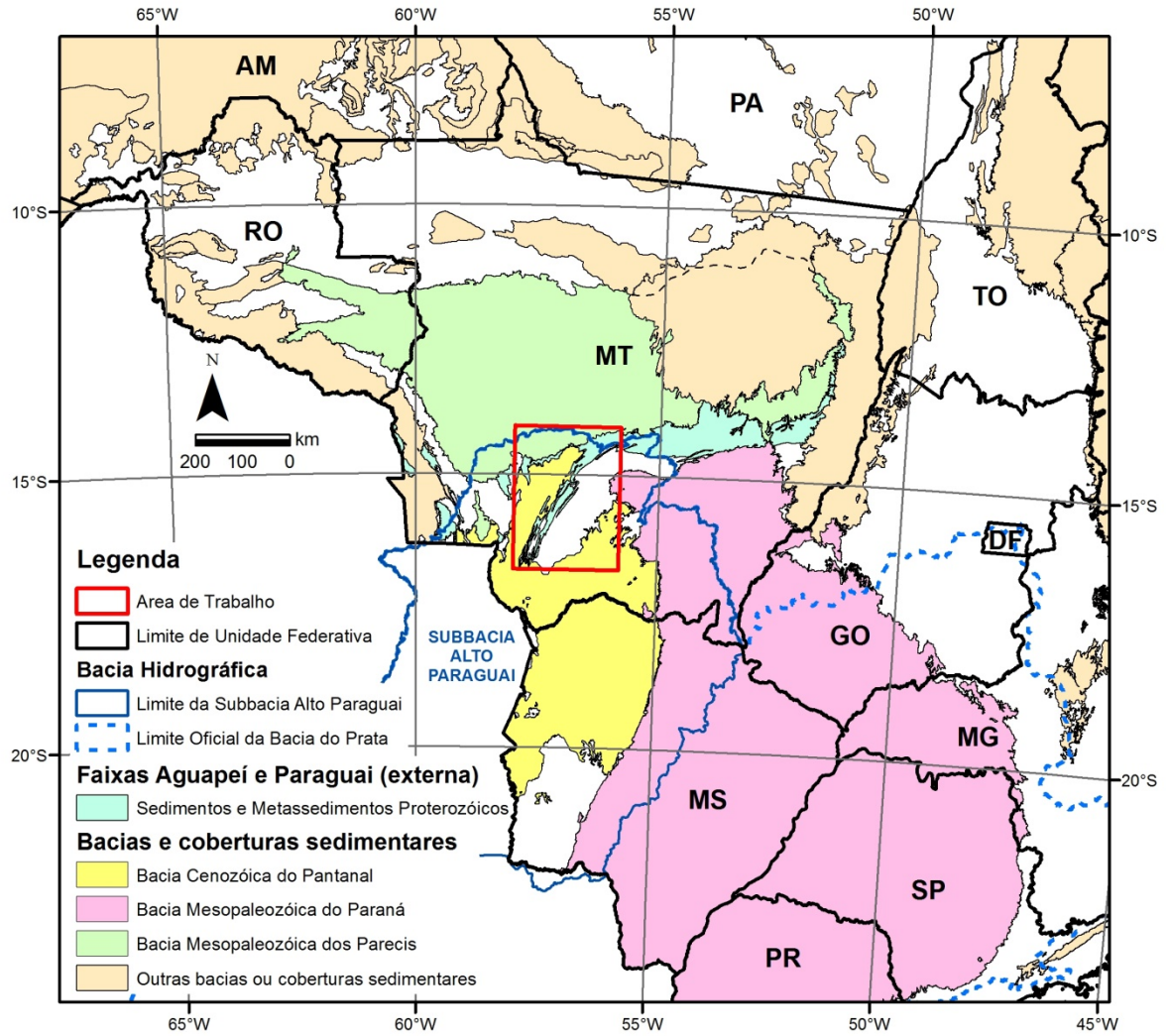
##### 4.1.1 Sedimentos e Metassedimentos Proterozoicos da Região do Alto Paraguai

A Sub-bacia hidrográfica Alto Paraguai está localizada na porção norte da bacia Hidrográfica do Prata com 328.700 km<sup>2</sup> de abrangência, sendo descrita pela área de drenagem do alto rio Paraguai até a confluência do rio Negro (no Paraguai), e está compreendida no território brasileiro em 53% no estado de Mato Grosso do Sul e 44% no estado de Mato Grosso (Figura 4.1 e 4.2).

Os sedimentos e metassedimentos proterozoicos na área do Alto Paraguai dentro do estado de Mato Grosso pertencem a Faixa Paraguai da Província Tectônica Tocantins e a Faixa Aguapeí da Província Tectônica Sunsás. Juntos afloram numa área de aproximadamente 38.200 km<sup>2</sup> e constituem reservatórios de água subterrânea de considerável potencial numa região em que sua disponibilidade é de fundamental importância para a continuação do crescimento das atividades econômicas.

A Faixa Alto Paraguai é uma entidade tectônica Neoproterozoica edificada na borda sul do Cráton Amazonas, que é caracterizada por uma sequência de rochas metassedimentares (grupos Cuiabá e Alto Paraguai, e formações Puga e Bauxi) e rochas metavulcano sedimentares (Unidade Nova Xavantina), e exibe-se na forma de arco com concavidade para SE, orientando na direção NE-SW no seu ramo norte e N-S no seu segmento sul, com extensão de 1.500 km e largura média de 300 km. Estende-se desde a região de Nova Xavantina, passando pelas regiões de Cuiabá e Província Serrana no Mato Grosso e seguindo até Bonito e Corumbá, no Mato Grosso do Sul. Outro ramo de direção NW-SE ocorre desde Corumbá ao interior da Bolívia, onde recebe a denominação de Cinturão Tucavaca. Esta faixa foi subdividida em zona interna (Grupo Cuiabá) metamorfisada e dobrada e tida como mais antiga e zona externa que engloba as formações Bauxi, Puga, Araras, Raizama e Diamantino (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

A síntese da estratigrafia é apresentada na Figura 4.3, entretanto, ainda há certa controvérsia relativa à correlação entre os grupos Parecis e Bauru, respectivamente representantes do neocretáceo das bacias do Parecis e do Paraná.



Fonte: DINIZ et al., 2014

**Figura 4.1 - Localização dos sedimentos e metassedimentos do Proterozoico e das Bacias sedimentares do Paraná, Parecis e Pantanal na área da Sub-bacia Hidrográfica Alto Paraguai no Mato Grosso.**







A Faixa Aguapeí situa-se na porção sudoeste do Cráton Amazonas e está associada à evolução tectono-termal mesoproterozoica de natureza ensiálica. Forma um cinturão NW-SE de aproximadamente 600 km por até 50 km de largura, representado principalmente por rochas metassedimentares do Grupo Aguapeí (1,28 - 0,95 Ga) (Figura 4.3). O padrão estrutural é dominado por transcorrências de cinemática dextral na porção sul, enquanto que na parte norte do cinturão predomina a tectônica tangencial de baixo ângulo; como resultado, têm-se dobras apertadas ou abertas em geral com eixos mergulhando para NW com constantes deslizamentos flexurais, rompimentos de flancos subverticais e foliação milonítica subverticalizada de direção N20° - 40°W onde predominou condições de metamorfismo da fácies xisto-verde (Lacerda Filho *et al.*, 2004). O Grupo Aguapeí foi deformado e metamorfoisado na fácies xisto verde durante a Orogenia Sunsás-Aguapeí (1,1 - 0,9 Ga.) é constituído, da base para o topo, pelas formações Fortuna, Vale da Promissão e Morro Cristalino (Saes, 1999).

## **GRUPO CUIABÁ**

Segundo Lacerda Filho *et al.*, (2004) o Grupo Cuiabá corresponde a uma sequência de metassedimentos dobrados, cujo desenvolvimento está relacionado ao ciclo Pan-Africano/Brasiliiano, e que de forma geral é constituído por filitos, filitos grafitosos, filitos conglomeráticos, margas, metaconglomerados, metarcóseos, metarenitos, quartzitos, diamictitos, mármore calcícticos e dolomíticos, clorita xistos, metagrauvas, micaxistos, formações ferríferas e metavulcânicas máficas muito subordinadas.

Apesar de existirem trabalhos recentes em áreas mais restritas que propõem subdivisões do Grupo Cuiabá em formações, membros, e/ou fácies, a descrição utilizada por Luz *et al.* (1980) é adequada para a área em estudo, considerando sua extensão regional, e subdivide o grupo em nove subunidades litoestratigráficas, denominando-as informalmente de 1, 2, 3, 4; 5, 6, 7, 8 e uma indivisa.

- Subunidade 1 - filitos sericíticos, com intercalações de filitos e metarenitos, algo grafitosos;
- Subunidade 2 - metarenitos arcoseanos, metarcóseos e filitos grafitosos, com intercalações de metarenitos e lentes de mármore calcíferos. Os filitos grafitosos mostram acamamento com preservação de estruturas sedimentares sob a forma de lentes estiradas isoladas (*wavy*) ou conectadas (*linsen*) de arenito muito fino;
- Subunidade 3 - filitos, filitos conglomeráticos, metaconglomerados, metarcóseos, metarenitos, quartzitos, com lentes de filitos e mármore calcíferos, além de níveis de hematita;
- Subunidade 4 - metadiamictitos petromícticos, com clastos de quartzo, feldspato,

quartzito, rochas graníticas e máficas, e raras intercalações de filitos e metarenitos;

- Subunidade 5 - filitos e filitos sericíticos, com intercalações e lentes de metarcóseos, metaconglomerados e metarenitos finos a conglomeráticos;
- Subunidade 6 - filitos conglomeráticos, metadiamicritos com clastos de quartzo, filitos e quartzitos, e intercalações subordinadas de metarenitos;
- Subunidade 7 - metadiamicritos petromíticos, matriz areno-argilosa, com clastos de quartzo, quartzito, calcário, rochas máficas e graníticas, e raras intercalações de filitos;
- Subunidade 8 - mármore calcíticos e dolomíticos, margas e filitos sericíticos;
- Subunidade Indivisa - quartzitos, metarenitos, filitos e filitos conglomeráticos.

Quatro fases de deformações foram descritas para o Grupo Cuiabá as quais geraram, na Baixada Cuiabana, dobras fechadas, com flancos invertidos e isoclinais com mergulho 40/60NW e eixos com caimentos de até 15°NE, além de alinhamentos retilíneos, paralelos às direções do acamamento, caracterizados por falhas inversas com mergulhos de 45-50NW, que na região de Cuiabá são acompanhadas por veios de quartzo, com direções concordantes com a estrutura regional D1 e mergulho entre 25-40NW (Alvarenga & Trompette, 1993).

### **Formação Bauxi**

Figueiredo *et al.*, (1974) subdividiram-na em dois membros: Inferior, que compreende uma sequência de metassiltitos, metargilitos e folhelhos, finamente estratificados, metarcóseos e metagrauvas; e Superior, constituído de metarenitos ortoquartzíticos, com níveis conglomeráticos. São descritas também camadas de arenito muito fino e silito de cores esverdeadas, camadas de arcóseo médio a grosso, lenticulares, amalgamadas entre si. Ainda são identificadas laminações cruzadas acompanhando a geometria das camadas, e laminações onduladas e cruzadas *hummocky* em arenito fino intercalado a pelito cinza claro.

Os litotipos da Formação Bauxi ocorrem em estreitas faixas de direção NW-SE, com espessura média de cerca de 1.200 metros, localizadas na serra Rio Branco, a noroeste de Cáceres. Segundo Ribeiro Filho *et al.*, (1975) essa unidade apresenta fraco metamorfismo, mostrando dobras amplas e abertas e estruturas sedimentares como estratificação plano-paralela, cruzada e marcas onduladas.

### **Formação Puga**

Alvarenga (1988, 1990) denominou-a de Unidade Média, Turbidítica Glaciogênica, situando-a na porção inferior da zona externa da Faixa Paraguai, na sua fácies Proximal.

Constitui-se de camadas de diamictito associadas a conglomerado matriz-suportado,

arenito, siltito e folhelho. Os conglomerados matriz-suportados contêm blocos e seixos de quartzitos, calcários, gnaisses, anfibolitos, granitos e riodacitos, dispersos na matriz (Ribeiro Filho *et al.*, 1975).

## **GRUPO ALTO PARAGUAI**

Ocorre na região centro-sul do Estado de Mato Grosso, conformando a unidade geomorfológica reconhecida como Província Serrana (Almeida, 1964) configurando uma faixa em forma de arco de aproximadamente 350 km x 30 km, de direção sudoeste/nordeste, situada na zona externa da Faixa Paraguai (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

### **Formação Araras**

Figueiredo *et al.* (1974) definiu a Formação Araras, dividindo-a em três níveis distintos: basal (margas conglomeráticas e calcários); médio (dolomíticos e intercalações de calcários calcíticos) e superior (dolomitos com nódulos de sílex e lentes de arenitos finos). Luz *et al.* (1978 e 1980) mantiveram a definição de Figueiredo *et al.* (1974) todavia, amparados em características litológicas, subdividiram-na em: Membro Inferior - margas com seixos e/ou conglomerados com matriz margosa, na base, passando a calcários margosos com intercalações de siltitos, argilitos calcíferos e calcários calcíticos e dolomíticos, no topo; e, Membro Superior - dolomitos com intercalações subordinadas de arenitos, siltitos e argilitos calcíferos com níveis de sílex e concreções silicosas.

### **Formação Raizama**

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, submaturas, 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 Serra do Tombador, mostra camadas lenticulares alongadas de quartzito-arenito a subarcóseos médios a grossos, por vezes caolínico, com estratificação cruzada tangencial e marcas onduladas assimétricas, no topo. 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 (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

### **Formação Diamantino**

Figueiredo *et al.* (1974) definiram a Formação Diamantino como 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. 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 onduladas e estratificações cruzadas de pequeno porte e baixo ângulo (Barros *et al.*, 1982).

### **GRUPO AGUAPEÍ**

Segundo Figueiredo & Olivatti (1974) o Grupo Aguapeí em sua seção-tipo no extremo sul da serra Aguapeí, foi dividido em três sub-unidades distintas: basal, composta por metaconglomerado oligomítico com intercalações de metarenito; média, formada por ardósias, filitos e metassiltitos; e superior, constituída por camadas de metarenitos feldspáticos, com finas intercalações de metassiltitos e, mais raramente, ardósias.

Souza & Hildred (1980) denominaram as rochas do Grupo Aguapeí dividindo em três formações: Fortuna, Vale da Promissão e Morro Cristalino. No Geral, as rochas clásticas configuram um relevo serrano, constituído pelas serras de São Vicente, Caldeirão, Pau-a-Pique, da Borda, Cágado, Salto do Aguapeí, Roncador, Santa Bárbara ou Aguapeí e Ricardo Franco.

### **Formação Fortuna**

Esta formação é composta por metaconglomerado oligomítico basal com seixos de quartzo e seixos de quartzitos subordinados, em matriz sericítica. Na serra de São Vicente, os conglomerados são sobrepostos por metarenitos e metapelitos avermelhados subordinados, constituindo um pacote sedimentar de mais de 1000 metros de espessura. Os conglomerados representam porções distais de leques aluviais. Os arenitos são essencialmente ortoquartzíticos, em geral micáceos, com menos que 5% de feldspato. Os grãos apresentam seleção e esfericidade de moderada a boa, predominando as formas subarredondadas sobre as angulosas. Petrograficamente foram descritos metaquartzo-arenitos, subarcóseos, sublitoarenitos, e quartzo

*wacke*. As estruturas primárias são representadas por estratificação cruzada acanalada e, subordinadamente, tabular. Ambas constituem sets com estratos de 0,5 a 5 centímetros de espessura, localmente com granodecrescência ascendente, as quais indicam depósitos fluviais do tipo dunas subaquosas e/ou barras transversais (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

### **Formação Vale da Promissão**

Constitui-se principalmente por metassiltitos, ardósias e metargilitos, além de metarenitos subordinados. Os metapelitos estão arrançados em sequências granocrescentes cíclicas. As estruturas frequentemente encontradas são do tipo lenticular, *flaser*, ondulada, brechas intraformacionais, gretas de sinerese, ondulações truncadas e estruturas diapíricas que são diagnósticas de ambiente marinho raso (Saes *et al.*, 1987).

### **Formação Morro Cristalino**

Compreende predominantemente quartzo arenitos, frequentemente seixosos, apresentando estratificações cruzadas tabulares, representativas de sistemas fluviais. Quartzo-arenitos finos são subordinados, com estratificações cruzadas festonadas de grande porte. A deformação das rochas desse grupo é heterogênea, onde as coberturas sedimentares mostram-se horizontalizadas na porção ocidental da serra Santa Bárbara e na região de Rio Branco. Na porção oriental da serra Ricardo Franco e central de Santa Bárbara ocorre um domínio de dobras abertas e simétricas. Na serra de São Vicente, as dobras tornam-se assimétricas com vergência para NE, com desenvolvimento de foliação de plano axial e clivagem de crenulação. A deformação é mais intensa nas serras de Pau-a-Pique, Salto do Aguapeí e Santa Rita, com dobras isoclinais invertidas, milonitização generalizada, além da paralelização e subverticalização das estruturas planares. Os planos axiais estão orientados para NW, com mergulhos variando para SW e NE. Falhas de empurrão de direção N60W limitam a borda oriental das serras Santa Bárbara e Azul. Transcorrências de cinemática dextral deformam as serras do Caldeirão e da Borda. O metamorfismo é progressivo de leste a oeste, passando de condições anquimetamórficas até a fácies xisto verde, nas serras do Salto do Aguapeí e Santa Rita (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

#### **4.1.2 Bacia Sedimentar Paleo-mesozoica do Paraná**

A Bacia do Paraná está distribuída geograficamente ao longo de uma extensa região, desde a porção extremo norte da Argentina, parte ocidental do Uruguai, e se estende em direção ao Brasil abrangendo boa parte da região sul (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná),

sudeste (Paraná, São Paulo e Mina Gerais), e até a região Centro-Oeste (Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso).

### **Formação Furnas**

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, como 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 (Assine, 1996).

Segundo Lacerda Filho *et al.* (2004), 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.

### **Formação Ponta Grossa**

Foi primeiro definido por Oliveira (1912) como folhelhos de cor cinza e intercalações de arenitos finos tendo com área tipo os arredores da cidade de Ponta Grossa-PR.

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 fissilidade, com níveis fossilíferos nos folhelhos (Lacerda Filho *et al.*, 2004).



## **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).

Esta unidade é constituída 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, caulínicos, 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 plano-paralelamente. Os grãos de quartzo mostram superfícies foscas e são envolvidos por uma película ferruginosa (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

## **GRUPO BAURU**

Embora esta unidade permaneça na categoria de Grupo, seu entendimento foi substancialmente modificado pelos trabalhos de Fernandes (1992), Fernandes & Coimbra (1994), Fernandes (1998) e Fernandes & 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 é 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 (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

### **Grupo Bauru Indiviso**

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).

Perfis realizados nas regiões da Fazenda Chafariz, Cachoeira do Bom Jardim, Dom Aquino e Poxoréo permitiram a consolidação da divisão proposta em quatro formações: Paredão Grande, Quilombinho, Cachoeira do Bom Jardim e Cambambe. Entretanto, estas unidades ainda

não foram individualizadas em mapeamentos de escala regional (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

#### **4.1.3 Bacia Sedimentar Paleo-mesozoica dos Parecis**

A Bacia dos Parecis, alongada na direção leste-oeste, está localizada na região centro-norte do Estado de Mato Grosso e no sudeste de Rondônia, no setor sudoeste do Cráton Amazônico, entre os cinturões de cisalhamento Rondônia e Guaporé (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

#### **Formação Tapirapuã**

Corrêa & Couto (1972) definiu a denominação Formação Tapirapuã para caracterizar uma série de derrames de basaltos toleíticos que afloram no município de Arenópolis na serra homônima. Almeida *et al.*, (1972) estudaram estes basaltos nos municípios de Barra do Bugres, Nortelândia e Alto Paraguai, classificando-os como basaltos andesíticos. Padilha *et al.*, (1974) no rio Jatobá, identificaram como sendo diabásio e rochas alteradas de aspecto brechoide, correlacionando-as com o Grupo Iporá, não descartando a possibilidade de correlação destas rochas com o derrame basálticos da Bacia do Paraná. Barros *et al.*, (1982) adotam também a denominação de Formação Tapirapuã e concluíram que os basaltos da serra de Tapirapuã representariam, provavelmente, as últimas manifestações do vulcanismo fissural que atuou no Brasil no limite Jurássico - Cretáceo.

São derrames vulcânicos básicos, normalmente constituídos por basaltos isotrópicos, de cor cinza-chumbo, nas bordas e, no centro por diabásios finos a médios, de composição toleítica. Os basaltos mostram estruturas amigdaloidais, disjunções colunares e são afetados por falhamentos gravitacionais pouco pronunciados e por um intenso diaclasamento. Ao microscópio os diabásios exibem granulação fina e textura ofítica típica. Sua espessura estimada oscila de 15 a 310 metros (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

#### **GRUPO PARECIS**

Padilha *et al.*, (1974) estabeleceu a primeira divisão do Grupo Parecis separando informalmente em eólico a parte inferior e aquoso a porção superior.

#### **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 argilo-arenosa 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 (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

Na porção basal, os clastos, nas frações grânulo a seixo, são da rocha vulcânica subjacente, composta por uma matriz afanítica com micro fenocristais de feldspato. As camadas com estratificação cruzada apresentam nítido contato erosivo com as camadas arenosas subjacentes. A presença de clastos de rochas vulcânicas nos arenitos conduz a duas interpretações: os clastos se originariam da Unidade Inferior ao Grupo Parecis na área (Basalto Tapirapuã - 167 Ma.). Neste caso a sedimentação seria coeva ao vulcanismo, ou seja, pós Jurássico Médio. Ou seria proveniente 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 (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

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 semi-consolidados 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 (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

### **Formação Utiariti**

Barros *et al.*, (1982) designaram a Formação Utiariti como os arenitos quartzosos da seção de topo do Grupo Parecis, tendo como seção-tipo a queda d'água Utiariti, 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 com matriz sendo facilmente desagregados e estruturas sedimentares como estratificação cruzada de pequeno porte e baixo ângulo, e formas acanaladas (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

#### **4.1.4 Bacia Sedimentar Cenozoica do Pantanal**

A Bacia do Pantanal, que é uma das maiores bacias intracratônicas cenozoicas do Brasil, possui cerca de 600 metros de espessura de sedimentos. A área-fonte dos sedimentos está a leste da bacia: trata-se de planaltos resultantes da erosão regressiva das rochas paleozoicas da Bacia do Paraná. A Bacia do Pantanal é uma vasta planície aluvial constituída por depósitos de leques aluviais de talude e lateritos ferruginosos, formados por sedimentos de natureza arenosa e siltico-argilosa com pouco cascalho (Almeida, 1964). Ela é caracterizada por inúmeros canais abandonados e pequenas lagoas (Rabelo & Soares, 1999).

#### **Formação Pantanal**

Oliveira & Leonardo (1943) denominaram de Formação Pantanal os depósitos aluvionares constituídos por vasas, arenitos e argilas de deposição recente que ocorrem no Pantanal Mato-Grossense.

Almeida (1959) caracterizou a Formação Pantanal como uma das maiores planícies de nível de base do interior do globo, ainda em processo de entulhamento, que influenciada pela orogenia Andina, teve seu desenvolvimento em ambiente fluvial e/ou flúvio-lacustre.

A Formação Pantanal é caracterizada por três fácies intimamente relacionadas a uma fase de retrabalhamento dos sedimentos fanerozoicos da Bacia do Paraná, com desenvolvimento de leques aluviais e superfície de aplainamento.

A Fácies Depósitos Coluvionares consiste na porção mais antiga, constituída por sedimentos detríticos, parcialmente laterizados, cascalhos, areias, siltes e argilas.

A Fácies Terraços Aluvionares, representa a porção intermediária, compreendendo fácies terraços aluvionares elevados, caracterizado como planície aluvial antiga, englobando sedimentos areno-argilosos, parcialmente inconsolidados e laterizados.

E a Fácies Depósitos Aluvionares, que compreende a porção do topo, constituída por sedimentos sub-recentes argilo-siltico-arenosos (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

#### **Coberturas Detrito-lateríticas Ferruginosas**

Ocorre em área aplainada, com interflúvios tabulares e associada 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 (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

## **Depósitos Aluvionares**

Constituem 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 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 (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

## **4.2 GEOLOGIA LOCAL**

Durante o período de levantamento de campo foram identificadas e descritas as principais unidades que possam apresentar algum tipo de comportamento como aquífero de dupla porosidade, ou seja, porosidade matricial primária intergranular e secundária planar simultaneamente.

### **Grupo Cuiabá**

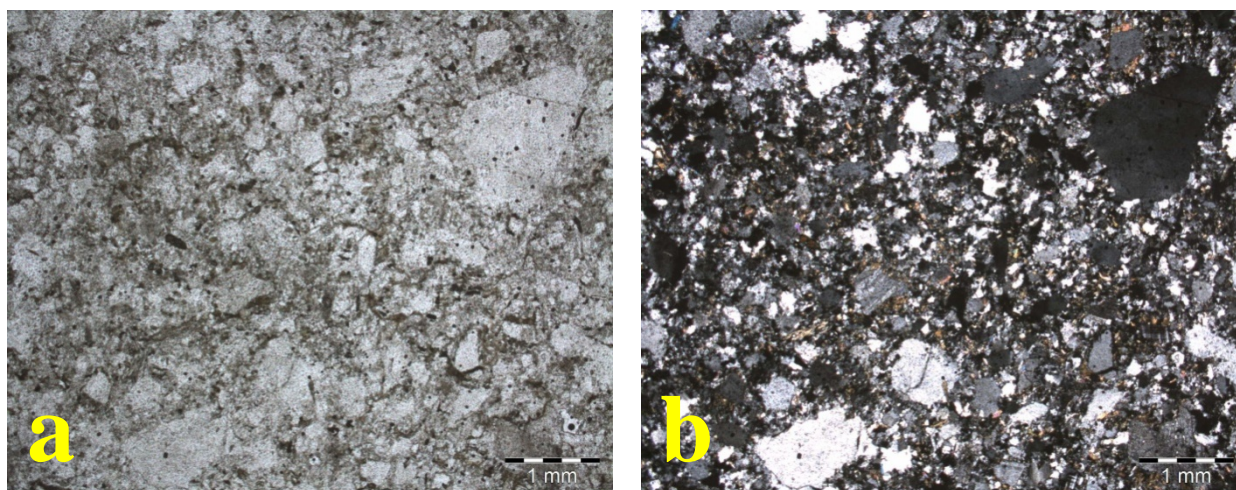
Na área de trabalho foram reconhecidos filitos e metadiamicititos, que correspondem a algumas das litologias mais frequentes dentre as subunidades do Grupo Cuiabá, e litotipos de metavulcânicas máficas, que apesar de sua ocorrência menos comum, também constitui parte da sequência metavulcanosedimentar.

Na região norte no município de Poconé, na rodovia MT-45, entre as localidades de Lavrinhas e Cangas, afloramentos (Ponto TP-AP-25) de filitos foram verificados com uma coloração predominante cinza, possivelmente em função da presença de matéria orgânica, com boa foliação de baixo ângulo de mergulho para NW, planos de fraturas e veios de quartzo em diversas direções, mas com considerável predominância das disposições verticais e por vezes ortogonal a foliação (Figura 4.4).



**Figura 4.4 - Filito cinza rico em matéria orgânica do Grupo Cuiabá. Mesmo se tratando de rocha metapelítica o fraturamento ortogonal à foliação ainda permite o desenvolvimento de aquífero fraturado de baixo potencial (UTM 521396 / 8229044).**

Além dos metassedimentos que predominam nesta unidade ainda ocorrem rochas vulcânicas de composição intermediária a ácida que ocorrem de forma subordinada (Figura 4.5). Nesta região (Ponto TP-AP-26), exposições de rochas metavulcânicas máficas com xistosidade proeminente podem ser observadas na rodovia BR-070 entre as localidades de Lavrinhas e Aranha indo em direção ao município de Várzea Grande.



**Figura 4.5 - (a) Seção delgada com nicol paralelo e (b) Seção com nicol cruzado mostrando cristais angulosos de tamanhos variados e inexistência de qualquer porosidade primária em metavulcânica do Grupo Cuiabá (UTM 514476 / 8245026).**

Já os afloramentos de metadiamicritos (Ponto TP-AP-27), além da evidente foliação desenvolvida, apresentam clastos angulosos de tamanho decimétrico compostos por materiais de natureza diversa como granito e filito. Estes foram verificados nas imediações da rodovia BR-163, entre as sedes dos municípios de Jangada e Rosário Oeste.



No geral, ocorrem em relevos ondulados a suave-ondulados como os presentes na Baixada Cuiabana. Mais restritamente, algumas ocorrências de rochas com geologia diferenciada do Grupo Cuiabá, como quartzitos ou metassedimentos de maior grau metamórfico, mostram-se com relevo montanhoso.

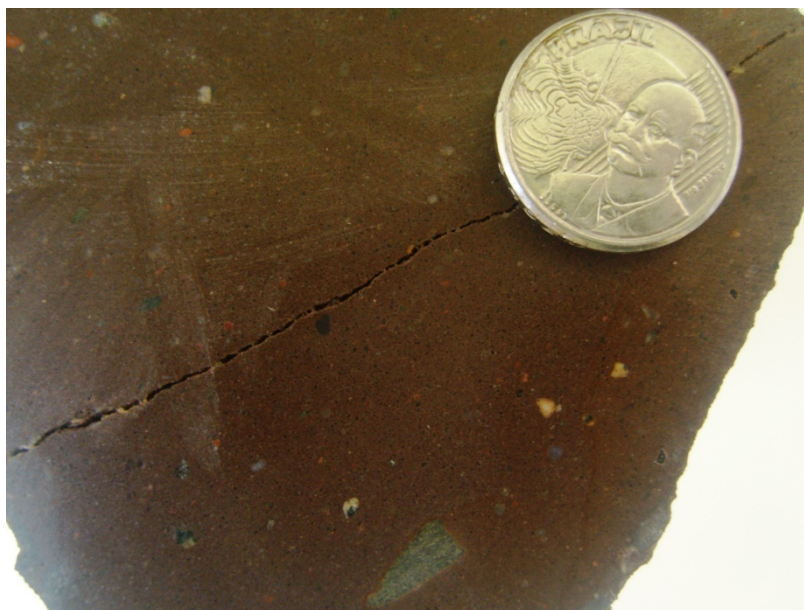
### **Formação Puga**

Apesar de serem restritas as áreas onde ocorrem afloramentos, pelo menos em dois locais foram observadas exposições da Formação Puga. A primeira no Ponto TP-AP-19, atravessando a Serra do Mangaval pela estrada BR-070 no município de Cáceres, mostra camadas de diamictito com estrutura regional anticlinal. A segunda, no Ponto TP-AP-29, foi observada na estrada MT-406 que acompanha a Serra do Tombador no sentido SSW e distante 37 km da sede do município de Jangada.

Em ambas as exposições os diamictitos se mostram com coloração cinza, verticalmente fraturado, e apresentando clastos maiores dispersos com geometria angular a subarredondada, com dimensão centimétrica a decimétrica, e mostrando composição de granito, quartzito, calcário e filito (Figura 4.6 e 4.7).



**Figura 4.6 - Diamictito da Formação Puga. Notar o clasto de quartzito intensamente fraturado (UTM 441459 / 8204132).**



**Figura 4.7 - Amostra de mão do diamictito da Formação Puga. Os clastos maiores apresentam tamanhos e composição variadas e a matriz com cimentação por sílica diminuído espaços vazios entre grãos. (UTM 526902 / 8296241).**

A Formação Puga, juntamente com a Formação Bauxi, se posicionam estratigraficamente acima do Grupo Cuiabá. As expressões de relevo geralmente são montanhosas e as exposições acompanham as demais unidades da Faixa Paraguai, que ocorrem dobradas com direção NE-SW e vergência para NW. O conjunto apresenta fraturas e falhas com direção ortogonal aos principais lineamentos estruturais, materializados por serras e cristas alinhadas (Figura 4.8).



**Figura 4.8 - Zona de fratura materializada pelo vale em V interceptando camadas de rochas metapsamíticas da Formação Puga na Serra do Mangaval (UTM 524145 / 8296875).**



## Formação Araras

Próximo a sede do município de Nobres, cerca de 5 km a norte pela estrada BR-163, afloramentos de dolomitos de coloração bege a cinza claro podem ser observados com fraturas predominantemente verticais a subverticais (Ponto TP-AP-01). No geral, estas fraturas encontram-se abertas e mostram cavidades de dissolução desenvolvidas ao longo de seus planos principais (Figura 4.9).

Para esta região onde ocorrem dobramentos, os afloramentos próximos às zonas de charneiras têm melhores condições para o desenvolvimento de fraturas em leque e carstificação moderada.

Inúmeras pedreiras são encontradas em áreas próximas, as quais são utilizadas para extração de rochas carbonáticas para produção de corretivos de pH dos solos, agregados, cal e aditivo de cimento. Algumas destas zonas de extração mineral aproveitam o membro superior da Formação Araras para extração de dolomito, e outras o membro inferior para retirar calcário de composição calcítica.



**Figura 4.9 - Dolomito de cor bege a cinza claro, intensamente fraturado e com pequena cavidade de dissolução que compõe sistema aquífero fissuro-cárstico no contexto da Formação Araras (UTM 573008 / 8375422).**

## Formação Raizama

Os litotipos desta formação mostram-se deformados por baixo grau metamórfico e descrevem uma extensa faixa de braquianticlinais e braquissinclinais de direção NE-SW. Em função da propagação do metamorfismo compressivo com sentido SE- NW, no geral, a porção interna da faixa apresenta fácies mais compactas, com crescimento secundário de quartzo, e

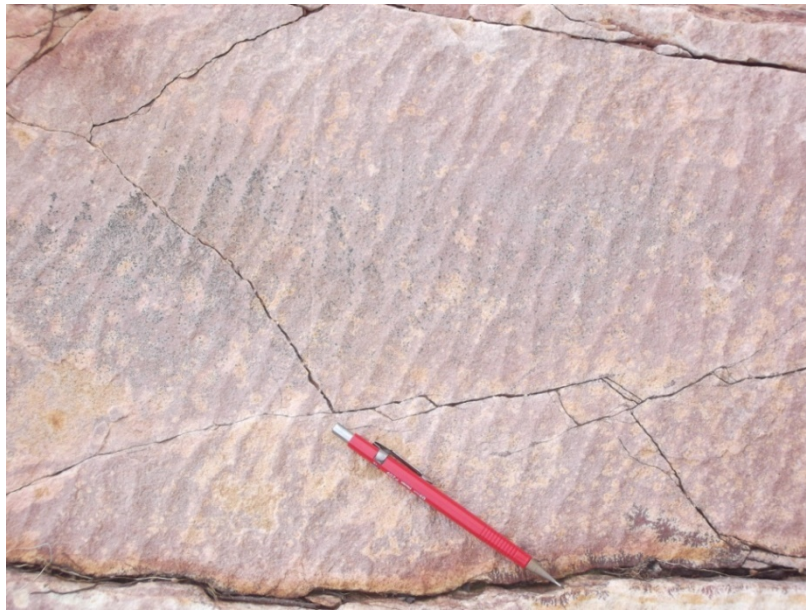
comumente mais fraturado. Já na porção externa, distados a norte e noroeste, os litotipos preservam mais as texturas primárias de sedimentação, e os planos de fraturas são menos frequentes.

No município de Nobres, a 13 km para norte pela rodovia BR-163 (BR-364), os afloramentos observados no Ponto TP-AP-02 mostram sucessões de camadas decimétricas de arenitos de cor clara a bege e granulação média com intercalações de pelitos e arenito fino arcoseano de coloração avermelhada.

As estruturas primárias encontradas são acamamento de baixo ângulo, 55°/310 (Figura 4.10), marcas onduladas simétricas (Figura 4.11), e estratificação cruzada tabular (Figura 4.12). Texturalmente, boa parte dos arenitos se mostram submaturados (Figura 4.13). Localmente, apresentam-se silicificados, onde fica mais evidente a presença de fraturas (Figura 4.14), que comumente são abertas ou podem estar preenchidas a partir de infiltração mecânica de argilas (Figura 4.15).



**Figura 4.10 - Exposição de sucessão psamo-pelítica da Formação Raizama. Este conjunto apresenta anisotropias determinadas pelos planos de fraturamento subverticais, além do acamamento com baixo ângulo de mergulho (UTM 578859 / 8382840).**



**Figura 4.11 - Marcas onduladas simétricas marcando o plano de acamamento da Formação Raizama (UTM 578859 / 8382840).**



**Figura 4.12 - Estratificação cruzada preservada perpendicular aos planos de acamamento da Formação Raizama (UTM 578859 / 8382840).**





**Figura 4.13 - Amostra de mão mostrando textura submatura e considerável porosidade intergranular primária residual nos arenitos da Formação Raizama (UTM 578859 / 8382840).**



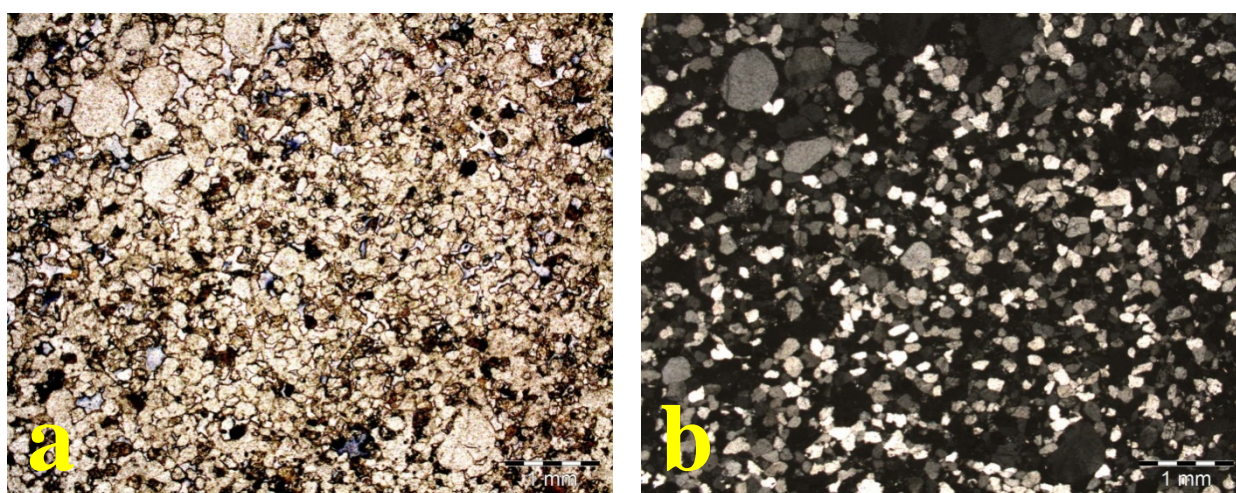
**Figura 4.14 - Amostra de mão mostrando pequenos planos abertos com alteração ao longo das paredes indicando percolação de água em uma porção silificada e de pouca porosidade residual matricial da Formação Raizama (UTM 578859 / 8382840).**



**Figura 4.15 - Fraturas subverticais preenchidas da Formação Raizama (UTM 578859 / 8382840).**

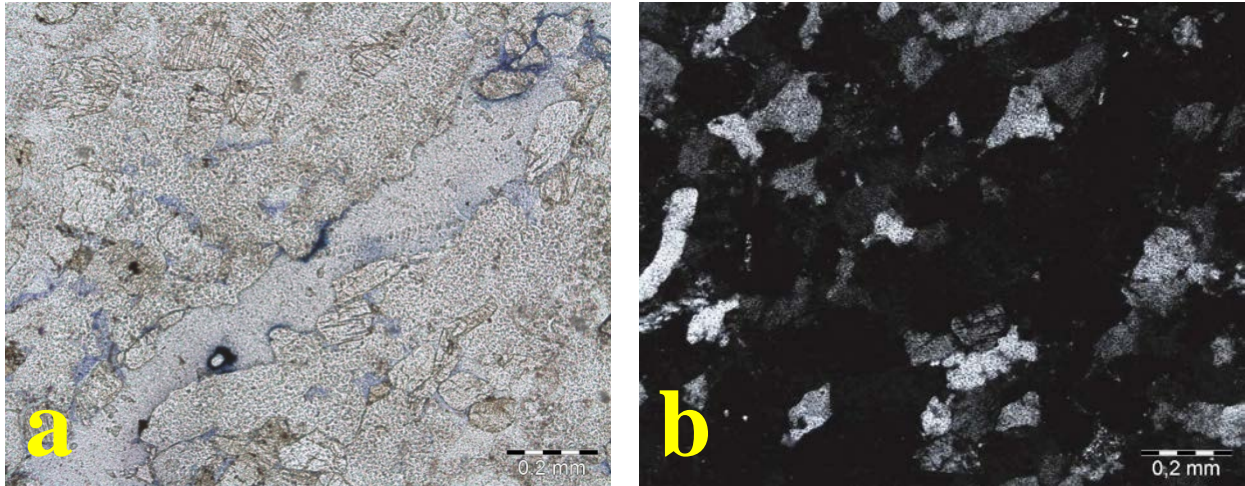
Nas seções delgadas produzidas a partir de amostras de diferentes sucessões as texturas primárias e secundárias podem ser facilmente identificadas. Em um mesmo afloramento (Ponto TP-AP-02) algumas camadas mostram seus clastos com considerável grau de arredondamento, ausência de recristalizações ou estiramento dos grãos (Figura 4.16), e em outras camadas mostram indícios de desenvolvimento de porosidade secundária geradas por microfraturas abertas e intersticiais em função da solubilização de cimentos e matriz (Figura 4.17).

Nas camadas onde os arenitos se mostram com certa friabilidade, seções delgadas mostram a existência da porosidade matricial de forma mais evidente em função do uso de corante azul para impregnação da amostra (Figura 4.2.18).

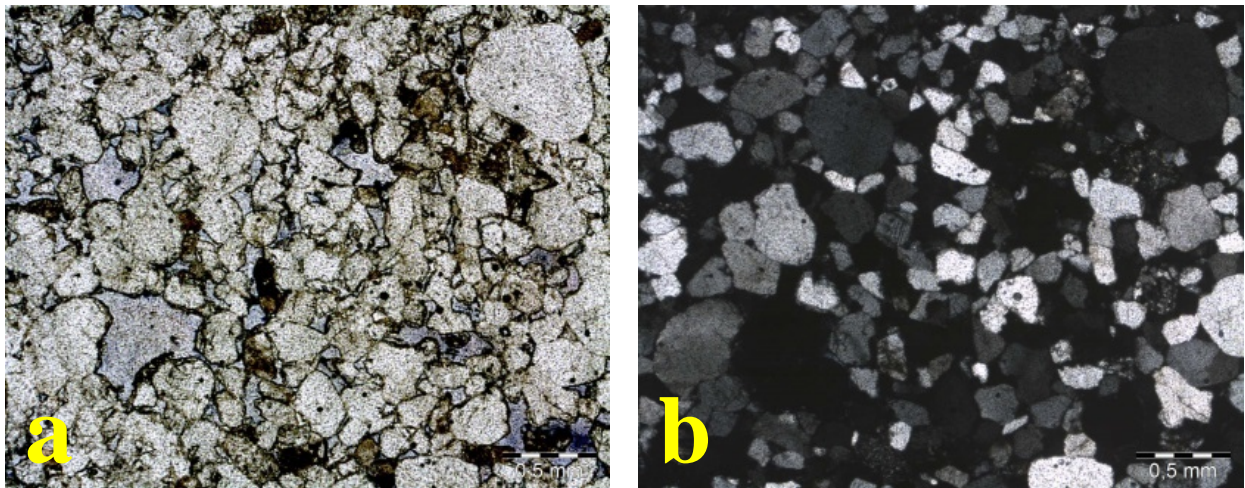


**Figura 4.16 - (a) Seção delgada com nicol paralelo mostrando textura primária submatura existente nos arenitos da Formação Raizama. (b) Seção com nicol cruzado mostrando os clastos com extinção uniforme (UTM 578859 / 8382840).**





**Figura 4.17 - (a) Seção delgada com nicol paralelo mostrando em destaque abertura secundária planar por microfratura existente em quartzitos da Formação Raizama. (b) Seção com nicol cruzado mostrando os clastos cristais recristalizados e com extinção ondulante (UTM 578859 / 8382840).**



**Figura 4.18 - (a) Seção delgada com nicol paralelo mostrando porosidade intergranular primária existente nos arenitos da Formação Raizama. (b) Mesma seção com nicol cruzado mostrando os clastos com extinção normal (UTM 578859 / 8382840).**

No município de Cáceres, em seção que atravessa a Serra do Mangaval pela rodovia BR-070, as exposições da Formação Raizama nos Pontos TP-AP-16, TP-AP-17, TP-AP-18 e TP-AP-20 constituem-se essencialmente de quartzitos e metarritmitos. Estas rochas apresentam cor bege a amarelado e róseo são dobrados com eixos de braquianticlinais e braquissinclinais alinhados segundo a direção N-S, além de ocorrerem intensamente fraturadas (Figura 4.19).





**Figura 4.19 - Quartzito com planos de acamamento horizontal descolados e intensamente fraturado verticalmente da Formação Raizama (UTM 448130 / 8203833).**

Planos abertos são frequentemente observados em superfícies de acamamento abertas por alívio de pressão (Figura 4.20) e fraturas abertas perpendiculares aos estratos primários (Figura 4.21). Estruturas primárias, como estratificação cruzada, são menos comum, mas podem ser encontradas de forma muito discreta (Figura 4.22).



**Figura 4.20 - Metapsamito que compõe aquífero de dupla porosidade em que a porosidade planar pode ser primária (plano de acamamento) ou secundária (plano de fraturamento), além da porosidade residual de caráter matricial (porosidade intergranular). (UTM 448130 / 8203833).**



**Figura 4.21 - Quartzito que compõe excelente reservatório do tipo dupla porosidade (aquífero misto) com fraturas subhorizontais de alívio e acamamento verticalizado (UTM 430578 / 8214438).**



**Figura 4.22 - Quartzito puro, limpo e maturo com estratificação cruzada preservada de forma discreta, descontinuidades planares e porosidade intergranular compondo um exemplo de aquífero de dupla porosidade (UTM 448130 / 8203833).**



## Formação Diamantino

Os litotipos desta formação constituem a parte mais jovem da extensa faixa de braquianticlinais e braquissinclinais de direção NE-SW. Apresentam variação de intensidade da deformação conforme a proximidade da fonte do calor do metamorfismo a situado a sudeste.

Nos Municípios de Diamantino, Alto Paraguai e Nortelândia afloramentos da Formação Diamantino podem ser observados ao longo do eixo da rodovia MT-240. Na seção superior no, Ponto TP-AP-33, ocorrem sequências de siltitos e folhelhos de coloração variando entre tons avermelhados e cremes, sendo finamente laminados e com estratos horizontais (Figura 4.23). Na porção basal (Pontos TP-AP-04 e TP-AP-32) são encontrados arenitos arcoseanos, de granulometria fina, normalmente muito litificados, de coloração rósea a avermelhada e com estratos horizontais plano-paralelos (Figura 4.24). Nos locais de extração do arenito para produção de paralelepípedos, a rocha apresenta alto grau de compactação e menor densidade de faturamento (Figura 4.25 e 4.26).

No município de Porto Estrela, distante 38 km ao sul de sua sede e próximo a Comunidade de Salobra Grande, afloramentos podem ser vistos ao longo da rodovia MT-343 mostrando pequenos lajedos de arenitos finos de cor rósea a avermelhado e composição arcoseana, e siltito avermelhado, sendo ambos em geral, intensamente fraturados (Pontos TP-AP-14 e TP-AP-15) (Figura 4.27). Em alguns trechos nesta mesma estrada podem ser observados inúmeros blocos decimétricos de arenitos com seixos de quartzo dispersos.



**Figura4.23 - Sucessão de pelitos laminados da Formação Diamantino (UTM 536276 / 8396485).**



**Figura 4.24 - Arenito arcoseano litificado com planos de acamamento horizontal da Formação Diamantino (UTM 523966 / 8402752).**



**Figura 4.25 - Local de extração de arenitos da Formação Diamantino. A porosidade é essencialmente matricial, tendo em vista a baixa ocorrência dos planos de fraturas (UTM 523966 / 8402752).**





**Figura 4.26 - Paralelepípedos amontoados próximos ao local de extração de arenitos da Formação Diamantino. Cada bloco constitui uma porosidade essencialmente matricial, sem a existência de qualquer porosidade secundária planar (UTM 523966 / 8402752).**



**Figura 4.27 - Arenito arcoseano verticalmente fraturado da Formação Diamantino. Além de intensamente fraturado contém porosidade matricial, evidenciado pelo seu caráter friável mesmo em amostras de rocha fresca (UTM 470881 / 8268302).**

## CAPÍTULO 5

# ENQUADRAMENTO DOS AQUÍFEROS DA REGIÃO DO ALTO PARAGUAI

### 5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Embora a área de trabalho compreenda inúmeros aquíferos, incluindo tipos variados quanto a porosidade (intergranular, fraturado, fraturado-cárstico e fraturado-intergranular), e distribuídos em diferentes compartimentos tectônicos e bacias (Faixa Paraguai da Província Tocantins, Faixa Aguapeí da Província Sunsás, e nas regiões das Bacias Sedimentares do Paraná, Parecis e Pantanal), as descrições a seguir estarão relacionadas a aquíferos algum potencial para desenvolver comportamento de dupla porosidade (do tipo fraturado-intergranular) correspondentes aos metassedimentos proterozoicos da Faixa Paraguai na Província Tectônica Tocantins.

### 5.2 CONTEXTO REGIONAL

#### Aquífero Cuiabá

A hidrogeologia do Grupo Cuiabá foi estudada por Migliorini (1999) na região de Cuiabá e Várzea Grande. O Estudo mostra que os aquíferos da região são do tipo livre, heterogêneo e anisotrópico. Encontram-se dois sistemas aquíferos, um intergranular (no manto de alteração), e outro no meio fraturado (na rocha).

Os poços perfurados nesta província apresentam produtividade heterogênea, que depende principalmente de trama, densidade, abertura e quantidade das discontinuidades geológicas, além da espessura do manto de alteração. Apresentam vazão que variam de 5 m<sup>3</sup>/h para um rebaixamento de 40 metros até poços com vazão de 100m<sup>3</sup>/h para rebaixamento de 25 metros. É um dos aquíferos mais explorados no estado de Mato Grosso onde se concentra cerca de 30% da população). Atualmente sofrem riscos de rebaixamento localizado e contaminação, uma vez que não há qualquer controle ambiental em sua exploração. Conforme dados de Migilorini *et al.* (2006) estima-se que atualmente na região da Grande Cuiabá já existam mais de 2.000 poços perfurados.

As águas, em geral, são de boa qualidade, com baixas concentrações dos principais íons, porém alguns poços apresentam concentrações elevadas de ferro (até 38,7 mg/L), cor (até 650 uH) e turbidez (até 100 uT). As concentrações elevadas de ferro são decorrentes da lixiviação do

solo laterítico e da pirita disseminada tanto nos filitos, quanto nos metadiamicritos. Os Valores elevados de cor e turbidez podem ser explicados pela alta concentração de ferro nestas águas aliadas ao mau nível técnicos de construção dos poços (Migilorini, 1999).

O aquífero fraturado Cuiabá apresenta importância hidrogeológica local relativa média e é relacionada à extensa área de distribuição deste sistema e do tipo de características de ocupação urbana. Atualmente esse sistema aquífero vem sendo muito explorado por meio de poços tubulares profundos para abastecimento d'água da população, principalmente da população da Região Metropolitana de Cuiabá.

O ângulo de mergulho da foliação dos xistos e demais rochas metassedimentares que compõem este sistema aquífero representa um controle efetivo do potencial em termos de produtividade dos poços. Há uma relação direta entre o ângulo de mergulho da foliação e vazão, pois no manto de intemperismo a porosidade é ampliada, o que facilita a percolação descendente das águas de recarga. Este sistema aquífero caracteriza-se pela presença de áreas com rochas metassedimentares aflorantes e área com manto de intemperismo espesso, que funciona como área de recarga.

Em alguns casos a restrita porosidade, que é observada nos tipos litológicos metapelíticos, em que predominam os de baixo ângulo de mergulho da foliação, este sistema se apresenta com baixo potencial hidrogeológico e elevada ocorrência de poços secos ou de muito baixa vazão. São aquíferos profundos com espessura saturada estimada que pode alcançar mais de 150 metros. A recarga é realizada essencialmente pela chuva, drenagem nas áreas de afloramento e transferência de água a partir das coberturas sedimentares e de solos (Rocha *et al.*, 2007).

Informações do cadastro do SIAGAS (CPRM – Serviço Geológico do Brasil) indicam a seguinte distribuição estatística para um conjunto de 693 poços: vazão média de 6,72 m<sup>3</sup>/h; capacidade específica média de 0,37 (m<sup>3</sup>/h)/m para poços com profundidade média de 104,67 metros.

### **Aquífero Bauxi**

O Aquífero Bauxi possui espessura da ordem de 190 a 340 metros (Alvarenga, 1984), e é do tipo livre, associado a zonas de fraturas e de extensão localizada. Suas condições de armazenamento e circulação das águas subterrâneas não são boas, estando condicionadas a litologia de siltitos, arenitos, folhelhos, argilitos, grauvacas e arcósios, e a trama de fraturas. Possui importância hidrogeológica pequena no estado de Mato Grosso (Migilorini *et al.*, 2006).

É descrito no trabalho de Rocha *et al.* (2007) como um aquífero do tipo granular e que normalmente está associado aos sedimentos das formações do Grupo Alto Paraguai.

Informações do cadastro do SIAGAS (CPRM – Serviço Geológico do Brasil) indicam a existência de apenas 1 poço com vazão de 13 m<sup>3</sup>/h; capacidade específica de 2,6 (m<sup>3</sup>/h)/m, e com profundidade de 100 metros.

### **Aquífero Puga**

O Aquífero Puga é do tipo livre, e devido às suas litologias (paraconglomerados, folhelhos, siltitos e arenitos) não mostra boas condições de armazenamento e circulação das águas subterrâneas. Possui importância hidrogeológica pequena no estado de Mato Grosso (Migilorini *et al.*, 2006).

É descrito no trabalho de Rocha *et al.* (2007) como um aquífero do tipo granular e que comumente está associado aos sedimentos da Formação Bauxi e Grupo Alto Paraguai.

Informações do cadastro do SIAGAS (CPRM – Serviço Geológico do Brasil) indicam a existência de apenas 2 poços com vazão média de 5,72 m<sup>3</sup>/h, capacidade específica média de 0,11 (m<sup>3</sup>/h)/m e com profundidade média de 118 metros.

### **Aquífero Araras**

Composto por sucessão de rochas carbonáticas o Sistema Aquífero Araras tem em seu membro superior a predominância de dolomitos, compondo desta forma aquíferos cársticos, e as melhores condições para armazenamento e circulação de águas subterrâneas, comparado ao seu membro inferior que é formado principalmente por calcários (Rocha *et al.*, 2007).

É um aquífero do tipo livre de extensão regional que tem a qualidade físico-química de suas águas relativamente boa, porém, é comum a ocorrência de águas carbonatadas em poços de pouca vazão. A produtividade dos poços é variável, sendo comum encontrar poços com vazões mais elevadas relacionados a cavernas, podendo chegar a vazões de até 80 m<sup>3</sup>/h, para rebaixamento de 30 metros. Possui importância hidrogeológica média a restrita no estado de Mato Grosso (Migilorini *et al.*, 2006).

O Aquífero fraturado Araras engloba as rochas carbonáticas do Grupo Alto Paraguai. Ocorre em estreitas faixas, de direção sudoeste-nordeste, em associação com as demais formações do Grupo Alto Paraguai. A presença de carstificação é restrita e o aquífero não apresenta feições típicas de sistemas fraturados ou de sistemas cársticos clássicos. As condições de circulação da água são intermediárias com relação ao sistema fraturado. Neste caso, não são desenvolvidas cavernas amplas, e os valores dimensionais de condutividade hidráulica devem ser baixos. A distribuição estatística de produtividade é sintetizada de um universo de 11 poços com vazão média de 5,72 m<sup>3</sup>/h, mediana de 5,81 m<sup>3</sup>/h e máxima de 14,40 m<sup>3</sup>/h. A capacidade específica média é de 0,39 m<sup>3</sup>/h)/m, para poços com profundidade média de 100 metros. A

recarga é realizada essencialmente pela precipitação pluvial, cursos d'água superficiais nas áreas de afloramento e coberturas de solos (Rocha *et al.*, 2007).

Informações do cadastro do SIAGAS (CPRM – Serviço Geológico do Brasil) indicam a seguinte distribuição estatística para um conjunto de 10 poços: vazão média de 6,84 m<sup>3</sup>/h; capacidade específica média de 0,39 (m<sup>3</sup>/h)/m para poços com profundidade média de 126 metros.

### **Aquífero Raizama**

O Aquífero Raizama é do tipo livre, possui porosidade primária (porosidade intergranular) e porosidade secundária (porosidade nas fraturas), possibilitando boas condições de armazenamento e circulação das águas subterrâneas, em função da ocorrência predominante de arenitos quartzosos (ortoquartzitos). As águas desta unidade são de boa qualidade físico-química. No geral, os poços têm profundidade de 150 a 200 metros, e as vazões variam entre 30 e 120 m<sup>3</sup>/h para rebaixamento entre 40 e 60 metros. Possui importância hidrogeológica pequena no estado de Mato Grosso (Migilorini *et al.*, 2006).

O Aquífero Raizama é descrito no trabalho de Rocha *et al.* (2007) como um aquífero do tipo granular que compreende parte do Grupo Alto Paraguai.

Informações do cadastro do SIAGAS (CPRM – Serviço Geológico do Brasil) indicam a seguinte distribuição estatística para um conjunto de 9 poços: vazão média de 5,45 m<sup>3</sup>/h; capacidade específica média de 0,40 (m<sup>3</sup>/h)/m para poços com profundidade média de 84 metros.

### **Aquífero Diamantino**

O Aquífero Diamantino é do tipo livre, e apresenta boas condições de armazenamento e circulação de águas subterrâneas quando associados a arcóseos. Suas águas são geralmente de boa qualidade físico-química, apresentando baixa mineralização total. Possui importância pequena no estado de Mato Grosso (Migilorini *et al.*, 2006).

No trabalho de Rocha *et al.* (2007) foi considerado como um aquífero do tipo granular que compreende parte do Grupo Alto Paraguai.

Informações do cadastro do SIAGAS (CPRM – Serviço Geológico do Brasil) indicam a seguinte distribuição estatística para um conjunto de 19 poços: vazão média de 7,19 m<sup>3</sup>/h; capacidade específica média de 0,31 (m<sup>3</sup>/h)/m para poços com profundidade média de 104 metros.

### 5.3 AQUÍFEROS DE DUPLA POROSIDADE

A seguir são apresentados os resultados dos estudos hidrogeológicos realizados na área de estudo, seguido da interpretação dos resultados e a determinação de parâmetros que permitiram, dentro do conhecimento atualizado, determinar a concepção do comportamento hidráulico e potencialidade dos aquíferos de dupla porosidade tendo em vista a importância do desenvolvimento dos recursos hídricos da região do Alto Paraguai para o estado do Mato Grosso.

#### 5.3.1 Caracterização da Zona Não Saturada

A infiltração da água é um dos mais importantes processos do ciclo hidrológico, principalmente por ser fundamental para a recarga de aquíferos e por ser afetada pelos usos e manejos as quais os solos são submetidos. Sua importância remete-se não apenas à infiltração da água da chuva nos solos, mas também, ao controle exercido sobre o comportamento de plumas de contaminação na zona vadosa dos aquíferos e sobre a função de regulação das vazões da rede de drenagem superficial. Depois que a água alcança a superfície dos solos, o processo de infiltração é governado em grande parte pela ação gravitacional e pelo potencial de umidade. A infiltração também é influenciada por outros fatores de ordem natural e antrópica. Os fatores de ordem natural incluem mineralogia, textura, estrutura, umidade inicial, presença de pedregosidade, porosidade e relevo, que são atributos relacionados ao tipo do solo e sua localização. Entretanto, existem fatores de ordens não naturais (ligados aos tipos de usos da superfície - compactação, impermeabilização, supressão da vegetação, etc.) que podem afetar negativamente os processos de infiltração da água nos solos (Gaspar *et al.*, 2007).

Na região do Alto Paraguai no estado do Mato Grosso, dentre as atividades desenvolvidas no ramo da agropecuária, tem destaque, para as áreas das bacias sedimentares dos Parecis, do Paraná e do Pantanal, a cultura de soja, milho e sorgo. A criação de gado é presente de forma mais evidente nas áreas da bacia sedimentar do Pantanal e dos terrenos metassedimentares da Faixa Paraguai (Província Tocantins) e Faixa Aguapeí (Província Sunsás).

Os solos encontrados são bastante variáveis conforme origem dos materiais e padrão do relevo que na área de trabalho é compartimentado basicamente em 6 tipos (Oliveira *et al.*, 1982 e Ross *et al.*, 1982):

- Região Serrana: caracterizada por dobramentos anticlinais e sinclinais alongados e onde ocorrem as formações Diamantino, Raizama e Araras. Nas partes mais aguçadas, com declives mais acentuados, predominam solos litólicos, enquanto nas aplainadas, com maiores cotas, a dominância é dos latossolos vermelho-amarelos, e em menores cotas, os solos podzolizados como argissolos e nitossolos;
- Depressão Cuiabana: predomina as litologias do Grupo Cuiabá, em que ocorrem



plintossolos concrecionários, onde o relevo tem forma tabular, solos litólicos com pedregosidade e rochosidade, nas formas mais aguçadas, e mais raramente, latossolos vermelho-amarelos e argissolos/nitossolos vermelhos, em áreas de relevo mais conservado;

- Depressão do Alto Paraguai: constituída por sedimentos quaternários do Pantanal onde ocorrem predominantemente latossolos vermelho-amarelos de textura média, e secundariamente argissolos vermelho-amarelos de textura média relacionados as litologias do Grupo Alto Paraguai próximos ao sopé das escarpas do Planalto Tapirapuã;
- Planalto Tapirapuã: formas tabulares relacionadas à Formação Tapirapuã e à Formação Salto das Nuvens estão relacionadas a solos do tipo latossolo vermelho distrófico e argissolos vermelho-amarelos álicos de textura média conforme a formação a qual estão sobrepostos respectivamente;
- Planaltos dos Guimarães: extensas áreas de relevos aplainados e uma sub compartimentação denominada Planalto Casca, apresentam latossolos vermelho-amarelos relacionados aos sedimentos do Grupo Bauru e Formação Botucatu; e
- Planalto dos Parecis: áreas com relevo plano a suave ondulado com cotas mais elevadas, como a porção sul da chapada dos Parecis, os solos são representados por latossolos vermelhos e tem origem relacionada aos sedimentos cenozoicos de cobertura detrítico-lateríticas e do Grupos Parecis.

Sendo assim, ensaios de infiltração foram realizados durante os trabalhos de campo com o objetivo de determinar os valores de condutividade hidráulica vertical na superfície dos solos e nos níveis 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 metros abaixo da superfície. Foram realizados 9 ensaios em solos da classe de Latossolo e 1 em solo da classe Neossolo Flúvico (ANEXO I), visando a determinação e comparação da condutividade hidráulica vertical da zona não saturada dos aquíferos Diamantino, Raizama, Araras, Cuiabá, Pantanal e Aluvionar na região da área de trabalho (Tabela 5.1).

Solo da zona não saturada	Aquífero	Tipo de aquífero (predominante)
Latossolo	Diamantino	Dupla porosidade (fraturado/intergranular)
Latossolo	Raizama	Dupla porosidade (fraturado/intergranular)
Latossolo	Cuiabá	Fraturado
Latossolo	Pantanal	Intergranular
Latossolo	Araras	Dupla porosidade (fraturado/cárstico)
Neossolo Flúvico	Aluvionar	Intergranular

**Tabela 5.1 - Relação das classes de solos da zona não saturada conforme aquífero e tipo de aquífero quanto ao tipo de porosidade predominante.**

Estes ensaios foram realizados a partir da injeção de água na zona não saturada dos aquíferos, utilizando os métodos Anéis Concêntricos e *Open End Hole*, e tem como objetivo avaliar o comportamento da infiltração da água verticalmente, possibilitando a avaliação do potencial superficial dos solos à recarga nos períodos de excedente hídrico.

### Anéis Concêntricos

Os ensaios de infiltração vertical na superfície realizados utilizando o método de Infiltrômetro de Anéis Concêntrico (Figura 5.1) tiveram tempo de duração de aproximadamente 45 minutos para cada teste e coluna de água de aproximadamente 20 cm, podendo variar em função da profundidade de cravação dos anéis no solo.



**Figura 5.1 - Ilustração de campo mostrando o desenvolvimento de ensaio de infiltração *in situ* do tipo Anéis Concêntricos e *Open End Hole*.**

Na zona vadosa dos sistemas aquíferos Diamantino e Raizama os latossolos apresentam em média condutividade hidráulica vertical em superfície com valores na ordem de grandeza  $10^{-5}$  m/s, podendo variar no máximo em uma ordem de grandeza para mais ou para menos (Tabela 5.2). Apesar de ser o mesmo tipo de solo, estas variações são atribuídas em função da maior presença de atividade de bioturbação por raízes de plantas existentes em solos naturais. A porosidade existente nos horizontes mais superficiais dos solos pode se tornar mais efetiva devido à formação de canalículos que servem de duto para o fluxo preferencial das águas.

Para regiões onde ocorrem os demais tipos de aquíferos, os latossolos também apresentam valores de condutividade hidráulica médios na ordem de  $10^{-5}$  m/s para a zona não saturada dos aquíferos Araras e Cuiabá, e  $10^{-6}$  m/s para o aquífero Pantanal. Na superfície do Neossolo Flúvico, a condutividade obtida foi da ordem de  $10^{-7}$  m/s, valor muito baixo, mas

compatível com a presença de horizontes superficiais com materiais finos e de certa proximidade da zona saturada do próprio aquífero (Tabela 5.3).

Aquífero (tipo de aquífero predominante)	Solo da zona não saturada	Ensaio (Ponto)	Anéis Concêntricos (Kv)
			Superficial
Diamantino (Dupla porosidade)	Latossolo	TP-AP-08	1,42E-04
	Latossolo	TP-AP-28	1,07E-05
Raizama (Dupla porosidade)	Latossolo	TP-AP-30	9,43E-06
	Latossolo	TP-AP-31	7,75E-05

**Tabela 5.2 - Condutividade hidráulica vertical – Kv (m/s) calculados a partir de ensaios de infiltração com os métodos Anéis Concêntricos em Latossolos para a zona vadosa dos Aquíferos de Dupla porosidade (fraturado/intergranular) da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai no Mato Grosso.**

Aquífero (tipo de aquífero predominante)	Solo da zona não saturada	Ensaio (Ponto)	Anéis Concêntricos (Kv)
			Superficial
Araras (fraturado/cárstico)	Latossolo	TP-AP-21 *	5,43E-06
	Latossolo	TP-AP-22	2,83E-05
Cuiabá (fraturado)	Latossolo	TP-AP-24	1,03E-05
Pantanal (intergranular)	Latossolo	TP-AP-09	1,50E-06
	Latossolo	TP-AP-10	9,22E-06
Aluvionar (intergranular)	Neossolo Flúvico	TP-AP-23 **	2,20E-07

**Tabela 5.3 - Condutividade hidráulica vertical - Kv (m/s) calculados a partir de ensaios de infiltração com os métodos Anéis Concêntricos em Latossolos e Neossolo Flúvico para zona vadosa de outros tipos de aquíferos na região da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai no Mato Grosso.**

Deve-se salientar que os valores obtidos pelo método dos anéis concêntricos representam as máximas capacidades de infiltração (condutividade hidráulica potencial máxima). Esta característica se deve ao fato de o ensaio ser desenvolvido sob uma carga hidráulica acima da superfície, ou seja, sob lâmina d'água saturada acima do terreno em que o ensaio é desenvolvido. O uso de outros métodos, como por exemplo, simulador de chuvas tende a reduzir os resultados (Costa *et al.* 1999).

### Open End Hole

Os ensaios de infiltração em profundidade realizados utilizando o método de Infiltrômetro *Open End Hole* (Figura 5.1) também tiveram tempo de duração de aproximadamente 45 minutos, e as colunas de água com altura proporcional a profundidade de cada nível testado (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 metros).

A partir dos resultados dos ensaios realizados para a zona não saturada dos sistemas

aquíferos Diamantino e Raizama, foram verificados que nos latossolos a condutividade hidráulica geralmente diminui em até duas ordens de grandeza conforme se aumenta a profundidade (Tabela 5.4). Isto é, apresenta valores médios na ordem de  $10^{-5}$  m/s para a profundidade de 0,5 metros, e diminui em média até a  $10^{-7}$ , a 2,0 metros de profundidade.

O comportamento de diminuição da condutividade hidráulica em função da profundidade decorre da própria estruturação do solo que tem transição gradual entre os horizontes A e B, que passa de forte estrutura granular nos horizontes mais superficiais para estrutura grumosa ou sem estrutura em maiores profundidades. A estrutura grumosa, formada pela agregação de argilas e óxidos de ferro, tem ampla micro porosidade o que restringe a porosidade efetiva no meio e consequentemente sua condutividade hidráulica.

Aquífero (tipo de aquífero predominante)	Solo da zona não saturada	Ensaio (Ponto)	Open and Hole (Kv)			
			50 cm	100 cm	150 cm	200 cm
Diamantino (Dupla porosidade)	Latossolo	TP-AP-08	2,20E-05	4,15E-06	1,02E-05	3,14E-08
	Latossolo	TP-AP-28	1,29E-04	4,41E-05	1,30E-06	1,45E-06
Raizama (Dupla porosidade)	Latossolo	TP-AP-30	1,08E-05	4,23E-08	3,02E-05	2,27E-06
	Latossolo	TP-AP-31	3,47E-05	1,08E-05	1,33E-06	2,13E-08

**Tabela 5.4 - Condutividade hidráulica vertical – Kv (m/s) calculados a partir de ensaios de infiltração com o método *Open End Hole* em latossolos para a zona vadosa dos Aquíferos de Dupla porosidade (fraturado/intergranular) da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai no Mato Grosso.**

Este comportamento também pode ter alguma influência de atividades de bioturbação (como por exemplo, a atividade das raízes), que são mais efetivas nos primeiros centímetros em solos naturais e proporcionam a formação de canalículos aumentando a porosidade para o fluxo preferencial da água. Em maiores profundidades, há diminuição progressiva da atividade de raízes e aumento da bioturbação por invertebrados (cupins, formigas e anelídeos), que é menos efetiva para a infiltração vertical.

Para a zona não saturada dos demais aquíferos, os valores obtidos para coberturas da classe dos latossolos geralmente mantém ou diminui a condutividade em até uma ordem de grandeza (Tabela 5.5). Já no único ensaio realizado para solo classe dos neossolos flúvicos, o comportamento registrado para a condutividade hidráulica também manteve a ordem de grandeza dos valores nos diferentes níveis testados. Embora fossem esperadas variações de propriedades físicas neste tipo material (conforme variam a granulometria em diferentes camadas de sedimentos aluviais), a estabilização dos valores de condutividade hidráulica se dá pelo fato de os materiais ali existentes apresentarem certa homogeneidade e apresentar camadas com maior volume de umidade natural, ou seja, para profundidades maiores que 90 cm os horizontes

já apresentam hidromorfismo.

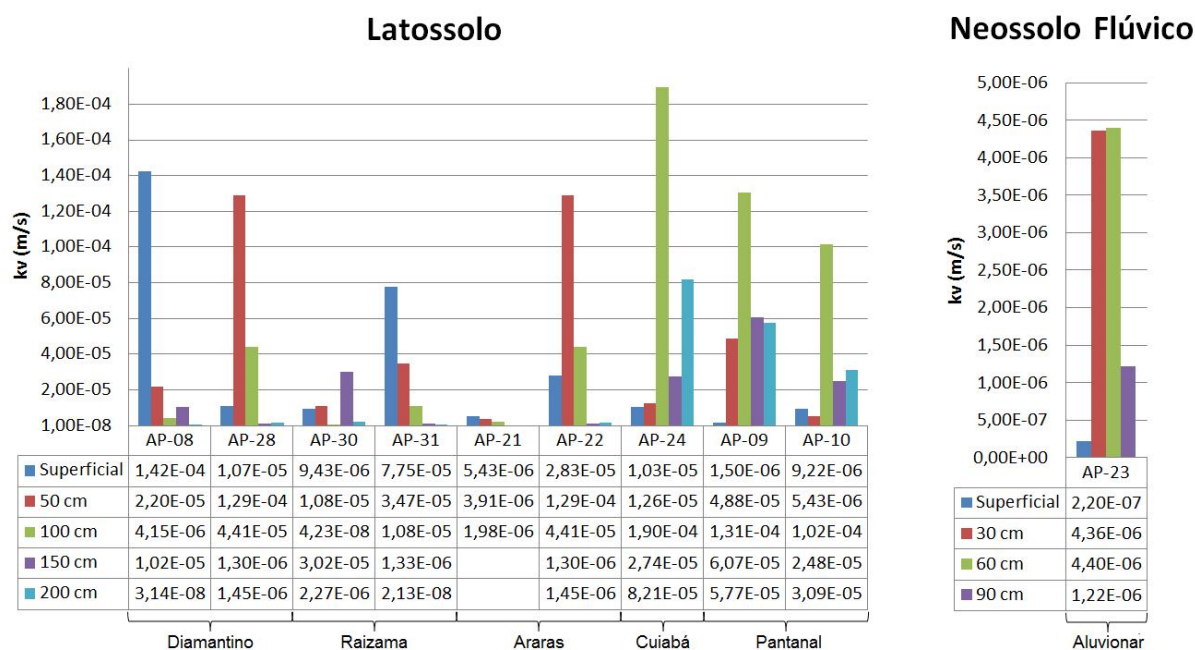
Os valores estimados para a condutividade hidráulica demonstram que a maior parte dos solos apresenta diminuição dos valores com o aumento da profundidade e oferece alguma resistência para o fluxo vertical em função do aumento da quantidade de argila presente a maiores profundidades e pela diminuição da eficiência da sua estruturação (Figura 5.2). Os valores reduzidos observados em ensaios realizados na superfície são atribuídos a distintas formas de uso e ocupação da bacia que resultam na compactação da superfície.

Aquífero (tipo de aquífero predominante)	Solo da zona não saturada	Ensaio (Ponto)	Open End Hole (Kv)			
			50 cm	100 cm	150 cm	200 cm
Araras (fraturado/cárstico)	Latossolo	TP-AP-21 *	3,91E-06	1,98E-06	-	-
	Latossolo	TP-AP-22	1,29E-04	4,41E-05	1,30E-06	1,45E-06
Cuiabá (fraturado)	Latossolo	TP-AP-24	1,26E-05	1,90E-04	2,74E-05	8,21E-05
Pantanal (intergranular)	Latossolo	TP-AP-09	4,88E-05	1,31E-04	6,07E-05	5,77E-05
	Latossolo	TP-AP-10	5,43E-06	1,02E-04	2,48E-05	3,09E-05
Aluvionar (intergranular)	Neossolo Flúvico	TP-AP-23 **	4,36E-06	4,40E-06	1,22E-06	-

\* obs.1: Foram calculadas apenas as condutividades para as profundidades 50 e 100 cm porque as demais profundidades de 150 e 200 cm atingiram níveis cascalhosos proporcionando escape imediato da coluna de água.

\*\* obs.2: Foram calculadas apenas as condutividades para as profundidades 30, 85 e 90 cm porque para profundidades superiores os sedimentos estavam saturados.

**Tabela 5.5 - Condutividade hidráulica vertical - Kv (m/s) estimadas a partir de ensaios de infiltração com o método *Open End Hole* em latossolos e Neossolo Flúvico para a zona vadosa de outros tipos de aquíferos na região da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai no Mato Grosso.**



**Figura 5.2 - Gráfico mostrando os resultados para os ensaios de infiltração *in situ* do tipo Anéis Concêntricos e Open End Hole na zona não saturada de aquíferos da região do Alto Paraguai no Mato Grosso.**

Tendo em vista o considerável volume de precipitação média anual, entre 1.000 e 1.900

mm, que nesta região aumenta de sudoeste para nordeste (PMA - 1977 a 2006 - CPRM, 2006), a resistência para fluxo vertical de drenagem apresentada por estes solos pode ser bastante significativa em termos de comprometimento de recarga dos aquíferos.

Embora o comportamento diferenciado em profundidade possa desviar a direção do fluxo vertical da água durante a recarga, induzindo uma taxa variável de interfluxo, tal comprometimento poderá ser menos ou mais evidente em função do padrão geomorfológico local. No caso das amplas áreas como chapadas e superfícies aplainadas, esse comportamento é insignificante uma vez que, mesmo que haja uma interrupção do sentido vertical da infiltração as perdas pelo fluxo interno são restritas. Contudo, em se tratando de serras, morros, escarpas e proximidades de calhas de rios, esse desvio provoca uma perda significativa, por interfluxo, e diminuição da recarga efetiva do aquífero.

### **5.3.2 Caracterização da Zona Saturada**

A determinação dos parâmetros hidrodinâmicos para a zona saturada é de fundamental importância nas avaliações de potencialidades e produtividade dos aquíferos na área de estudo. Estes parâmetros correspondem a condutividade hidráulica, transmissividade, coeficiente de armazenamento e/ou porosidade efetiva, os quais, devem ser avaliados utilizando a análise e interpretação de dados de testes de aquífero, com a utilização de poços de bombeamento e poços de observação.

Em função da carência de testes de bombeamento com poços de observação nesta região, este trabalho considerou apenas testes em que os rebaixamentos do nível da água foram obtidos no próprio poço de bombeamento, o que permitiu o cálculo dos parâmetros transmissividade e condutividade hidráulica.

A análise e interpretação dos dados de testes realizados em poços tubulares foram realizadas através utilizando dados disponíveis no banco de dados do SIAGAS / CPRM – Serviço Geológico do Brasil (que foram cedidos em decorrência de um convênio com a Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Mato Grosso) e o software Aquifer Test versão 2014 da Waterloo Hydrogeologic Inc. A determinação dos parâmetros foi realizada a partir dos métodos de rebaixamento *versus* tempo para aquíferos de dupla porosidade, e aquífero fraturado de Moench e Cooper & Jacob, para aquíferos livres, com objetivo da avaliação e comparação de qual método tem o melhor ajuste a curva de Theis conforme o tipo de aquífero (intergranular, fraturado ou de dupla porosidade).

Os registros de poços selecionados para interpretação dos testes obedeceram a condição de ter informação detalhada do teste de rebaixamento do tipo contínuo, com duração mínima de 12 horas, utilizando bomba submersa, e ter as respectivas descrições de perfis litológicos para

cada intervalo de profundidade e do perfil construtivo. Foram analisados dados de 4 poços para o Aquífero Raizama e 3 para o aquífero Diamantino, com o objetivo de comparar alguma semelhança de comportamento entre os tipos distintos de aquíferos (Tabela 5.6).

Aquífero	Registro SIAGAS	Vazão final para o teste de rebaixamento (m <sup>3</sup> /h)	Profundidade (m)	Método utilizado para cálculo de Condutividade Hidráulica e Transmissividade
Raizama	5200006668	4,0	72,0	Aquífero de dupla porosidade e aquífero fraturado de Moench e de Cooper & Jacob
	5200006166	3,9	80,0	
	5200006071	2,1	120,0	
	5200006070	8,5	100,0	
Diamantino	5200006307	2,7	56,0	
	5200006998	22,0	100,0	
	5200007484	5,0	62,0	

**Tabela 5.6 - Relação dos aquíferos testados, registros dos poços cadastrado no Banco de Dados do SIAGAS / CPRM, vazão final do teste de rebaixamento, profundidade e Método utilizado para o cálculo de condutividade e transmissividade hidráulica.**

### **Aquífero Raizama**

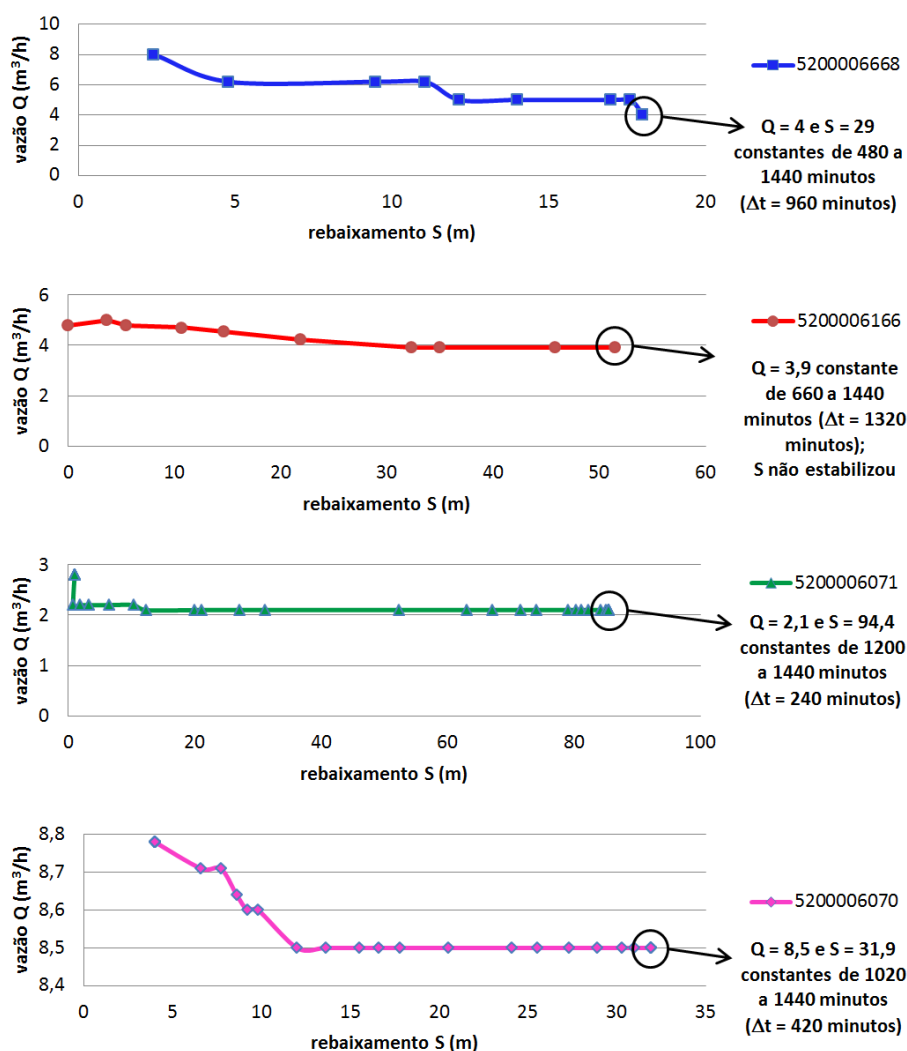
A poligonal deste aquífero é distribuída sobre uma extensa faixa alongada arqueada com direção nordeste - sudoeste e parte interna voltada para sudeste. São constituídos por metassedimentos deformados em baixo grau metamórfico com braquianticlinais e braquissinclinais que acompanham a mesma direção NE-SW, sendo os arenitos e ortoquartzitos os litotipos mais favoráveis para armazenamento e produção de água. Constituem a porção inferior da sequência do Grupo Alto Paraguai, subjacente a Formação Diamantino, e está sobreposto aos calcários da Formação Araras. Sua extensão é regional e ocorre de forma heterogênea, livre, e secundariamente confinado-drenante, quando recoberto por fácies metapelíticas da Formação Diamantino. Hidraulicamente, o aquífero tem baixa permeabilidade, e transmissão condicionada a porosidades planares (fraturas, falhas e acamamentos) e intergranulares (primárias e secundárias por dissolução de cimentos e grãos instáveis).

Dentre os registros de poços tubulares cadastrados na base de dados do SIAGAS / CPRM – Serviço Geológico do Brasil, que captam do aquífero Raizama, os poços selecionados apresentam profundidades que variam de 72 a 120 metros, com média 93 metros, e diâmetros, em geral, de 12 polegadas para os primeiros intervalos que incluem a zona intemperizada e 6 polegadas para os demais intervalos.

No geral, estes poços podem apresentar padrões construtivos semelhantes a poços que captam aquíferos exclusivamente fraturados e a poços que captam aquíferos exclusivamente intergranulares (Anexo II). As características existentes comuns a poços que captam aquíferos fraturados são: método de perfuração percussivo, utilizado no poço com registro 5200006668, para atravessar sequências de arenitos e argilitos provavelmente silicificados, e perfis

construtivos sem qualquer necessidade de utilização de revestimentos para dar estabilidade às paredes do poço, como registrado nos intervalos posteriores a zona intemperizada nos poços 5200006166, 5200006071 e 5200006070. As características existentes comuns a poços que captam aquíferos intergranulares são: método de perfuração rotativo, como verificado nos poços com registros 5200006166, 5200006071 e 5200006070, e perfil construtivo com utilização de revestimento por tubos cegos e filtros de PVC geomecânico para garantir a estabilidade das paredes do poço, no registro 5200006668.

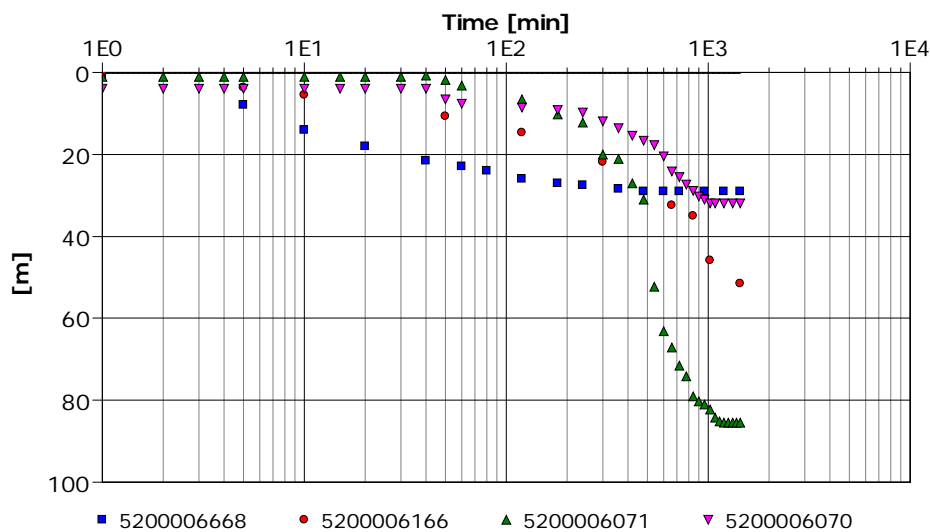
Nos testes de rebaixamento, utilizando bombas submersas, os poços foram bombeados com vazões que variam de 2,1 a 8,8 m<sup>3</sup>/h com média de 4,6 m<sup>3</sup>/h, apresentando rebaixamentos entre 18 e 85,5 metros, com média 43,7 metros, e capacidades específicas variando de 0,02 a 0,26 (m<sup>3</sup>/h)/m com média 0,14 (m<sup>3</sup>/h)/m (Figura 5.3).



**Figura 5.3 - Gráficos de vazão versus rebaixamento, com a identificação dos valores de estabilização da vazão e do rebaixamento, para o Aquífero Raizama.**

As curvas apresentadas no gráfico de rebaixamento versus log-tempo apresentaram comportamentos distintos (Figura 5.4).





**Figura 5.4 - Gráfico rebaixamento x log-tempo de testes de bombeamento realizado no aquífero Raizama.**

Um primeiro comportamento pode ser verificado a partir da análise da curva de rebaixamento com padrão de decaimento bastante suave e de estabilização contínua que deve estar associada a intervalos litológicos mais homogêneos de sedimento arenosos, como registrado no poço número de 5200006668. O outro comportamento é verificado nas curvas onde não existe o padrão de estabilização, mas sim um padrão do tipo “Z” alongado, como registrado nos poços 5200006166, 5200006071 e 5200006070, e que deve estar relacionado à presença de materiais associados a rochas sedimentares, e/ou metassedimentares de baixo grau metamórfico com variações faciológicas de camadas ora aquíferas ora não aquíferas. O padrão destas curvas implica que a vazão utilizada durante o teste deve ser maior do que a capacidade do aquífero em fornecer água ao poço.

Os valores calculados para a condutividade hidráulica e transmissividade utilizando os métodos aplicados a aquíferos de dupla porosidade e fraturado de Moench e para aquíferos intergranulares livres de Cooper & Jacob são apresentados na Tabela 5.7.

Em função das informações observadas quanto à descrição dos perfis litológicos, dados construtivos e valores de vazão e rebaixamento, é possível que o aquífero Raizama apresente um comportamento do tipo dupla porosidade. Em relação aos métodos, o aquífero responde melhor ao método aplicado a aquífero fraturado de Moench nos registros 5200006668 e 5200006070. Apesar de apresentar comportamento de dupla porosidade, a componente de fluxo controlada por fraturas deve ocorrer com certa predominância, resultando em melhores ajustes das curvas de rebaixamento *versus* log-tempo para este método. Além do modelo para aquífero fraturado de Moench, estes poços apresentaram ajustes compatíveis com o modelo de dupla porosidade, no entanto, os valores obtidos para transmissividade e condutividade não permitem uma

compatibilização com os baixos valores de capacidades específicas e especificação dos perfis litológicos verificados. Em relação ao modelo Cooper & Jacob, que é mais habitual para aquíferos livres e intergranulares, as curvas pouco se aproximaram ao ajuste de padrão linear do gráfico rebaixamento *versus* log-tempo (ANEXO III).

Aquífero Raizama								
Método	5200006668		5200006166		5200006071		5200006070	
	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)
Dupla porosidade	6,91E-2	1,13E-3	1,22E-2	1,75E-4	2,66E-3	2,39E-5	3,13E-2	3,49E-4
Fatura de Moench	2,92E-5	4,79E-7	6,0E-6	8,65E-8	4,42E-7	3,98E-9	8,80E-6	9,81E-8
Cooper & Jacob	7,07E-2	1,16E-3	4,0E-2	5,85E-4	2,41E-2	2,17E-4	1,55E-1	1,73E-3

**Tabela 5.7 - Transmissividade e condutividade hidráulica calculadas a partir de ensaios de bombeamento no aquífero Raizama.**

Os registros 5200006166 e 5200006071 não foram considerados para o cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos médios, visto que o primeiro não estabilizou o rebaixamento e o segundo não se ajustou de forma aceitável em qualquer um dos três modelos utilizados. Muito provavelmente, estes poços devem estar relacionados a conjuntos de camadas do aquífero que apresentam o comportamento exclusivamente fraturado, em função dos resultados obtidos e descrição dos perfis litológicos e construtivos. Apesar dos valores de condutividade e transmissividade terem sido calculados por diferentes métodos, é importante destacar que estes parâmetros, por definição, têm conceitos relacionados à espessura do aquífero, e por se tratar de poços parcialmente penetrantes, estes valores refletem apenas um valor aproximado para o aquífero relacionado exclusivamente para cada poço.

Os valores de transmissividade verificados nos poços para o Aquífero Raizama são em média na ordem de grandeza de  $10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s. E os valores de condutividade hidráulica, em média  $10^{-7}$  m/s. Estes valores representam a condição em que o aquífero tem dupla porosidade, permitindo a estabilização das vazões e rebaixamento mesmo em situações em que poços utilizam pequenas espessuras penetrantes.

Do ponto de vista de hidroquímica, existem poucos dados, mas, são esperadas águas de boa qualidade para consumo humano em função de baixos valores de sólido totais dissolvidos e condutividade elétrica encontrada nestes poços, que variam entre 128 e 142  $\mu$ S/cm.

### **Aquífero Diamantino**

O aquífero ocorre sobre a mesma faixa alongada arqueada constituída por braquianticlinais e braquissincliniais com direção nordeste - sudoeste em que se encontram a

Formação Raizama e Formação Araras. No entanto, também é importante destacar a porção oeste setentrional onde a unidade ocorre menos deformada e parcialmente recoberta pelos sedimentos da Formação Pantanal. Os litotipos mais favoráveis para transmissão de água são arcóseo e metarcóseos. Constituem a porção superior da sequência do Grupo Alto Paraguai, sobrejacente a Formação Raizama. Sua extensão é regional, ocorrendo de forma heterogênea, livre, e secundariamente confinado-drenante, quando recoberto pela Formação Pantanal. Hidraulicamente, o aquífero se comporta de forma similar ao Aquífero Raizama, sendo de baixa permeabilidade, e com transmissão condicionada a porosidades planares e intergranulares.

Para os registros de poços tubulares cadastrados na base de dados do SIAGAS / CPRM – Serviço Geológico do Brasil, que captam do aquífero Diamantino, os poços selecionados apresentam profundidades que variam entre 56 a 100 metros, com média 73 metros, e diâmetros variáveis de 14 a 12 polegadas para os primeiros intervalos que incluem a zona intemperizada e diâmetros de 6 polegadas para intervalos com maiores profundidades.

Estes poços também apresentam padrões construtivos semelhantes a poços que captam aquíferos tipicamente fraturados e a poços que captam aquíferos tipicamente intergranulares (Anexo II). As características comuns aos fraturados são: método de perfuração roto-percussivo para atravessar sequências de arenitos, provavelmente, silicificados intercalados com folhelhos, e perfis construtivos sem utilização de revestimentos, como registrado nos intervalos posteriores a zona intemperizada no poço número 5200006998. As características comuns aos aquíferos intergranulares são: perfuração por método rotativo, e perfil construtivo com uso de revestimentos e filtros para suporte das paredes dos poços, como utilizado nos poços 5200006307 e 5200007484.

Para os ensaios de bombeamento com uso de bombas submersíveis, os poços geraram vazões variáveis de 2,7 a 22,0 m<sup>3</sup>/h com média de 9,9 m<sup>3</sup>/h, rebaixamentos entre 22 e 46 metros, média de 32,7 metros, e capacidades específicas de 0,09 a 0,48 (m<sup>3</sup>/h)/m com média de 0,26 (m<sup>3</sup>/h)/m (Figura 5.5).

As curvas apresentadas no gráfico de rebaixamento *versus* log-tempo se apresentam com dois padrões distintos (Figura 5.6). O primeiro tipo pode ser verificado nos registros 5200006307 e 5200007484 que têm as curvas de rebaixamento com padrão de decaimento mais suave e de estabilização contínua. O outro é verificado no registro 5200006998, em que a curva apresenta o padrão do tipo “Z” alongado e que a medida em que se dá o bombeamento não ocorre estabilização do rebaixamento.

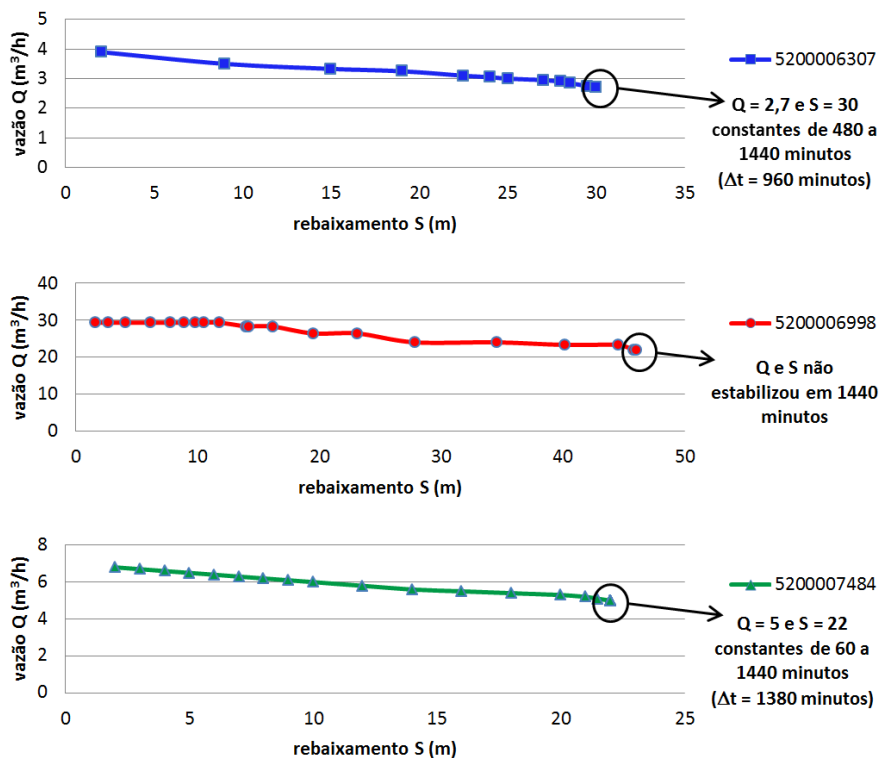


Figura 5.5 - Gráfico de vazão versus rebaixamento, com a identificação dos valores de estabilização da vazão e do rebaixamento, para o Aquífero Diamantino.

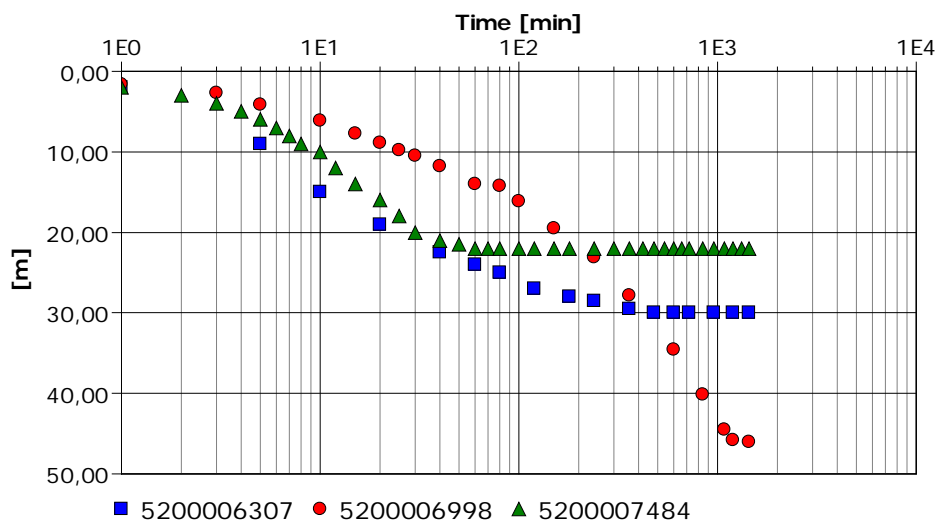


Figura 5.6 - Gráfico rebaixamento x log-tempo de testes de bombeamento realizado no aquífero Diamantino.

Os valores calculados para a condutividade hidráulica e para a transmissividade com auxílio dos métodos aplicados a aquíferos de dupla porosidade, fraturados de Moench e de Cooper & Jacob estão organizados na Tabela 5.8.

Aquífero Diamantino						
Método	5200006307		5200006998		5200007484	
	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)
Dupla porosidade	4,93E-02	1,07E-03	1,18E-01	1,20E-03	1,17E-01	2,25E-03
Fratura de Moench	8,66E-06	1,88E-07	3,58E-05	3,65E-07	1,17E-01	2,25E-03
Cooper & Jacob	5,71E-02	1,24E-03	2,82E-01	2,88E-03	1,37E-01	2,63E-03

**Tabela 5.8 - Transmissividade e condutividade hidráulica calculados a partir de ensaios de bombeamento no aquífero Diamantino.**

Analisando os resultados, conforme os modelos aplicados, e confrontando as informações de descrição dos perfis litológicos e construtivos, valores de vazão e rebaixamento pode-se considerar que o Aquífero Diamantino apresenta comportamento de dupla porosidade, identificado nos registros 5200006307 e 5200007484, em que as vazões e rebaixamentos são estabilizados. Como os valores obtidos para transmissividade e condutividade devem ser compatíveis com os baixos valores de capacidades específicas verificados, o primeiro registro, de número 5200006307, apresentou resultado compatível com o modelo Fratura de Moench e inclusive um melhor ajuste da curva de rebaixamento *versus* log-tempo. Já no poço de registro 5200007484, os valores de transmissividade e condutividade hidráulica calculados se mostraram muito elevados, não permitindo uma equivalência em termos de potencialidade com os dados descritivos do aquífero e com os dados analíticos do próprio teste de bombeamento. Isto é, os valores elevados não são compatíveis com o comportamento esperado para uma seção de 62 metros de pelitos (ou metapelitos) com nível estático de 10 metros e capacidade específica 0,2 (m<sup>3</sup>/h)/m (ANEXO II e III). Por outro lado, isoladamente, o comportamento verificado para o registro 5200006998 deve estar relacionado a fluxos controlados por fraturas existentes em camadas de porosidade planar, uma vez que durante o teste de rebaixamento a vazão e o nível dinâmico não foram estabilizados, e, principalmente, quando confrontados às informações existentes para os perfis litológico e construtivo.

Os valores de transmissividade e condutividade hidráulica do Aquífero Diamantino, verificados para o único registro com resultado satisfatório, são da ordem de grandeza 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s e 10<sup>-7</sup> m/s respectivamente. Estes valores representam apenas a porção, ou conjunto de camadas, do aquífero em que existe dupla porosidade. Também é importante destacar que estes valores de parâmetros hidrodinâmicos não representem a totalidade da espessura do aquífero, mas sim à fração relacionada com a seção perfurada.

Em relação à hidroquímica do Aquífero Diamantino poucos dados são disponíveis, no entanto, são esperadas águas de boa qualidade para a maioria dos fins em função dos baixos valores de sólido totais dissolvidos e condutividade elétrica que variam entre 116,9 e 337µS/cm.

## 5.4 MODELO CONCEITUAL DE FLUXO DOS AQUÍFEROS RAIZAMA E DIAMANTINO

Distribuídos sobre uma área de aproximadamente 38.000 km<sup>2</sup>, que corresponde a faixa alongada arqueada com direção nordeste-sudoeste, os aquíferos Raizama e Diamantino geralmente apresentam-se associados entre si, com camadas dobradas de eixo paralelo a faixa de distribuição, e com espessuras saturadas variáveis de 165 a 235 m, considerando uma média de espessura com fraturas abertas da ordem de 180 metros.

Apesar das formações Raizama e Diamantino atingirem em conjunto espessuras da ordem de 1.000 metros, a ocorrência de saturação em água nos metassedimentos está condicionada a existência de fraturas abertas e espaços intergranulares em considerável quantidade. Nos intervalos iniciais, logo abaixo do solo, até aproximadamente 90 metros ocorrem as melhores condições em função da disposição aberta das fraturas, interconexão entre si e entre a porosidade primária e/ou secundária por intemperismo. Para os intervalos seguintes, a porosidade livre para transmissão da água diminui de forma gradativa até aproximadamente 180 metros, e a partir desta profundidade, fraturas fechadas e poros residuais predominam sem permitir a transmissão de água de forma significativa.

A recarga se dá geralmente por chuvas. A água infiltra inicialmente através dos solos até atingir sistemas de fraturas e porções em que exista porosidade intergranular.

Diferentemente de aquíferos intergranulares homogêneos e isotrópicos em que o fluxo é controlado exclusivamente pelo gradiente da carga hidráulica, o fluxo para estes aquíferos se dá em função de três fatores:

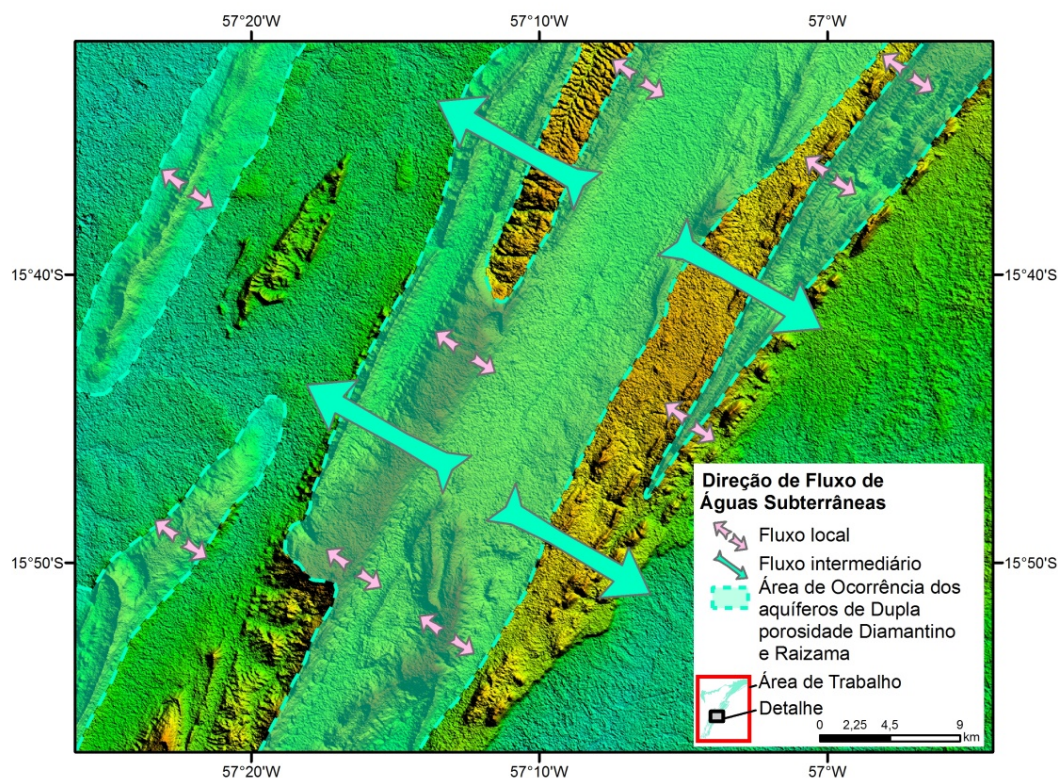
- Gradiente de carga hidráulica - que faz com que o fluxo de águas subterrâneas se processe de áreas com carga hidráulica maior para áreas com cargas menores. Nos aquíferos livres, esta variação geralmente acompanha a variação do relevo, porém de forma suavizada;
- Anisotropia controlada pelo acamamento - que pode contribuir como facilitadora de fluxo quando ocorrem como planos abertos, geralmente em rochas psamíticas, ou como barreiras ao fluxo quando se apresentam em camadas pelíticas, litologicamente mais heterogêneas; e
- Anisotropia provocada por tensores regionais de deformação - como por exemplos os planos de fraturas que também funcionam como dutos para transmissão de água, e áreas com intensa recristalização que proporciona a diminuição dos espaços entre grãos e dificulta a percolação.

Se por um lado o sentido do fluxo em aquíferos intergranulares é determinado prioritariamente pelo gradiente da carga hidráulica, nos sistemas de dupla porosidade as águas

descrevem fluxos de áreas mais elevadas para áreas mais baixas, mas com sentido de trajetória modificado à medida que depara com condicionantes anisotrópicos. Desta forma o sentido do fluxo é determinado pelo somatório dos vetores de gradiente da carga hidráulica, direção preferencial das anisotropias primárias (acamamento) e direção das anisotropias secundárias (fraturas). É importante salientar que em muitos casos os planos de acamamento podem inclusive causar inversão local de fluxo, com relação à topografia do terreno.

A direção do fluxo regional destes aquíferos é na realidade uma resultante da soma da carga hidráulica (fortemente controlada pelo relevo), com a atitude principal dos planos mais abertos e mais persistentes.

Considerando um relevo regional composto por sequências de cristas alongadas com direção nordeste e declives acentuados em direção a áreas mais baixas de superfícies aplainadas, os aquíferos de dupla porosidade apresentam fluxo local das áreas mais elevadas em direção ao centro e para fora dos vales suspensos para intervalos de profundidades de aproximadamente 60 metros. Para o fluxo intermediário, submetido a forte influência de anisotropias de fraturas de profundidades até aproximadamente 180 metros, o fluxo é direcionado para fora do conjunto de serras em direção a partes mais baixas do contexto regional como a planície do Pantanal e a depressão Cuiabana (Figura 5.7).

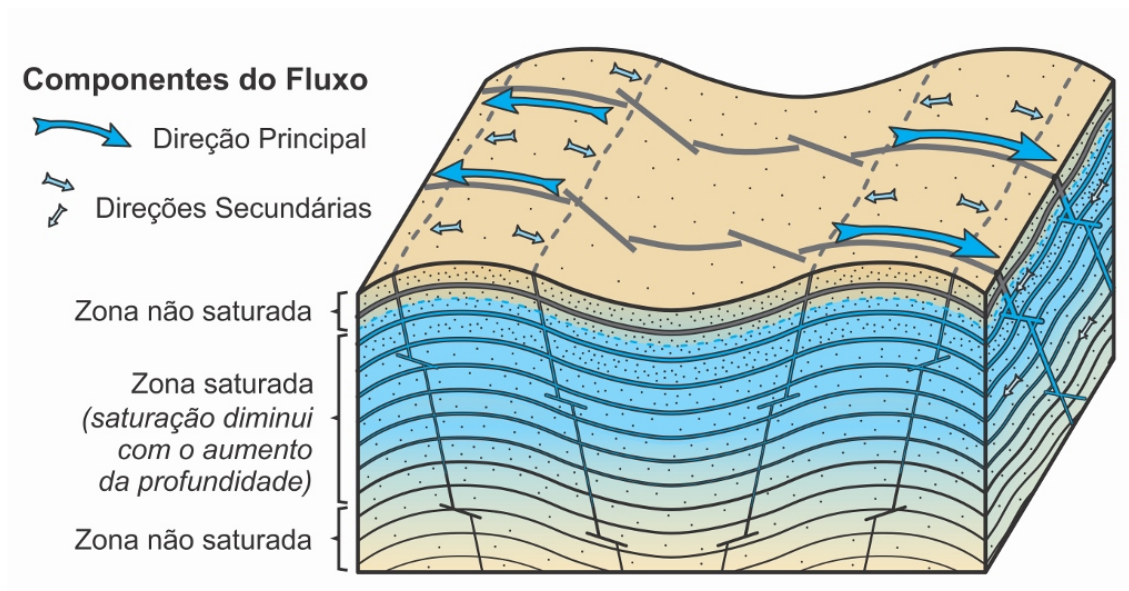


**Figura 5.7 - Área localizada a sudeste do município Cáceres-MT, onde ocorre descarga dos aquíferos Diamantino e Raizama com indicação da direção de fluxo subterrâneo.**



No caso ilustrado, as direções do fluxo hidrogeológico local e intermediário são paralelas, uma vez que as principais direções de fraturas são ortogonais às direções das cristas das serras (direção preferencial do acamamento). Entretanto, caso existissem fraturas paralelas ao acamamento ou diagonais à atitude geral da estrutura, o fluxo seria em direções oblíquas.

O bloco diagrama da Figura 5.8 representa o modelo esquemático do fluxo hidrogeológico condicionado aos sistemas principais de anisotropias com direção geral N30W a N50W.

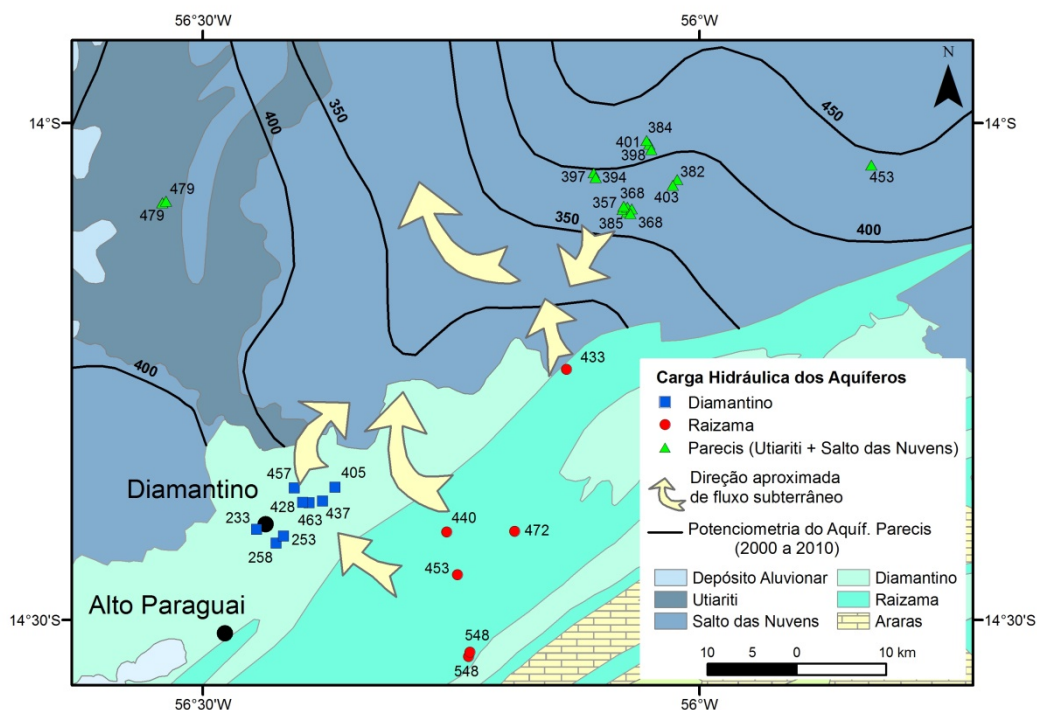


**Figura 5.8 – Modelo esquemático para o comportamento do fluxo subterrâneo dos aquíferos Raizama e Diamantino.**

Os volumes de recargas mais importantes ocorrem na porção nordeste de sua área de ocorrência, próximo à região sudeste da área do município Diamantino-MT. Esta região corresponde à parte do rebordo centro-sul da Chapada dos Parecis, onde os aquíferos Raizama e Diamantino se apresentam com as cotas altimétricas mais elevadas, com relevos suave-ondulados (chapada e superfície aplainada), capeados por solos com capacidade de infiltração muito boa (Latossolo Vermelho e Vermelho-amarelo e Neossolo Quartzarênico) a boa (Cambissolo Háplico) e também onde ocorrem as maiores precipitações médias anuais (isoietas de 1.700 a 1.900 mm/ano).

As principais zonas de descargas ocorrem na porção norte, próximo a sede do município Diamantino-MT, e na porção centro sul, na região nordeste da área do Município Cáceres-MT, próximo a Serra do Magaval. A descarga que ocorre na porção setentrional da área é importante para recarga do aquífero Parecis localizado a norte. Nesta região pode se observar, utilizando o cadastro de poços, que a carga hidráulica nos aquíferos Diamantino e Raizama apresenta maiores valores quando comparados ao aquífero Parecis, indicando um sentido de fluxo local para norte nordeste (Figura 5.9).





**Figura 5.9 - Área próxima a sede do município Diamantino, onde ocorre descarga dos aquíferos Diamantino e Raizama com indicação da direção aproximada de fluxo subterrâneo.**

As outras importantes zonas de descargas ocorrem ao longo de toda borda de ocorrência com ênfase para a porção centro sul da área onde predomina o relevo montanhoso com destaque para a existência de declives acentuados e áreas de cotas menores, em que os aquíferos contribuem para os afluentes do Rio Paraguai.

## 5.5 ESTIMATIVA DE RESERVAS HÍDRICAS

As avaliações das reservas hídricas subterrâneas são importantes para a gestão sustentável dos aquíferos. Quatro modalidades de reservas hídricas podem ser consideradas, incluindo as reservas: reguladoras ou renováveis, permanentes ou seculares, totais ou naturais, e exploráveis ou recursos (Costa, 2000).

Os conceitos das diferentes modalidades de reservas são a seguir apresentados:

- Reservas reguladoras representam a quantidade de água livre armazenada pelo aquífero ao curso de um período de recarga por alimentação natural. Em geral é quantificada a partir da média em ciclos hidrológicos sucessivos. Estas reservas são submetidas ao efeito do ritmo sazonal ou interanual das precipitações;
- Reservas permanentes também chamadas seculares ou profundas, constituem as águas acumuladas que não variam em função das precipitações anuais e permitem a reservação mais importante, regularizada em períodos de vários anos;
- As reservas totais ou naturais são representadas pelo conjunto das reservas permanentes

somadas às reservas reguladoras constituindo, assim, a totalidade de água existente num aquífero ou sistema aquífero ou conjunto de aquíferos superpostos; e

- As reservas explotáveis ou recursos constituem a quantidade máxima de água que poderia ser explotada de um aquífero, sem riscos de prejuízo ao manancial. Neste trabalho estas reservas são consideradas como constituídas pela soma das reservas reguladoras com uma parcela da reserva permanente.

### **Reservas Reguladoras (Rr)**

Classicamente para aquíferos livres as reservas renováveis podem ser obtidas pelo produto da área do sistema aquífero *pela* variação média do nível freático e *pela* porosidade efetiva ( $Rr = A \cdot \eta \cdot \Delta h$ ). Entretanto, para situações em que não há dados de monitoramento do nível freático as reservas reguladoras devem ser estimadas a partir de dados do balanço hídrico. Assim, propõe-se a aplicação da seguinte equação:

$Rr = [P_i \cdot A]$ , onde: Rr é a reserva renovável;  $P_i$  a altura da precipitação que infiltra no aquífero em mm e A a área de ocorrência do aquífero em  $m^2$ .  $P_i$  é equivalente ao valor médio da precipitação anual multiplicado pelo percentual que infiltra na zona não saturada e efetivamente alcança a zona saturada do aquífero.

Para as condições dos aquíferos Raizama e Diamantino foi avaliado que a recarga efetiva representa na média de longo período 10% da precipitação. Este valor é considerado coerente com as condições dos solos, relevo, uso e cobertura vegetal e da distribuição das chuvas na região. A precipitação na região varia de 900 a 1800 mm/ano, e como a maior parte da área ocupa regiões de menores isoietas, foi considerado o valor de 1.100 mm/ano como média para altura pluvial regional. Assim, a reserva renovável pode ser obtida pela seguinte equação:

$$Rr_{(Raizama + Diamantino)} = [P_i_{(Raizama)} \cdot A_{(Raizama)}] + [P_i_{(Diamantino)} \cdot A_{(Diamantino)}]$$

$$Rr_{(Raizama + Diamantino)} = [1,1\text{m/ano} \cdot 0,1 \cdot 6,99 \times 10^9 \text{ m}^2] + [1,1 \text{ m/ano} \cdot 0,1 \cdot 5,16 \times 10^9 \text{ m}^2]$$

$$Rr_{(Raizama + Diamantino)} = [7,69 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{ano}] + [5,68 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{ano}]$$

$$Rr_{(Raizama + Diamantino)} = 1,34 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

O valor do percentual que infiltra nos aquíferos é atribuído de acordo com a capacidade de infiltração dos latossolos de textura argilosa existentes na região e seu relevo montanhoso, que permite boa infiltração nos intervalos superficiais dos solos, mas gera perdas por interfluxo (*interflow*) antes de atingir a zona saturada.

## Reservas Permanentes (Rp)

Para aquíferos intergranulares livres as reservas permanentes podem ser obtidas pelo produto da área do sistema *pela* espessura saturada do meio *pela* porosidade efetiva ( $R_p = A \cdot b \cdot \eta_e$ ). Como o conceito de porosidade efetiva é definido para meios intergranulares, para os sistemas de dupla porosidade em estudo propõe-se o termo porosidade dinâmica ( $n_d$ ) para dimensionar um conceito similar. Neste caso, inclui os espaços vazios interconectados que são livres para o fluxo, correspondendo a soma da porosidade intergranular residual com o índice de fraturas abertas. Desta forma as reservas permanentes podem ser estimadas a partir da equação:

$$R_p = A \cdot b \cdot n_d \quad \text{onde:}$$

A = área de ocorrência do aquífero em  $m^2$ ;

b = espessura média do aquífero em m;

$n_d$  = porosidade dinâmica.

Os valores atribuídos para espessura saturada e porosidade dinâmica para cada aquífero foram subdivididos conforme proposto no modelo conceitual que define os primeiros 90 metros com as melhores condições para armazenamento e transmissão de água, em função da disposição de fraturas abertas interconectadas entre si e entre a porosidade intergranular, e os intervalos seguintes com diminuição gradativa das condições de transmissão de água até aproximadamente 180 metros quando ocorrem fraturas fechadas e apenas poros residuais. Estes valores aplicados foram escolhidos com base na observação de afloramentos, descrição de lâminas delgadas e comparação dos resultados de ensaios de rebaixamento (capacidade específica e transmissividade) com outros aquíferos conhecidos.

Assim, as reservas foram estimadas segundo as equações:

$$R_{p \text{ (Raizama + Diamantino)}} = R_{p \text{ (Raizama)}} + R_{p \text{ (Diamantino)}}$$

$$R_{p \text{ (Raizama)}} = [6,99 \times 10^9 \text{ m}^2 \cdot (90-10,3) \text{ m} \cdot 0,025] + [6,99 \times 10^9 \text{ m}^2 \cdot 90 \text{ m} \cdot 0,0125]$$

$$R_{p \text{ (Raizama)}} = [1,39 \times 10^{10} \text{ m}^3] + [7,55 \times 10^9 \text{ m}^3] = 2,15 \times 10^{10} \text{ m}^3$$

$$R_{p \text{ (Diamantino)}} = [5,16 \times 10^9 \text{ m}^2 \cdot (90-10,4) \text{ m} \cdot 0,0175] + [5,16 \times 10^9 \text{ m}^2 \cdot 90 \text{ m} \cdot 0,0125]$$

$$R_{p \text{ (Diamantino)}} = [7,19 \times 10^9 \text{ m}^3] + [5,81 \times 10^9 \text{ m}^3] = 1,30 \times 10^{10} \text{ m}^3$$

$$R_{p \text{ (Raizama + Diamantino)}} = 2,15 \times 10^{10} \text{ m}^3 + 1,30 \times 10^{10} \text{ m}^3$$

$$R_{p \text{ (Raizama + Diamantino)}} = 3,45 \times 10^{10} \text{ m}^3$$

## Reservas Totais (Rt)

As reservas totais são obtidas pelo somatório das Reservas reguladoras e Reservas permanentes ( $R_t = R_r + R_p$ ).

$$R_{t \text{ (Raizama +Diamantino)}} = [R_r \text{ (Raizama)} + R_p \text{ (Raizama)}] + [R_r \text{ (Diamantino)} + R_p \text{ (Diamantino)}]$$

$$R_r \text{ (Raizama)} + R_p \text{ (Raizama)} = 7,69 \times 10^8 \text{ m}^3 + 2,15 \times 10^{10} \text{ m}^3$$

$$R_r \text{ (Raizama)} + R_p \text{ (Raizama)} = 2,23 \times 10^{10} \text{ m}^3$$

$$R_r \text{ (Diamantino)} + R_p \text{ (Diamantino)} = 5,68 \times 10^8 \text{ m}^3 + 1,30 \times 10^{10} \text{ m}^3$$

$$R_r \text{ (Diamantino)} + R_p \text{ (Diamantino)} = 1,36 \times 10^{10} \text{ m}^3$$

$$R_{t \text{ (Raizama +Diamantino)}} = 2,23 \times 10^{10} \text{ m}^3 + 1,36 \times 10^{10} \text{ m}^3$$

$$R_{t \text{ (Raizama +Diamantino)}} = 3,58 \times 10^{10} \text{ m}^3$$

## Reservas Explotáveis (Re)

Os valores definidos para o percentual do volume de reserva permanente para efeito de estimativas da reserva explotável foram determinados para um cenário realista. Neste caso se considera que os volume retirados contribuem para criação de um espaço vazio no aquífero, determinado pelos cones de rebaixamento, que permitem uma recarga induzida com parte do volume que anteriormente não alcançava a zona saturada em função de perdas laterais por escoamento superficial (*overland flow*) e por interfluxo (*interflow*) em direção a regiões circunvizinhas topograficamente mais baixas.

Desta forma as disponibilidades podem ser estimadas pela seguinte equação:  $Re = R_r + (\%) \cdot R_p$ , onde: (%) é o percentual do volume da reserva permanente que pode ser utilizado sem prejuízo aos sistemas aquíferos.

$$Re \text{ (Raizama + Diamantino)} = [R_r \text{ (Raiza.)} + (\%/ano) \cdot R_p \text{ (Raiza.)}] + [R_r \text{ (Diaman.)} + (\%/ano) \cdot R_p \text{ (Diaman.)}]$$

$$R_r \text{ (Raizama)} + (\%/ano) \cdot R_p \text{ (Raizama)} = 7,69 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{ano} + (0,08/\text{ano}) \cdot 2,15 \times 10^{10} \text{ m}^3$$

$$R_r \text{ (Raizama)} + (\%/ano) \cdot R_p \text{ (Raizama)} = 2,49 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$R_r \text{ (Diamantino)} + (\%/ano) \cdot R_p \text{ (Diamantino)} = 5,68 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{ano} + (0,06/\text{ano}) \cdot 1,30 \times 10^{10} \text{ m}^3$$

$$R_r \text{ (Diamantino)} + (\%/ano) \cdot R_p \text{ (Diamantino)} = 1,35 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$Re \text{ (Raizama +Diamantino)} = 2,49 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano} + 1,35 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$Re \text{ (Raizama +Diamantino)} = 3,83 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Sendo assim, as disponibilidades hídricas subterrâneas dos aquíferos Raizama e Diamantino equivalem a uma caixa d'água com formato cúbico com 1,55 km de aresta.

## **5.6 PROPOSTA PARA PLANO DE MONITORAMENTO**

A necessidade de se praticar a gestão dos recursos hídricos subterrâneos requer a implantação de um plano de monitoramento para identificar possíveis impactos às águas subterrâneas em decorrência da exploração ou das diferentes formas de uso e ocupação dos terrenos. A implantação de um plano de monitoramento permitirá melhor estimar a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos e ampliar o conhecimento hidrogeológico acerca dos aquíferos de dupla porosidade da região do Alto Paraguai no Mato Grosso.

O plano de monitoramento proposto de ser representado por um conjunto de poços distribuídos geograficamente conforme contemple pelo menos 1 poço para cada área de micro bacia hidrogeológica, de forma que seja possível realizar posteriormente estudos de interpretação dos dados obtidos ao longo do tempo. Para a escolha dos pontos de monitoramento deve-se levar em consideração a escolha de áreas que tenham facilidade de acesso, assim como evitar, se for possível, áreas isoladas em que há maior risco de depredação e perda de dados.

A locação dos poços deverá ser realizada de forma cautelosa, utilizando o máximo de informação técnica existente para área, como levantamentos cartográficos geológicos e hidrogeológicos, relatórios técnicos e levantamentos geofísicos, a fim de evitar erros com perfuração em alvos estratigráficos errados, e aquíferos suspensos sem qualquer comunicação hidráulica com as demais camadas saturadas mais profundas (que se deseja monitorar).

Cada poço deverá estar locado em áreas afastadas de concentrados urbanos e de áreas de indústrias a fim de evitar imediatas interferências por intervenções antrópicas como cones de rebaixamento de poços de produção e contaminações por lançamento de efluentes. Apesar da rede monitoramento ter como objetivo o controle quantitativo e qualitativo dos aquíferos os resultados deverão remeter a um diagnóstico regional e não pontual.

Os poços deverão ter localização definida com a utilização de GPS geodésicos e nivelamento preciso com levantamento altimétrico com utilização de referência de níveis homologados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

Os poços também deverão ter informações corretas (e confiáveis) sobre perfis litológicos, estratigráficos e construtivos. As profundidades deverão obedecer a um padrão mínimo de 90 metros, tendo os intervalos iniciais próximos à superfície perfurados com 6 polegadas e isolados por concreto em até 20 metros para evitar à entrada d'água freática para a coluna do poço, incluindo os casos de aquíferos rasos suspensos e contaminantes próximos a superfície, além de garantir a estabilidade das paredes poço. Os demais intervalos, perfurados com diâmetro de 4

polegadas, devem ser preferencialmente não revestidos. Este tipo de poço é necessário para que o monitoramento seja exclusivo da porção rochosa do aquífero, uma vez que os solos e saprolitos de recobrimento apresentam um comportamento de aquífero exclusivamente e em muitos casos são considerados independentes (como por exemplo, ocorre na região do Aquífero Paranoá no Distrito Federal). Se revestimentos forem necessários, os filtros deverão ser distribuídos, de forma intercalada com os tubos geomecânico, conforme a existência de litologias mais favoráveis para entrada d'água e de forma mais profunda possível.

Ao fim da perfuração os poços deverão ser desenvolvidos de forma eficiente para evitar que fiquem resíduos de lama de perfuração. Posteriormente deverá ser realizado ensaio de rebaixamento com bomba submersa, a vazão constante e duração mínima de 12 horas visando a obtenção de dados para os cálculos de parâmetros transmissividade e condutividade hidráulica. As medições hidroquímicas devem ser realizadas *in situ* para os parâmetros pH, Eh, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e temperatura. Para as análises completas, amostras de água deverão ser coletadas e levadas para laboratório especializado para obtenção de sódio, potássio, cálcio e magnésio, cloreto, sulfato, carbonato e bicarbonato, além do nitrato, e parâmetros medidos *in situ*.

Caso haja viabilidade técnico-financeira deverão ser instalados equipamentos de leitura automática (transdutores de pressão) para medição do nível d'água em cada poço, e conjunto equipamentos de pluviômetro e infiltrômetro para água de chuva em pelo menos 6 poços bem distribuídos geograficamente. Caso não haja tal viabilidade, as medições de nível d'água podem ser realizadas de forma manual; os valores de precipitação podem ser obtidos utilizando o inventário mensal de estações pluviométrica da Agência Nacional de Águas, e os dados de capacidade de infiltração da água da chuva no terreno devem de ser inferidos utilizando informações de outras regiões que mostrem solos, relevo e distribuição espaço-temporal de chuvas semelhantes.

As medições de nível (quando realizadas manualmente) deverão ser realizadas em ciclos mensais por um técnico responsável pela leitura e manutenção de toda aparelhagem, e a cada semestre, as análises hidroquímicas deverão ser repetidas. A retirada das amostras poderá ser realizada manualmente com auxílio de *bailer* ou com a utilização de bomba submersível de 12 Volts para purga (eliminação da água estagnada) e amostragem da água do poço. As bombas compactas de 12 Volts podem ser alimentadas por baterias de veículos de campo facilitando a operação de amostragem.

## CAPÍTULO 6

### CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

#### 6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além dos aquíferos de dupla porosidade citados neste trabalho, outros exemplos que apresentam características semelhantes quanto à sua gênese, evolução diagenética e regimes de deformação pós-deposicional podem ser lembrados. Os reservatórios constituídos por rochas metassedimentares de muito baixo grau metamórfico, como metapsamíticos associados a metapelitos e/ou metapsefitos, são sugestivos de apresentar comportamento de fluxo controlado por dupla porosidade. São exemplos de reservatórios que apresentam esse comportamento em pelo menos algumas áreas de ocorrência:

- Sistema Aquíferos Aguapeí, situado na Província Sunsás;
- Aquíferos Raizama, Diamantino e Paranoá, localizados na Província Tocantins; e
- Aquíferos Bebedouro, Morro do Chapéu, Caboclo, Tombador e Formação Três Marias do Grupo Bambuí, associados ao Cráton São Francisco.

Também podem ser enquadrados como exemplos de reservatórios de dupla porosidade os sedimentos de algumas bacias sedimentares proterozoicas que apresentam porosidade intergranular residual e secundária por fratura, como por exemplo, rochas associadas às formações Dardanelos, Beneficente e Palmeiral, relacionadas ao Cráton Amazônico.

Além destes, os reservatórios de bacias paleozoicas, caracterizados por sedimentos de forte compactação, acentuada litificação e desenvolvimento de fraturas, pode apresentar comportamento de aquífero intergranular e fraturado simultaneamente. São exemplos que devem ser lembrados nesta categoria de aquíferos em pelo menos algumas porções de sua ocorrência (principalmente em área aflorantes e em menores ocorrências quando confinados):

- Sistemas Aquíferos Furnas e Aquidauana, pertencentes à Bacia do Paraná;
- Aquífero Tacaratu, da Bacia do Jatobá; e
- Sistema Aquífero Serra Grande, localizado na Bacia do Parnaíba.

Outro exemplo importante, de idade mesozoica, é representado por algumas áreas de ocorrência do Sistema Aquífero Guarani, localizado na Bacia do Paraná, que apresenta arenitos silicificados intensamente fraturados.

É importante destacar que boa parte destes aquíferos pode apresentar padrões variáveis quanto ao tipo de fluxo das águas subterrâneas. Um reservatório constituído por metassedimentos de uma sequência de baixo grau metamórfico pode apresentar um

comportamento exclusivamente fraturado para as zonas mais próximas do núcleo do orógeno, um comportamento essencialmente intergranular para aquelas zonas mais externas, e um comportamento misto, de dupla porosidade, para as zonas intermediárias. Em relação aos reservatórios constituídos por sedimentos de bacias, os padrões divergem em intergranular e de dupla porosidade, conforme a intensidade de atuação dos processos diagenéticos aditivos (cimentação, compactação e infiltração mecânica de argilas) aos quais os materiais tenham sido submetidos.

## 6.2 CONCLUSÕES

A caracterização dos aquíferos de dupla porosidade da região do Alto Paraguai no Estado de Mato Grosso permitiu um melhor entendimento do comportamento hidráulico de reservatórios com fluxos controlados, simultaneamente, por fraturas e porosidade intergranular.

Os resultados obtidos a partir dos estudos de caracterização foram utilizados para uma classificação do tipo de aquífero predominante quanto ao tipo de porosidade aplicando uma proposta de enquadramento que estabelece um domínio intermediário entre os clássicos tipos de aquíferos intergranulares e fraturados. Os limites estabelecidos e considerados para os reservatórios com comportamento de dupla porosidade foram aproximadamente de 20% de porosidade intergranular e 80% de porosidade planar a 80% de porosidade intergranular e 20% de porosidade planar, ressaltando que estes limites não devem ser considerados matematicamente rígidos.

Os aquíferos de dupla porosidade Raizama e Diamantino constituem importantes reservatórios que podem ser utilizados como fonte alternativa para abastecimento para consumo humano, industrial e para atividades rurais. Os reservatórios são formados por metassedimentos de baixo grau metamórfico, deformados e distribuídos ao longo de uma faixa arqueada com direção nordeste-sudoeste. As litologias mais favoráveis para armazenamento e produção de água são os arenitos e ortoquartzitos para o Aquífero Raizama, e arcóseos e metarcóseos para o Aquífero Diamantino.

Apesar de as sucessões estratigráficas atingirem juntas espessuras totais da ordem de 1.000 metros, a espessura de saturação está condicionada a existência de fraturas abertas e espaços intergranulares em considerável quantidade. Os intervalos iniciais, logo abaixo do solo, até aproximadamente 90 metros ocorrem as melhores condições em função da disposição aberta das fraturas, interconexão e entre a porosidade primária e/ou secundária por intemperismo. Para os intervalos seguintes, a porosidade efetiva diminui de forma gradativa até aproximadamente 180 metros, e a partir desta profundidade, fraturas fechadas e poros residuais predominam sem permitir a transmissão de água de forma significativa.



Hidraulicamente, estes aquíferos são considerados heterogêneos, anisotrópicos, de baixa permeabilidade, e com transmissão de água condicionada a porosidades planares (fraturas, falhas e acamamentos) e intergranulares (primárias e secundárias por dissolução de cimentos e grãos instáveis). De forma geral, o sentido do fluxo nestes aquíferos é principalmente condicionado às anisotropias planares (fraturas e plano de acamamento), enquanto a porosidade intergranular (matricial) é mais importante para armazenamento de água. Entretanto, esta condição pode ser variável, em virtude das razões de volumes entre os dois tipos de porosidade.

Os resultados obtidos para a zona não saturada destes aquíferos demonstraram que na maior parte dos latossolos, a condutividade hidráulica vertical apresenta diminuição dos valores em até duas ordens de grandeza com o aumento da profundidade, e oferece alguma resistência para o fluxo vertical, em função do aumento da quantidade de argila presente a maiores profundidades, e pela diminuição da eficiência da sua estruturação. Os valores médios são na ordem de  $10^{-5}$  m/s para a profundidade de 0,5 metro, e diminui em média até  $10^{-7}$  m/s, a 2 metros de profundidade. Em superfície, a condutividade hidráulica vertical tem valores na ordem de grandeza  $10^{-5}$  m/s, e pode variar no máximo em uma ordem de grandeza para mais ou para menos. Estes valores reduzidos em superfície são atribuídos às diferentes formas de uso e ocupação da bacia que resultam na compactação da superfície.

Embora o comportamento diferenciado em profundidade possa desviar a direção de fluxo vertical da água durante uma recarga por precipitação, induzindo uma taxa variável de interfluxo, tal comprometimento poderá ser diferenciado, sendo mais evidente na porção centro sul, em função do padrão geomorfológico caracterizado por serras, morros e escarpas, e menos evidente na porção norte, onde ocorrem chapadas e superfícies aplainadas em que o comportamento é insignificante uma vez que, mesmo que haja uma interrupção do sentido vertical da infiltração as perdas pelo fluxo interno são restritas.

Os parâmetros hidráulicos calculados para a zona saturada do aquífero Raizama a partir de quatro poços com ensaios de rebaixamento foram vazões médias de  $4,6 \text{ m}^3/\text{h}$ , rebaixamento médio de 43,7 metros, capacidade específica de  $0,14 \text{ (m}^3/\text{h)/m}$ . A partir da observação do comportamento da curva de rebaixamento, obtenção dos resultados analíticos e comparação com os dados litológicos e construtivos, foi identificado que dois destes poços captam o aquífero em condições de fluxo por faturamento e os outros dois em condições de dupla porosidade. Os parâmetros hidrodinâmicos médios obtidos a partir de dois poços que captam o aquífero na condição de dupla porosidade foram na ordem de grandeza de  $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  para transmissividade e  $10^{-7} \text{ m/s}$  para condutividade hidráulica. Os dados de hidroquímica demonstram baixos valores de sólido totais dissolvidos e condutividade elétrica variando entre 128 e  $142 \text{ } \mu\text{S/cm}$ .

Os dados médios obtidos para a zona saturada do aquífero Diamantino em três poços

foram de vazões de 9,9 m<sup>3</sup>/h, rebaixamento de 32,7 metros, capacidades específicas de 0,26 (m<sup>3</sup>/h)/m. A partir dos dados analíticos e descritivos, foi identificado que dentre estes poços, pelo menos um deve produzir água do aquífero através de uma porção que tem fluxo controlado por dupla porosidade, e os demais (ou pelo menos um deles) devem estar relacionados a sistemas fraturados. Os parâmetros hidrodinâmicos obtidos apenas para o único registro de poço que capta o aquífero com condição de dupla porosidade foram na ordem de grandeza de 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s para transmissividade e 10<sup>-7</sup> m/s para condutividade hidráulica. Os dados de hidroquímica apresentam valores de sólido totais dissolvidos e condutividade elétrica que variam entre 116,9 e 337µS/cm

Analisando os resultados de ensaios de rebaixamento verificou-se que geralmente estes aquíferos apresentam menores rebaixamentos e maiores capacidades específicas, quando comparados a dados de ensaios em aquíferos exclusivamente fraturados. As curvas de rebaixamento *versus* tempo observadas se apresentaram de forma mais suaves e consideravelmente estabilizadas, quando comparados a aquíferos fraturados tipicamente do embasamento cristalino. Além disso, os resultados analíticos dos ensaios são compatíveis para as condições verificadas em descrições litológicas de afloramentos, amostras de mão, seções delgadas e informações descritivas observadas no cadastro de poços que indicam métodos de perfuração diferentes (rotativo, percussivo e roto-pneumático) e eventuais necessidades de utilização de revestimentos e filtros para garantir a estabilidade estrutural dos poços.

A recarga se dá a partir das águas de chuva, que infiltra inicialmente através dos solos até atingir sistemas de fraturas e/ou porções em que exista porosidade intergranular. O fluxo para estes aquíferos se dá em função de três fatores: gradiente da carga hidráulica, anisotropia associada ao acamamento e anisotropia provocada por fraturas.

A direção do fluxo regional destes aquíferos é descrito pela resultante da soma dos vetores de carga hidráulica com a atitude principal dos planos mais abertos e mais persistentes. Os aquíferos apresentam fluxo local das áreas mais elevadas em direção mais baixas de contexto local em até aproximadamente 60 metros, e fluxo intermediário com forte influência de anisotropias de fraturas com profundidades de aproximadamente 180 metros, em direção as partes mais baixas do contexto regional como a planície do Pantanal e a depressão Cuiabana.

Os volumes de recargas mais importantes ocorrem na porção nordeste de sua área de ocorrência, próximo à região sudeste da área do município Diamantino-MT onde ocorrem cotas mais elevadas, relevos suave-ondulados, solos com boa capacidade de infiltração e as maiores precipitações médias anuais (1.700 a 1.900 mm).

As principais zonas de descargas ocorrem na porção norte, próximo à sede do município de Diamantino-MT, por perdas laterais para o Aquífero Parecis, e na porção centro sul, na região nordeste da área do Município Cáceres-MT, próximo a Serra do Magaval, por contribuição aos

afluentas do Rio Paraguai.

As reservas hídricas subterrâneas avaliadas para toda área de ocorrência da porção livre dos Aquíferos Raizama e Diamantino foram: reservas reguladoras de  $1,34 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$ , reservas permanentes de  $3,45 \times 10^{10} \text{ m}^3$ , reservas totais de  $3,58 \times 10^{10} \text{ m}^3$  e reservas explotáveis  $3,83 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$ . Sendo assim, as disponibilidades hídricas subterrâneas dos aquíferos Raizama e Diamantino equivalem a uma caixa d'água com formato cúbico com 1,55 km de aresta.

### 6.3 RECOMENDAÇÕES

O aprofundamento dos estudos hidrogeológicos dos Aquíferos Raizama e Diamantino na região do Alto Paraguai no Mato Grosso é de fundamental importância para o desenvolvimento de políticas confiáveis de gerenciamento de recursos hídricos de uma região que tem um bom potencial para o desenvolvimento econômico de atividades rurais e industriais, e, além disso, dar continuidade às discussões técnicas sobre o comportamento hidráulico de aquíferos, simultaneamente, com características de porosidade fraturada e intergranular.

Para melhor consolidação do conhecimento e implantação de uma política que vise ao desenvolvimento sustentável da região, serão necessárias adoções das seguintes ações:

- Aprofundamento do conhecimento hidrogeológico com enfoque para o aperfeiçoamento dos modelos conceituais dos aquíferos. Estes estudos deverão estar apoiados por mapeamento geológico de detalhe e levantamentos geofísicos, que permitam uma melhor compreensão das distribuições espaciais e estruturação dos reservatórios;
- Construção de poços estratigráficos totalmente penetrantes, para melhor compreensão das características geológicas dos reservatórios;
- Implantação de rede de monitoramento, conforme descrito no item 5.6 PROPOSTA PARA PLANO DE MONITORAMENTO, para identificar possíveis impactos às águas subterrâneas em decorrência da exploração ou das formas de uso e ocupação dos terrenos na região;
- Avaliação analítica de resultados de novos ensaios de bombeamento para os aquíferos de interesse e outros adjacentes que possam apresentar alguma interação hidráulica seja por recarga ou descarga. Para as avaliações dos dados de bombeamento devem-se aplicar, preferencialmente, os métodos de dupla porosidade e de Moench e evitar a utilização de métodos aplicados a sistemas intergranulares como Theis, Hantush, Neuman, que apresentam resultados contrastantes, na maioria dos casos desvinculados da realidade dos aquíferos em estudo;
- Reavaliação das reservas hídricas subterrâneas utilizando dados de balanço hídrico integrado, quantificando de forma precisa todos os volumes de entrada e saída d'água do

sistema;

- Análises isotópicas para determinação das velocidades dos fluxos subterrâneos em diferentes profundidades e avaliação do tempo de residência utilizando os pontos de descarga;
- Estudos de modelagem da circulação da água subterrânea incluindo a simulação de cenários futuros conforme os possíveis usos da água subterrânea na região;
- Mapeamento de tipo de uso e ocupação e das áreas mais vulneráveis a contaminação em escalas regionais e de detalhe nas áreas urbanas, visando à criação de instrumentos que permitam o controle e proteção das reservas hídricas subterrâneas e abalizar propostas para abastecimentos público/privado para consumo humano, industrial e de atividade rural na região de forma sustentável;
- Estabelecer critérios rígidos para licenciamento de empreendimentos e definir limites para vazões captadas em mananciais superficiais e vazões exploradas em poços para os processos de outorga conforme as condições da área; e
- Formalizar rede cooperação técnica entre instituições públicas ou privadas que atuam na região para promover uma divisão de responsabilidades e troca de informações e conhecimentos técnicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAS. 2013. Educação: *Águas subterrâneas, o que são?* Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Disponível em: < <http://www.abas.org/educacao.php#ind21> > acesso em 25 de novembro de 2013.
- ALMEIDA, L; RESENDE, L; RODRIGUES, A. P; CAMPOS, J. E. G. 2006. *Hidrogeologia do estado de Goiás e Distrito Federal*. Goiás: Secretaria de Indústria e Comércio, Superintendência de Geologia e Mineração. Série Geologia e Mineração, n.1. 132p..
- ALMEIDA, L. F. G., MELO, S. C. & FRIAÇA, G. C. 1972. *A geologia e as perspectivas econômico - minerais da estrada de integração nacional Cuiabá - Santarém (trecho Cuiabá - Cachimbo)*. In.: CONGRESSO BRASILEIRO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26, 1972, Belém. Anais. 25p. SBG. Belém.
- ALMEIDA, F. F. M. 1959. *Traços gerais de geomorfologia do Centro-Oeste brasileiro*. In.: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOGRAFIA, 18. Boletim. v.1. Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, F. F. M. 1964. *Geologia do Centro-Oeste matogrossense*. Bol. Div. de Geol. e Mineralogia, Rio de Janeiro, n.215, 137p.
- ALMEIDA, F. F. M. 1964a. *Os fundamentos geológicos*. In.: AZEVEDO, A. de Brasil, A Terra e o homem. São Paulo: Comp.Ed. Nacional. v.1, p.55-120. (Ed. Brasileira, Formato Especial, 1).
- ALVARENGA, C. J. S. 1984. *Dobramentos da Faixa Paraguai na borda sudeste do Cráton Amazônico*. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia - SBG. Anais, Rio de Janeiro. p. 3258-3271.
- ALVARENGA, C. J. S; CATHELINEAU, M; DUBESSY, J. 1990. *Chronology and Orientation of N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, and H<sub>2</sub>O-rich fluid-inclusion trails in intrametamorphic quartz veins from the Cuiabá gold district, Brazil*. Mineralogical Magazin, n.54, p.245-255.
- ALVARENGA, C. J. S; TROMPETTE, R. 1988. *Upper Proterozoic glacial enviroment of the border of Amazonian Craton and its evolution towards the adjacents Paraguay Belt, (Mato Grosso, Brazil)*. In.: MEETING EARTH'S GLACIAL RECORD - PROJ. 260, Cuiabá. Abstracts and Field Trip. Cuiabá: IGCP-UNESCO/ UFMT. P.31-44
- ALVARENGA, C. J; TROMPETTE, R. 1993. *Evolução Tectônica Brasileira da Faixa Paraguai: A Estruturação da região de Cuiabá*. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.23, n.1, p.18-30.
- ASSINE, M. L. 1996. *Aspectos da Estratigrafia das sequências Pré-Carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil*. 207p.Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências.
- BARENBLATT, G. I; ZHELTOV, I. P; KOCHINA, I. N. 1960. *Basic concepts in the theory of seepage of homogeneous liquids in fissured rocks*. Journal of Applied Mathematics and Mechanics, vol. 24:1286-303.
- BARROS, A. M; SILVA, R. H; CARDOSO, O. R. F. A. 1982. *Geologia* In.: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radambrasil. *Folha SD.21 Cuiabá: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. p.25-192. (Levantamento de Recursos Naturais, 26). Rio de Janeiro.
- BÄUMLE, R. *Geohydraulic Characterisation of Fractured Rock Flow Regimes: Regional Studies in Granite and Dolomite*. 2003. Doctoral Thesis, Universität Karlsruhe (TH), 2003.
- BOMFIM, L. F. C. 2007. *Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil. Sistema de Informações Geográficas-SIG*, CPRM - CPRM - Serviço Geológico do Brasil, escala de 1:2.500.000. Águas Subterrâneas. CD-ROM.
- CPRM. 2013. *Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS*. Base do Banco de dados SIAGAS. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, RJ.
- CORRÊA, J. A., COUTO, E. A. 1972. *Projeto Aluviões Diamantíferos de Mato Grosso*. Convênio DNPM / CPRM. 2v. Goiânia.

- COSTA, E. L; SILVA, A. M; COLOMBO, A; ABREU, A. R. 1999. *Infiltração de água em solo, determinada por simuladores de chuvas e pelo método dos anéis*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, p. 131-134.
- COSTA, R; WESKA, R. K; SANTOS, J. X; SILVA, A. F. 2003. *A sequência Vulcano-clasto-química do Grupo Bauru da Região do Boiadeiro, Município de Dom Aquino, Mato Grosso*. Simósio de Geologia do Centro-Oeste, 8. Boletim de Resumos. SBG, Núcleo Centro-Oeste, p: 127. Cuiabá.
- COSTA, W. D. 2000. Uso e gestão de água subterrânea. In: FEITOSA, F.A.C; MANOEL FILHO *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. 2a ed. Rev. e Ampl. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, RJ. p. 341-367.
- COSTA ALMEIDA, C. A. 1985. *Hidrogeologia do Algarve Central*. Dissertação de Doutorado - Universidade de Lisboa.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2004. *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: sistema de informações geográficas - SIG*. Programa Geologia do Brasil. SIG das 46 Folhas do Brasil ao milionésimo.. 41 CDs. Brasília, DF.
- CUSTÓDIO, E; LLAMAS, M. R. 1983. *Hidrogeologia subterrânea*. 2a ed. Barcelona: Ediciones Omega. 2v.
- DINIZ, J. A. O; MONTEIRO, A. B; SILVA, R. C; DE PAULA, T. L. F. 2014. *Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo.*, Recife: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014. Nota Técnica, 45 p. il. 1 mapa, color., 1,78 cm x 91,00 cm, 1:5.000.000. Programa de Cartografia Hidrogeológica.
- FEITOSA, F. A. C; MANOEL FILHO, J; FEITOSA, E. C; DEMETRIO, J.G. 2008. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. 3a ed. rev. e ampl. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, RJ. 812p.
- FERNANDES, L. A. 1992. *A cobertura cretácea suprabásica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá*. 129p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo.
- 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*. Revista Brasileira de Geociências, v.24, n.3, p.164-176.
- FERNANDES, L. A. & COIMBRA, A. M. 2000. *Revisão estratigráfica da parte oriental da bacia Bauru (neocretáceo)*. Revista Brasileira de Geociências, 30(4):171-728.
- FETTER, C. W. 1994. *Applied Hydrogeology*. Prentice-Hall Inc. New Jersey. 3rd ed. 691p.
- FIALHO, A; CHAMBEL, A; ALMEIDA, C. 1998. *Caracterização Hidráulica de Aquíferos Fraturados por Modelos de Porosidade Dupla no Concelho de Évora*. 4º Congresso de Água. 12p.
- FIGUEIREDO, A. J. A; EULALIO, A; RODRIGUES, A. P; BARRETO, B. F; PIMENTEL, G. B; COUTO, J. G. P; REISCHI, J. L; COSTA, S. A.G; RESENDE FILHO, S. T; PASTORE JUNIOR, W. P; RIBEIRO FILHO, W. 1974. *Projeto Alto Guaporé*. Relatório Final. Folha Tangará da Serra SD.21-YB. Goiânia: DNPM/CPRM. v.1.
- FIGUEIREDO, A. J. A; OLIVATTI, O. 1974. *Projeto Alto Guaporé*. Relatório Final Integrado. Relatório do Arquivo Técnico da DGM, 2323. Goiânia-GO: DNPM / CPRM., v.11.
- FONTENELE, L. G; DOS SANTOS, J. S. 2010. *Aplicação de Modelos de Hidráulica de Poços em Aquíferos Fissurais do Município de Baturité - Ceará*. V Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. Maceió - AL.
- FREEZE, R. A; CHERRY, E. J. A. 1979. *Groundwater*. Prentice Hall, Inc U.S. 604p.
- GASPAR, M. T. P; CAMPOS, J. E. G. 2007. *O Sistema Aquífero Urucuia*. Revista Brasileira de Geociências, 37(4): p. 216-226.
- GODOY, C. N. A; WESKA, R. K; RUBERT, R. R; SANTOS, J. X; SILVA, A. F; 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, Boletim de Resumos. SBG, Núcleo Centro-Oeste, p: 127. Cuiabá.
- GONZAGA DE CAMPOS, L. F. 1889. *Seção Geológica*. Comissão Geographica e Geológica. Typ.J. Skeller, p.21-34. São Paulo.
- HEATH, R. C. 1983. *Basic Ground Water Hydrology*. 1982 United States. Geological Survey Water Supply Paper. Traduzido por Mario Wrege e Paul Potter, IPH/UFRGS. Porto Alegre. Janeiro, p.25-192. (Levantamento de Recursos Naturais, 26).
- JOHNSON DIVISION, UOP. 1974. *Água subterrânea e poços tubulares*. 2. ed., rev., CETESB, Tradução de: Ground water and wells, São Paulo, SP. 392 p. il.
- LACERDA FILHO, J. V; ABREU FILHO, W; VALENTE, C. R; OLIVEIRA, C. C; ALBUQUERQUE, M. C. 2004. *Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso*. Programa Integração, Atualização e Difusão de Dados de Geologia do Brasil. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Convênio CPRM/SICME-MT, MME, Cuiabá, MT. 235p.
- LINS JUNIOR, A. G. 1991. *Injeção de Vapor em Reservatórios Heterogeneos com Dupla Porosidade*. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas. SP.
- LOUSADA, E. O; CAMPOS, J. E. G. 2005. *Proposta de modelos hidrogeológicos conceituais aplicados aos aquíferos da região do Distrito Federal*. Revista Brasileira de Geociências, 35(3): p. 407-414.
- LUZ, J. L; 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: CPRM. v.1, 136p. (Conv.DNPM / CPRM).
- LUZ, J. S; OLIVEIRA, A. M; LEMOS, D. B; RGOLO, J. L; SOUZA, J. O; TANNO, L. C; SOUZA, N. B; ABREU FILHO, W. 1978. *Projeto Província Serrana*. Relatório Final.Goiânia: CPRM. v.1, 105 p. (Convênio DNPM / CPRM)
- OLIVEIRA, E. P. 1912. *O Terreno Devoniano do Sul do Brasil*. Annaes da Escola de Minas de Ouro Preto. Vol. 14:31-41. Ouro Preto, MG.
- OLIVEIRA, I; LEONARDO, O. H. 1943. *Geologia do Brasil*. Ministério da Agricultura. Série Didática, 2a edição no. 2, Serv. Inf. Agrícola. Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA, L. A. 2009. *O Sistema Aquífero Guarani no estado de Goiás: distribuição, caracterização hidrodinâmica, hidroquímica, composição isotópica e CFCs*. Tese de Doutorado em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 188 p.
- OLIVEIRA, L. A; CAMPOS, J. E. G. 2003. *Sequência Conglomerática do Membro Araguari – Grupo Bauru – Norte do Triângulo Mineiro*. Revista de Geociências, v. 22, n. 1, p. 43-51, UNESP, São Paulo-SP.
- OLIVEIRA, L. A; CAMPOS, J. E. G. 2012. *Condições de circulação do Sistema Aquífero Guarani no estado de Goiás*. Revista Brasileira de Geociências, vol. 42, supl. 1, dezembro. São Paulo-SP.
- OLIVEIRA, V. A; AMARAL FILHO, Z. P; VIEIRA, P. C. 1982. *Pedologia – Levantamento Exploratório de Solos In: Projeto RADAMBRASIL vol.26. Folha SD.21 – Cuiabá*. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Rio de Janeiro, p. 257-400.
- MIGLIORINI, R. B. 1999. *Hidrogeologia em meio Urbano. Região de Cuiabá e Várzea Grande - MT*. São Paulo. 145p. (Tese de Doutorado apresentada no instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- MIGLIORINI, R. B; BARROS, M. S. A; APOETIA, F. M; FONSECA DA SILVA, J. J. 2006. *Diagnóstico Preliminar das Principais Províncias Hidrogeológicas do Estado Grosso: Uma Proposta de Mapas Hidrogeológico de Reconhecimento*. in Recurso Hídricos de ato Grosso Volume 3, UFMT, Cuiabá, MT.
- MOENCH, A. F. 1984. *Double-porosity models for a fissured groundwater reservoir with*

- fracture skin*, Water Resources Research, vol.20, No.7, p. 831-846.
- PADILHA, A. V; MONTES, A. S. L; BARROS, C. A. F; LEMOS, D. B; FROTA, G. B; LUZ, J. S; MOREIRA, J. M. P; MORENO, J. J. P; MONTES, M. L; MENEZES FILHO, N. R; CARDOSO, O. R. F. A; LIMA, M. P. F. C., ALMEIDA, W. J; ABREU FILHO, W; SANTANA, W. R. R. 1974. *Projeto Centro-Oeste de Mato Grosso*. DNPM/CPRM Relatório Final. Vol. 1. Goiânia.
- RABELO, L; SOARES, P. C. 1999. *Lineamento Transbrasiliano e Neotectônica na Bacia do Pantanal*. In.: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 7., 1999, Lençóis. Anais... Salvador: SBG/ BA-SE, p.79-82.
- REIS, J. C. 1990. *Oil Recovery Mechanisms in Fractured Reservoirs During Steam Injection*. Presented at seventh SPE/DOE symposium on enhanced oil recovery held in Tulsa - Oklahoma, p. 313-320.
- RIBEIRO FILHO, W; LUZ, J. S; ABREU FILHO, W. 1975. *Projeto Serra Azul: reconhecimento geológico*. Relatório Final. Escala 1:500.000. Goiânia: CPRM. v.1 (Convênio DNPM/CPRM).
- ROCHA, W. J. S; CARVALHO, R. S; ASSUNÇÃO, M. M. 2007. *Diagnóstico Hidrogeológico do Estado de Mato Grosso*. Secretaria de Recursos Hídricos - Ministério do Meio Ambiente, Cuiabá - MT.
- ROSS, J. L. S; Santos, L. M. 1982. Geomorfologia In: Projeto RADAMBRASIL vol.26. Folha SD.21 – Cuiabá. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Rio de Janeiro, P. 193-256.
- SAES, G. S. 1999. *Evolução tectônica e paleogeográfica do aulacógeno Aguapeí (1.2-1.0 Ga) e dos terrenos do seu embasamento na porção sul do Cráton Amazônico*. 1999. 135p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SAES, G. S; ALVARENGA, C. J. S; CUNHA, J. E. 1987. *Depósitos de Plataforma Marinha dominada por marés e tempestades do proterozoico médio na porção sudoeste do Cráton Amazônico, Região de Rio Branco, MT*. In.: Simpósio sobre Sistemas Depositionais no Pré-cambriano, 1987, Ouro Preto. Anais ... Ouro Preto: SBG-Núcleo Minas Gerais. 102p.p.1-5 (Boletim, 6).
- SMITH, D. I; ATKINSON, T. C; DREW, D. P. 1976. *The hydrology of limestone terrains*. In: Ford, T. D. & Cullingford (eds.), *The science of speleology*. Londo, Academic Press, p. 179-212.
- SOUZA, E. P; HILDRED, P. R. 1980. *Contribuição ao Estudo da Geologia do Grupo Aguapeí, Oeste de Mato Grosso*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31, 1980, Balneário de Camboriú. Anais.... Balneário de Camboriú: SGB. v.2, p.813-825.
- TEIXEIRA, W, TOLEDO, M. C. M; FAIRCHILD, T. R; TAIOLI, F. 2000. *Decifrando a Terra*. Oficina de Texto, São Paulo. 568p.
- TODD, D. K. 1980. *Ground Water Hydrology*. New York: John Wiley.
- 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. Anais. SBG. Bélem.
- WONG, H; LEO CHIN, J; PEREIRA, J. M, DUBUJET, P. 2007. *Sedimentation-consolidation of a double porosity material*. Computers and Geotechnics, 34:532-538.
- ZOLTAN, R. C. R; MAIA, P. H. P; LIMA, C. E. S; ARAÚJO, V. M; CRUZ, L. V. M. 2009. *Hidrodinâmica do Sistema Aquífero Urucua e seu Rebatimento para a Gestão da Água na Reião Oeste do Estado da Bahia*. I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. São Paulo-SP. 14p.



## ANEXO

### I. CÁLCULOS DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA PARA ZONA NÃO SATURADA - ENSAIOS *IN SITU* PELOS MÉTODOS DOS ANÉIS CONCÊNTRICOS E *OPEN END HOLE*

#### Ensaio em Latossolos

<b>LATOSSOLO</b>	<b>UTM 470748 / 8374462 (Ponto TP-AP-08)</b>
------------------	--

Profundidade	mi (mm)	hi (mm)	mf (mm)	hf (mm)	Δt (mim)	I (mm)	Kv (m/s)
<b>Superficial</b>	55	125	152	28	12,25	70	1,42E-04

Profundidade	mi (cm)	hi (cm)	mf (cm)	hf (cm)	Δt (seg)	L (cm)	Kv (m/s)
50	4,8	53,2	7	51	2395	58	2,20E-05
100	5,2	100,8	6	100	2400	106	4,15E-06
150	5,8	160,2	8,9	157,1	2400	166	1,02E-05
200	51	166	51,01	165,99	2400	217	3,14E-08

<b>LATOSSOLO</b>	<b>UTM 480902 / 8348508 (Ponto TP-AP-09)</b>
------------------	--

Profundidade	mi (mm)	hi (mm)	mf (mm)	hf (mm)	Δt (mim)	I (mm)	Kv (m/s)
<b>Superficial</b>	40	150	49	141	41,25	60	1,50E-06

Profundidade	mi (cm)	hi (cm)	mf (cm)	hf (cm)	Δt (seg)	L (cm)	Kv (m/s)
50	4,5	55	9,5	50	2440	59,5	4,88E-05
100	5,3	104,9	29	81,2	2450	110,2	1,31E-04
150	5,5	158	23,3	140,2	2460	163,5	6,07E-05
200	5,5	194,5	26,5	173,5	2475	200	5,77E-05

<b>LATOSSOLO</b>	<b>UTM 488087 / 8324049 (Ponto TP-AP-10)</b>
------------------	--

Profundidade	mi (mm)	hi (mm)	mf (mm)	hf (mm)	Δt (mim)	I (mm)	Kv (m/s)
<b>Superficial</b>	48	137	90	95	43	65	9,22E-06

Profundidade	mi (cm)	hi (cm)	mf (cm)	hf (cm)	Δt (seg)	L (cm)	Kv (m/s)
50	6	47,4	6,5	46,9	2440	53,4	5,43E-06
100	5,5	99,6	23,5	81,6	2450	105,1	1,02E-04
150	5,4	155,6	12,8	148,2	2460	161	2,48E-05
200	5,5	194	17	182,5	2475	199,5	3,09E-05

<b>LATOSSOLO</b>	<b>UTM 446483 / 8204060 (Ponto TP-AP-21)</b>						
------------------	--	--	--	--	--	--	--

<b>Profundidade</b>	<b>mi (mm)</b>	<b>hi (mm)</b>	<b>mf (mm)</b>	<b>hf (mm)</b>	<b><math>\Delta t</math> (mim)</b>	<b>I (mm)</b>	<b>Kv (m/s)</b>
<b>Superficial</b>	<b>38</b>	<b>162</b>	<b>86</b>	<b>114</b>	<b>53,9167</b>	<b>50</b>	<b>5,43E-06</b>

<b>Profundidade</b>	<b>mi (cm)</b>	<b>hi (cm)</b>	<b>mf (cm)</b>	<b>hf (cm)</b>	<b><math>\Delta t</math> (seg)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>Kv (m/s)</b>
<b>50</b>	<b>5,4</b>	<b>49,1</b>	<b>5,9</b>	<b>48,6</b>	<b>3275</b>	<b>54,5</b>	<b>3,91E-06</b>
<b>100</b>	<b>5,6</b>	<b>96,6</b>	<b>6,1</b>	<b>96,1</b>	<b>3275</b>	<b>102,2</b>	<b>1,98E-06</b>
<b>150</b>	<b>Teste falhou. Os níveis não foram medidos, a água vazou.</b>						

<b>LATOSSOLO</b>	<b>UTM 445258 / 8204035 (Ponto TP-AP-22)</b>						
------------------	--	--	--	--	--	--	--

<b>Profundidade</b>	<b>mi (mm)</b>	<b>hi (mm)</b>	<b>mf (mm)</b>	<b>hf (mm)</b>	<b><math>\Delta t</math> (mim)</b>	<b>I (mm)</b>	<b>Kv (m/s)</b>
<b>Superficial</b>	<b>46</b>	<b>149</b>	<b>150</b>	<b>45</b>	<b>38,83333</b>	<b>55</b>	<b>2,83E-05</b>

<b>Profundidade</b>	<b>mi (cm)</b>	<b>hi (cm)</b>	<b>mf (cm)</b>	<b>hf (cm)</b>	<b><math>\Delta t</math> (seg)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>Kv (m/s)</b>
<b>50</b>	<b>6,6</b>	<b>47,4</b>	<b>17,8</b>	<b>36,2</b>	<b>2615</b>	<b>54</b>	<b>1,29E-04</b>
<b>100</b>	<b>6,2</b>	<b>105,3</b>	<b>15,4</b>	<b>96,1</b>	<b>2590</b>	<b>111,5</b>	<b>4,41E-05</b>
<b>150</b>	<b>5,7</b>	<b>148,3</b>	<b>6,1</b>	<b>147,9</b>	<b>2600</b>	<b>154</b>	<b>1,30E-06</b>
<b>200</b>	<b>5,1</b>	<b>199,9</b>	<b>5,7</b>	<b>199,3</b>	<b>2590</b>	<b>205</b>	<b>1,45E-06</b>

<b>LATOSSOLO</b>	<b>UTM 546364 / 8197639 (Ponto TP-AP-24)</b>						
------------------	--	--	--	--	--	--	--

<b>Profundidade</b>	<b>mi (mm)</b>	<b>hi (mm)</b>	<b>mf (mm)</b>	<b>hf (mm)</b>	<b><math>\Delta t</math> (mim)</b>	<b>I (mm)</b>	<b>Kv (m/s)</b>
<b>Superficial</b>	<b>4,4</b>	<b>190,6</b>	<b>85</b>	<b>110</b>	<b>49</b>	<b>55</b>	<b>1,03E-05</b>

<b>Profundidade</b>	<b>mi (cm)</b>	<b>hi (cm)</b>	<b>mf (cm)</b>	<b>hf (cm)</b>	<b><math>\Delta t</math> (seg)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>Kv (m/s)</b>
<b>50</b>	<b>5</b>	<b>52</b>	<b>6,5</b>	<b>50,5</b>	<b>2895</b>	<b>57</b>	<b>1,26E-05</b>
<b>100</b>	<b>7,3</b>	<b>102</b>	<b>43,7</b>	<b>65,6</b>	<b>2910</b>	<b>109,3</b>	<b>1,90E-04</b>
<b>150</b>	<b>6,3</b>	<b>157,2</b>	<b>16</b>	<b>147,5</b>	<b>2910</b>	<b>163,5</b>	<b>2,74E-05</b>
<b>200</b>	<b>5,1</b>	<b>194,9</b>	<b>39,2</b>	<b>160,8</b>	<b>2930</b>	<b>200</b>	<b>8,21E+05</b>

<b>LATOSSOLO</b>	<b>UTM 518890 / 8329257 (Ponto TP-AP-28)</b>						
------------------	--	--	--	--	--	--	--

<b>Profundidade</b>	<b>mi (mm)</b>	<b>hi (mm)</b>	<b>mf (mm)</b>	<b>hf (mm)</b>	<b><math>\Delta t</math> (mim)</b>	<b>I (mm)</b>	<b>Kv (m/s)</b>
<b>Superficial</b>	<b>49</b>	<b>136</b>	<b>104</b>	<b>81</b>	<b>52,5</b>	<b>65</b>	<b>1,07E-05</b>

<b>Profundidade</b>	<b>mi (cm)</b>	<b>hi (cm)</b>	<b>mf (cm)</b>	<b>hf (cm)</b>	<b><math>\Delta t</math> (seg)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>Kv (m/s)</b>
<b>50</b>	<b>6,6</b>	<b>47,4</b>	<b>17,8</b>	<b>36,2</b>	<b>2615</b>	<b>54</b>	<b>1,29E-04</b>
<b>100</b>	<b>6,2</b>	<b>105,3</b>	<b>15,4</b>	<b>96,1</b>	<b>2590</b>	<b>111,5</b>	<b>4,41E-05</b>
<b>150</b>	<b>5,7</b>	<b>148,3</b>	<b>6,1</b>	<b>147,9</b>	<b>2600</b>	<b>154</b>	<b>1,30E-06</b>
<b>200</b>	<b>5,1</b>	<b>199,9</b>	<b>5,7</b>	<b>199,3</b>	<b>2590</b>	<b>205</b>	<b>1,45E-06</b>

<b>LATOSSOLO</b>	<b>UTM 509145 / 8281629 (Ponto TP-AP30)</b>						
------------------	---	--	--	--	--	--	--

<b>Profundidade</b>	<b>mi (mm)</b>	<b>hi (mm)</b>	<b>mf (mm)</b>	<b>hf (mm)</b>	<b><math>\Delta t</math> (mim)</b>	<b>I (mm)</b>	<b>Kv (m/s)</b>
<b>Superficial</b>	<b>40</b>	<b>160</b>	<b>110</b>	<b>90</b>	<b>50,83333</b>	<b>50</b>	<b>9,43E-06</b>

<b>Profundidade</b>	<b>mi (cm)</b>	<b>hi (cm)</b>	<b>mf (cm)</b>	<b>hf (cm)</b>	<b><math>\Delta t</math> (seg)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>Kv (m/s)</b>
<b>50</b>	<b>5,3</b>	<b>53,7</b>	<b>6,6</b>	<b>52,4</b>	<b>2835</b>	<b>59</b>	<b>1,08E-05</b>
<b>100</b>	<b>6,4</b>	<b>104,1</b>	<b>6,41</b>	<b>104,09</b>	<b>2840</b>	<b>110,5</b>	<b>4,23E-08</b>
<b>150</b>	<b>5,6</b>	<b>152,9</b>	<b>15,8</b>	<b>142,7</b>	<b>2855</b>	<b>158,5</b>	<b>3,02E-05</b>
<b>200</b>	<b>5,4</b>	<b>192,6</b>	<b>6,4</b>	<b>191,6</b>	<b>2865</b>	<b>198</b>	<b>2,27E-06</b>

<b>LATOSSOLO</b>	<b>UTM 512772 / 8285876 (Ponto TP-AP31)</b>						
------------------	---	--	--	--	--	--	--

<b>Profundidade</b>	<b>mi (mm)</b>	<b>hi (mm)</b>	<b>mf (mm)</b>	<b>hf (mm)</b>	<b><math>\Delta t</math> (mim)</b>	<b>I (mm)</b>	<b>Kv (m/s)</b>
<b>Superficial</b>	<b>49</b>	<b>151</b>	<b>180</b>	<b>20</b>	<b>21,75</b>	<b>50</b>	<b>7,75E-05</b>

<b>Profundidade</b>	<b>mi (cm)</b>	<b>hi (cm)</b>	<b>mf (cm)</b>	<b>hf (cm)</b>	<b><math>\Delta t</math> (seg)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>Kv (m/s)</b>
<b>50</b>	<b>5,6</b>	<b>51,4</b>	<b>9,8</b>	<b>47,2</b>	<b>3075</b>	<b>57</b>	<b>3,47E-05</b>
<b>100</b>	<b>5,8</b>	<b>103,2</b>	<b>8,5</b>	<b>100,5</b>	<b>3055</b>	<b>109</b>	<b>1,08E-05</b>
<b>150</b>	<b>5,2</b>	<b>154,8</b>	<b>5,7</b>	<b>154,3</b>	<b>3050</b>	<b>160</b>	<b>1,33E-06</b>
<b>200</b>	<b>5,2</b>	<b>193,6</b>	<b>5,21</b>	<b>193,59</b>	<b>3030</b>	<b>198,8</b>	<b>2,13E-08</b>

## Ensaio em Neossolo Flúvico

<b>NEOSSOLO FLÚVICO</b>	<b>UTM 561712 / 8184022 (Ponto TP-AP-23)</b>						
-------------------------	--	--	--	--	--	--	--

<b>Profundidade</b>	<b>mi (mm)</b>	<b>hi (mm)</b>	<b>mf (mm)</b>	<b>hf (mm)</b>	<b><math>\Delta t</math> (mim)</b>	<b>I (mm)</b>	<b>Kv (m/s)</b>
<b>Superficial</b>	<b>38</b>	<b>157</b>	<b>40</b>	<b>155</b>	<b>53,5</b>	<b>55</b>	<b>2,20E-07</b>

<b>Profundidade</b>	<b>mi (cm)</b>	<b>hi (cm)</b>	<b>mf (cm)</b>	<b>hf (cm)</b>	<b><math>\Delta t</math> (seg)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>Kv (m/s)</b>
<b>30</b>	<b>4,8</b>	<b>54,6</b>	<b>5,4</b>	<b>54</b>	<b>3165</b>	<b>59,4</b>	<b>4,36E-06</b>
<b>85</b>	<b>5</b>	<b>99,4</b>	<b>6,1</b>	<b>98,3</b>	<b>3160</b>	<b>104,4</b>	<b>4,40E-06</b>
<b>90</b>	<b>5,4</b>	<b>162,4</b>	<b>5,9</b>	<b>161,9</b>	<b>3155</b>	<b>167,8</b>	<b>1,22E-06</b>

## II. CÁLCULOS DE TRANSMISSIVIDADES E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA PARA ZONA SATURADA - ENSAIO DE BOMBAMENTO DO CADASTRO SIAGAS

### Ensaio em poços do Aquífero Raizama

IDT SIAGAS	Parâmetros Utilizados	Mét.	Ajuste Gráfico (aquifer test ver.14)	T (m <sup>2</sup> /s) K (m/s)
5200006668	Aquífero Raizama; Anisotrópico; Extensão infinita; Vazão variável; Penetração parcial; Esp. aquífero 350m; Esp. sat. aquíf. poço 61m.	Fluxo por Dupla porosidade		T = 6,91E-2  K = 1,31E-3
		Fluxo por Fratura de Moench		T = 2,92E-5  K = 4,79E-7
		Intergranular Cooper & Jacob		T = 7,07E-2  K = 1,16E-3

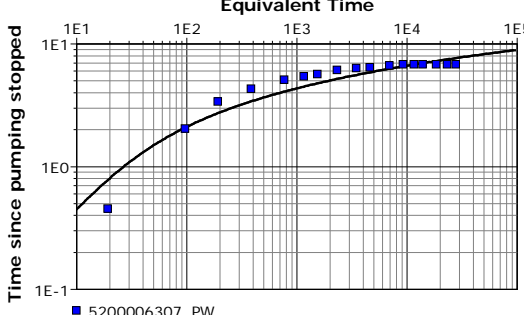
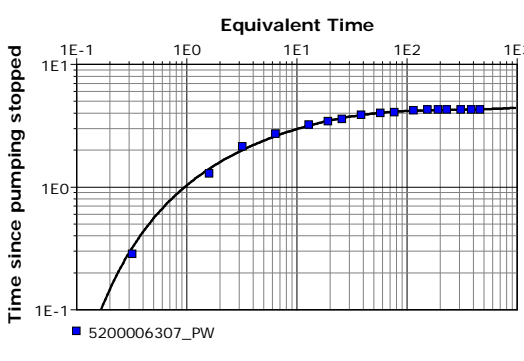
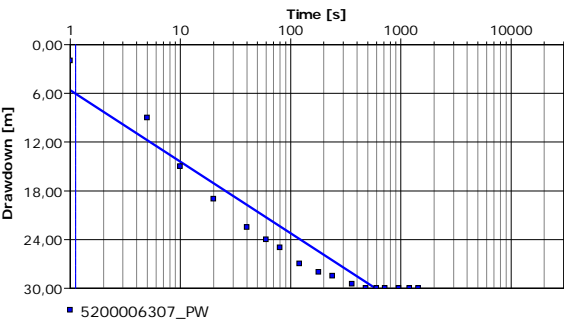
IDT SIAGAS	Parâmetros	Mét.	Ajuste Gráfico (aquifer test ver. 14)	T (m <sup>2</sup> /s) K (m/s)
5200006166	<p>Aquífero Raizama; Anisotrópico; Extensão infinita; Vazão variável; Penetração parcial; Esp. aquífero 350m; Esp. sat. aquíf. poço 69,7m.</p>	Fluxo por Dupla porosidade		<p>T = 1,22E-2</p> <p>K = 1,75E-4</p>
		Fluxo por Fratura de Moench		<p>T = 6,03E-6</p> <p>K = 8,65E-8</p>
		Intergranular Cooper & Jacob		<p>T = 4,08E-2</p> <p>K = 5,85E-4</p>

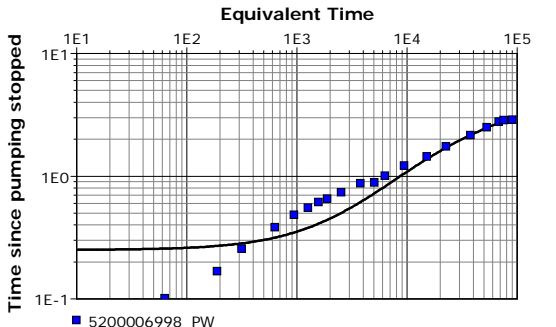
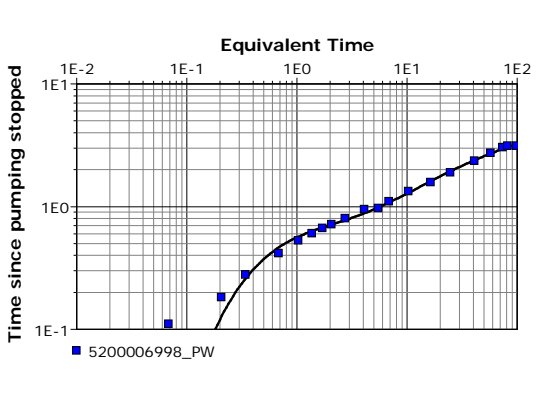
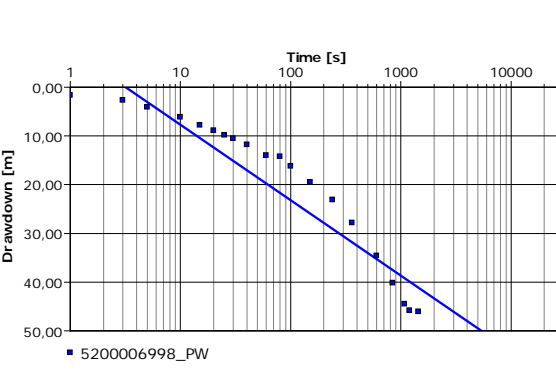
IDT SIAGAS	Parâmetros Utilizados	Mét.	Ajuste Gráfico (aquifer test ver.14)	T (m <sup>2</sup> /s) K (m/s)
5200006071	Aquífero Raizama; anisotrópico; Extensão infinita; Vazão variável; Penetração parcial; Esp. aquífero 350m; Esp. sat. aquíf. poço 111,1m.	Fluxo por Dupla porosidade		<p>T = 2,66E-3</p> <p>K = 2,39E-05</p>
		Fluxo por Fratura de Moench		<p>T = 4,42E-7</p> <p>K = 3,98E-09</p>
		Intergranular Cooper & Jacob		<p>T = 2,41E-2</p> <p>K = 2,17E-04</p>

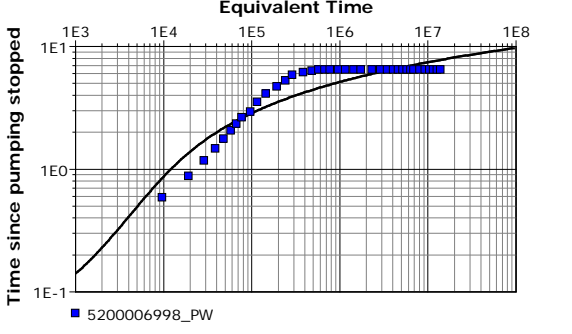
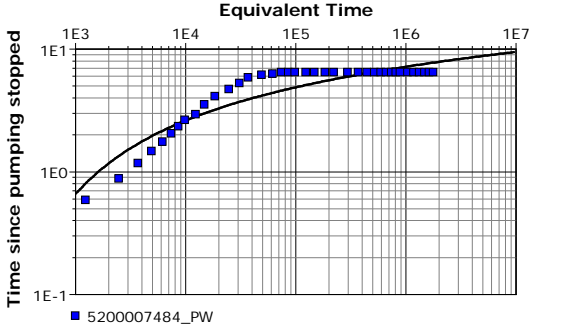
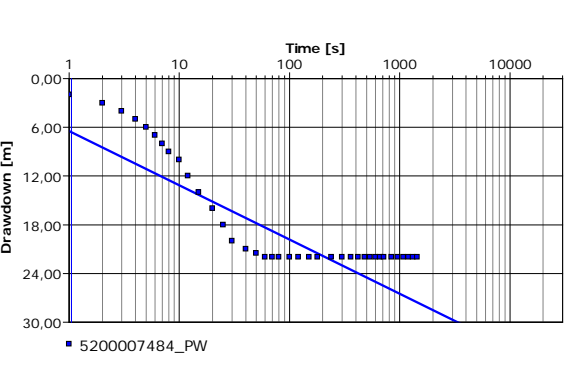
IDT SIAGAS	Parâmetros Utilizados	Mét.	Ajuste Gráfico (aquifer test ver.14)	T (m <sup>2</sup> /s) K (m/s)
5200006070	<p>Aquífero Raizama; Anisotrópico; Extensão infinita; Vazão variável; Penetração parcial; Esp. aquífero 350m; Esp. sat. aquíf. poço 89,7m.</p>	Fluxo por Dupla porosidade		<p>T = 3,13E-2</p> <p>K = 3,49E-4</p>
		Fluxo por Fratura de Moench		<p>T = 8,80E-6</p> <p>K = 9,81E-8</p>
		Intergranular Cooper & Jacob		<p>T = 1,55E-1</p> <p>K = 1,73E-3</p>



## Ensaios em poços do Aquífero Diamantino

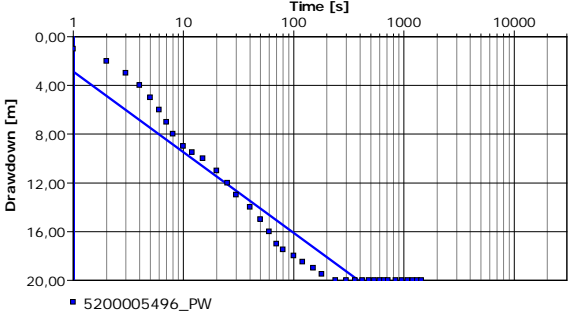
IDT SIAGAS	Parâmetros Utilizados	Mét.	Ajuste Gráfico (aquifer test ver.14)	T (m <sup>2</sup> /s) K (m/s)
5200006307	Aquífero Diamantino; Anisotrópico; Extensão infinita; Vazão variável; Penetração parcial; Esp. aquífero 350m; Esp. sat. aquíf. poço 46m.	Fluxo por Dupla porosidade		T = 4,93E-2  K = 1,07E-3
		Fluxo por Fratura de Moench		T = 8,66E-6  K = 1,88E-7
		Intergranular Cooper & Jacob		T = 5,71E-2  K = 1,24E-3

IDT SIAGAS	Parâmetros Utilizados	Mét.	Ajuste Gráfico (aquifer test ver.14)	T (m <sup>2</sup> /s) K (m/s)
5200006998	Aquífero Diamantino; Anisotrópico; Extensão infinita; Vazão variável; Penetração parcial; Esp. aquífero 350m; Esp. sat. aquif. poço 98m.	Fluxo por Dupla porosidade		<p>T = 1,18E-1</p> <p>K = 1,20E-3</p>
		Fluxo por Fratura de Moench		<p>T = 3,58E-5</p> <p>K = 3,65E-7</p>
		Intergranular Cooper & Jacob		<p>T = 2,82E-1</p> <p>K = 2,88E-3</p>

IDT SIAGAS	Parâmetros Utilizados	Mét.	Ajuste Gráfico (aquifer test ver.14)	T (m <sup>2</sup> /s) K (m/s)
5200007484	<p>Aquífero Diamantino; Anisotrópico; Extensão infinita; Vazão variável; Penetração parcial; Esp. aquífero 350m; Esp. sat. aquif. poço 52m.</p>	Fluxo por Dupla porosidade		<p>T = 1,17E-1</p> <p>K = 2,25E-3</p>
		Fluxo por Fratura de Moench		<p>T = 1,17E-1</p> <p>K = 2,25E-3</p>
		Intergranular Cooper & Jacob		<p>T = 1,37E-1</p> <p>K = 2,63E-3</p>

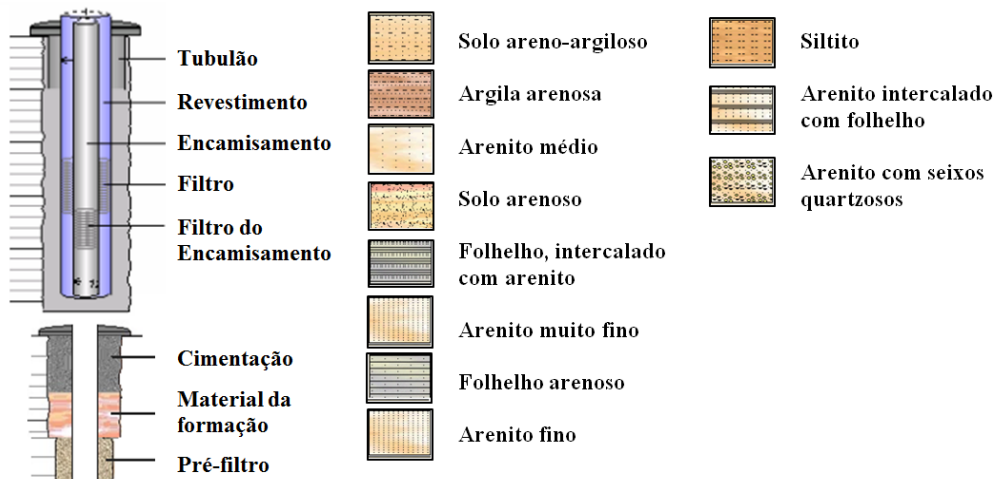
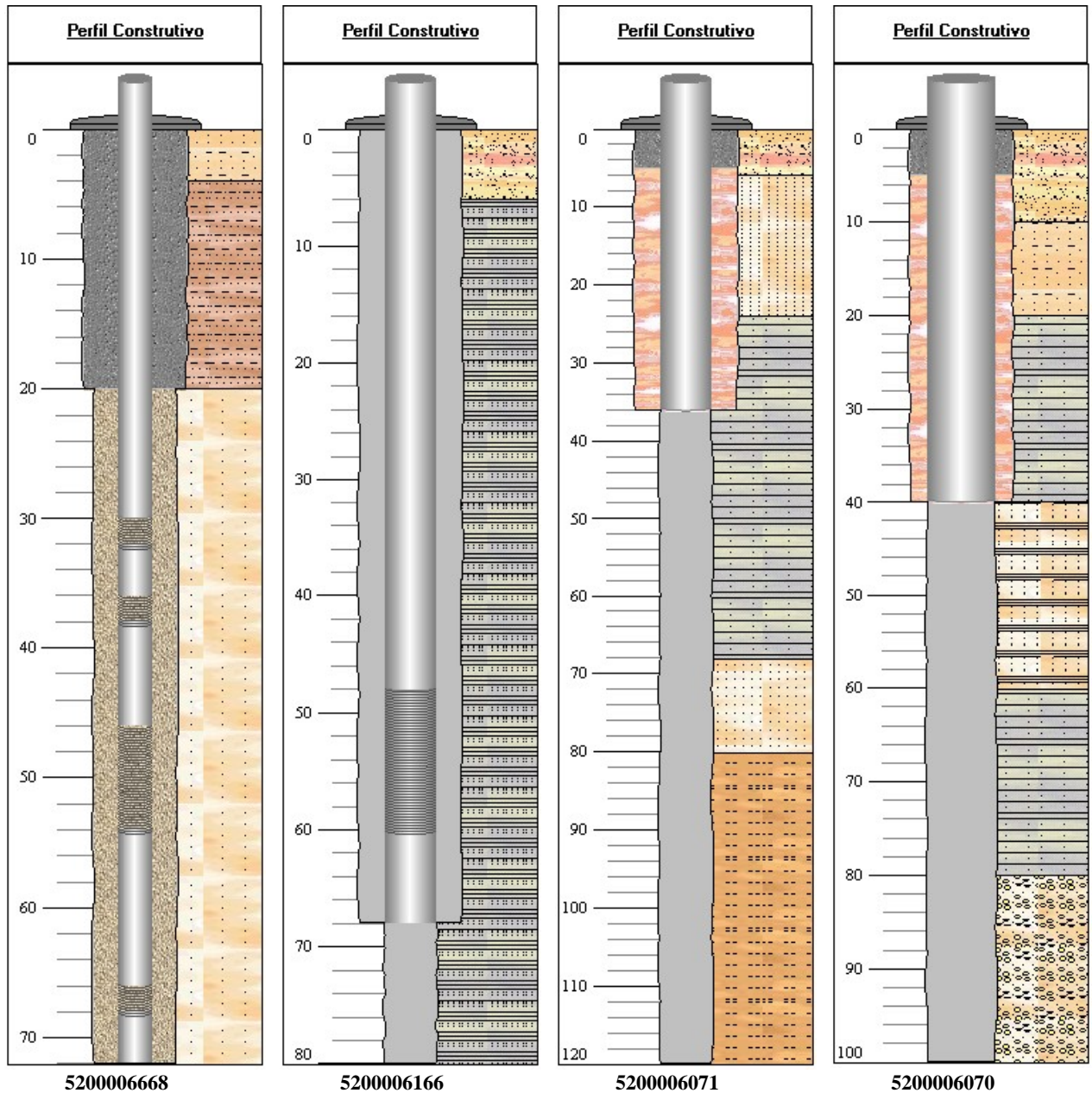
## Ensaios em poços do Aquífero Parecis

IDT SIAGAS	Parâmetros Utilizados	Mét.	Ajuste Gráfico (aquifer test ver.14)	T (m <sup>2</sup> /s) K (m/s)
5200006856	Aquífero Parecis; Isotrópico; Extensão infinita; Vazão variável; Penetração parcial; Esp. aquífero 230m; Esp. sat. aquíf. poço 46m.	Intergranular Cooper & Jacob		T = 4,26E-1 K = 4,26E-1
5200007406	Aquífero Parecis; Isotrópico; Extensão infinita; Vazão variável; Penetração parcial; Esp. aquífero 230m; Esp. sat. aquíf. poço 63m.	Intergranular Cooper & Jacob		T = 2,43E-1 K = 3,86E-3
5200005497	Aquífero Parecis; Isotrópico; Extensão infinita; Vazão variável; Penetração parcial; Esp. aquífero 230m; Esp. sat. aquíf. poço 73m.	Intergranular Cooper & Jacob		T = 3,12E-1 K = 4,27E-3

IDT SIAGAS	Parâmetros Utilizados	Mét.	Ajuste Gráfico (aquifer test ver.14)	T (m <sup>2</sup> /s) K (m/s)
5200005496	<p><b>Aquífero Parecis;</b>  <b>Isotrópico;</b>  <b>Extensão infinita;</b>  <b>Vazão variável;</b>  <b>Penetração parcial;</b>  <b>Esp. aquífero 230m;</b>  <b>Esp. sat. aquíf. poço 57m.</b></p>	<p><b>Intergranular Cooper &amp; Jacob</b></p>		<p><b>T =</b>  <b>1,40E-1</b></p> <p><b>K =</b>  <b>2,46E-3</b></p>

### III. POÇOS UTILIZADOS - PERFIS LITOLÓGICOS E CONSTRUTIVOS

#### Perfis Litológicos e Construtivos - Aquífero Raizama



**IDT SIAGAS 5200006668****Dados Litológicos:**

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	4	Solo areno-argiloso	Solo areno-argiloso
4	20	Argila arenosa	Argila arenosa
20	72	Arenito médio	Arenito médio intercalado com argila

**Perfuração:**

Data:	Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Perfurador:	Método:
01/01/1991	0.00	72.00		Percussao

**Diâmetro:**

De (m):	Até (m):	Polegadas:	Milímetros:
0.00	20.00	12	304.8000
20.00	72.00	10	254.0000

**Revestimento:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
0.00	30.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000
32.00	36.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000
38.00	46.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000
54.00	66.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000
68.00	72.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000

**Filtro:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):	Ranhura
30.00	32.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000	
36.00	38.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000	
46.00	54.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000	
66.00	68.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000	

**Espaço Anular:**

De (m):	Até (m):	Material:
0.00	20.00	Cimentação
20.00	72.00	Pre-filtro

**Boca do Tubo:**

Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
		4	101.6000

**Entrada d'água:**

Profundidade(m):

**Profundidade Útil:**

Data:	Profundidade Útil:
	72.00



**IDT SIAGAS 5200006166****Dados Litológicos:**

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	6	Solo arenoso	Solo arenoso vermelho
6	80	Folhelho, intercalado com arenito	Folhelho, intercalado com arenito vermelho

**Perfuração:**

Data:	Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Perfurador:	Método:
25/01/2003	0.00	80.00		Rotativo

**Diâmetro:**

De (m):	Até (m):	Polegadas:	Milímetros:
0.00	68.00	12	304.8000
68.00	80.00	6	152.4000

**Revestimento:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
0.00	48.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
48.00	68.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000

**Filtro:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):	Ranhura
48.00	60.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	

**Espaço Anular:**

De (m):	Até (m):	Material:

**Boca do Tubo:**

Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):

**Entrada d'água:**

Profundidade(m):

**Profundidade Útil:**

Data:	Profundidade Útil:
	80.00

**IDT SIAGAS 5200006071****Dados Litológicos:**

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	6	Solo arenoso	Solo arenoso avermelhado
6	24	Arenito muito fino	Arenito acinzentado, muito fino
24	68	Folhelho arenoso	Folhelho arenoso avermelhado
68	80	Arenito fino	Arenito fino avermelhado
80	120	Siltito	Siltito avermelhado

**Perfuração:**

Data:	Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Perfurador:	Método:
21/05/2003	0.00	120.00	GEOPOÇOS HIDROCONSTRUÇÃO E COMÉRCIO LTDA	Rotativo

**Diâmetro:**

De (m):	Até (m):	Polegadas:	Milímetros:
0.00	36.00	12	304.8000
36.00	120.00	6	152.4000

**Revestimento:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
0.00	36.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000

**Filtro:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):	Ranhura

**Espaço Anular:**

De (m):	Até (m):	Material:
0.00	5.00	Cimentação
5.00	36.00	Material da formação

**Boca do Tubo:**

Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
		6	152.4000

**Entrada d'água:**

Profundidade(m):

**Profundidade Útil:**

Data:	Profundidade Útil:
	120.00

**IDT SIAGAS 5200006070****Dados Litológicos:**

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	10	Solo arenoso	Solo arenoso amarelo
10	20	Solo areno-argiloso	Solo areno-argiloso avermelhado
20	40	Folhelho arenoso	Folhelho arenoso avermelhado
40	60	Arenito intercalado com folhelho	Arenito cinza intercalado com folhelho
60	80	Folhelho arenoso	Folhelho arenoso avermelhado
80	100	Arenito com seixos quartzosos	Arenito cinza com seixos quartzosos

**Perfuração:**

Data:	Profundidade (m):	Inicial Final (m):	Perfurador:	Método:
28/09/2004	0.00	100.00	GEOPOÇOS HIDROCONSTRUÇÃO COMÉRCIO LTDA	E Rotativo

**Diâmetro:**

De (m):	Até (m):	Polegadas:	Milímetros:
0.00	40.00	9	228.6000
40.00	100.00	6	152.4000

**Revestimento:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
0.00	40.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000

**Filtro:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):	Ranhura
---------	----------	-----------	-----------------	----------------	---------

**Espaço Anular:**

De (m):	Até (m):	Material:
0.00	5.00	Cimentação
5.00	40.00	Material da formação

**Boca do Tubo:**

Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
		6	152.4000

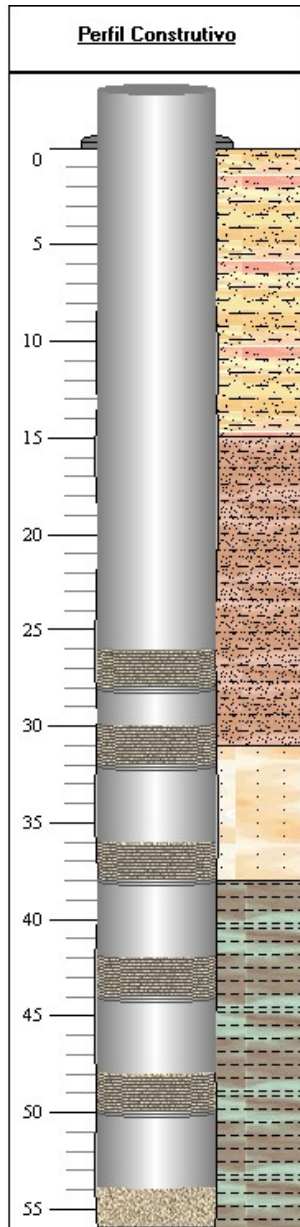
**Entrada d'água:**

Profundidade(m):
------------------

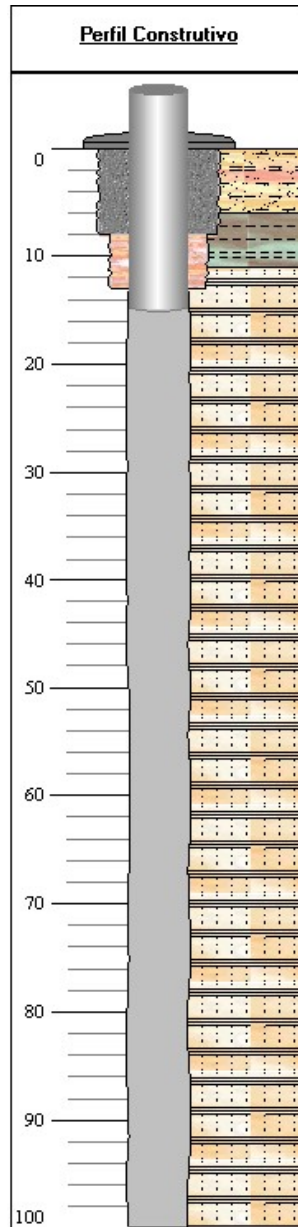
**Profundidade Útil:**

Data:	Profundidade Útil:
	100.00

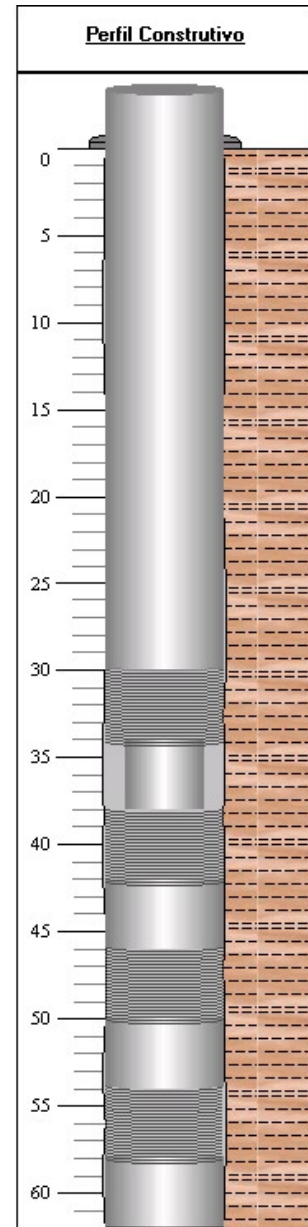
## Perfis Litológicos e Construtivos - Aquífero Diamantino



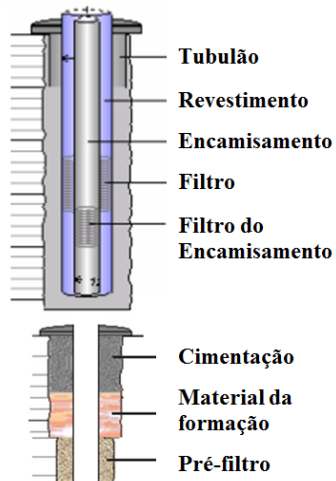
5200006307



5200006998



5200007484



**IDT SIAGAS 5200006307**

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	15	Solo siltoso	Areia silto-arenosa, amarela
15	31	Argila areno-siltosa	Argila areno-siltosa vermelho
31	38	Arenito médio	Arenito, vermelho amarronzado.
38	56	Argilito	Argilito vermelho

**Perfuração:**

Data:	Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Perfurador:	Método:
01/12/2001	0.00	56.00		Rotativo

**Diâmetro:**

De (m):	Até (m):	Polegadas:	Milímetros:
0.00	56.00	4	101.6000

**Revestimento:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
0.00	26.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000
28.00	30.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000
32.00	36.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000
38.00	42.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000
44.00	48.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000
50.00	54.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000

**Filtro:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):	Ranhura
26.00	28.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000	
30.00	32.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000	
36.00	38.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000	
42.00	44.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000	
48.00	50.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000	

**Espaço Anular:**

De (m):	Até (m):	Material:
0.00	0.15	Cimentação
1.50	56.00	Pre-filtro

**Boca do Tubo:**

Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
		4	101.6000

**Entrada d'água:**

Profundidade(m):

**Profundidade Útil:**

Data:	Profundidade Útil:
	56.00

**IDT SIAGAS 5200006998****Dados Litológicos:**

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	6	Solo argiloso	Solo argiloso marrom
6	11	Argilito	Argilito marrom
11	100	Arenito intercalado com folhelho	Arenito intercalado com folhelho

**Perfuração:**

Data:	Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Perfurador:	Método:
24/03/2005	0.00	100.00	HIDROINGÁ POÇOS ARTESIANOS	Roto-percussao

**Diâmetro:**

De (m):	Até (m):	Polegadas:	Milímetros:
0.00	8.00	12	304.8000
8.00	13.00	10	254.0000
13.00	100.00	6	152.4000

**Revestimento:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
0.00	15.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000

**Filtro:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):	Ranhura

**Espaço Anular:**

De (m):	Até (m):	Material:
0.00	8.00	Cimentação
8.00	13.00	Material da formação

**Boca do Tubo:**

Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
		6	152.4000

**Entrada d'água:**

Profundidade(m):

**Profundidade Útil:**

Data:	Profundidade Útil:
	100.00

**IDT SIAGAS 5200007484****Dados Litológicos:**

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	62	Argila	Argila com intercalações de siltitos e argilitos

Data:	Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Perfurador:	Método:
01/06/1998	0.00	62.00		

**Diâmetro:**

De (m):	Até (m):	Polegadas:	Milímetros:
0.00	62.00	6	152.4000

**Revestimento:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
0.00	30.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
34.00	38.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000
42.00	46.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
50.00	54.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
58.00	62.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000

**Filtro:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):	Ranhura
30.00	34.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	
38.00	42.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	
46.00	50.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	
54.00	58.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	

**Espaço Anular:**

De (m):	Até (m):	Material:

**Boca do Tubo:**

Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):

**Entrada d'água:**

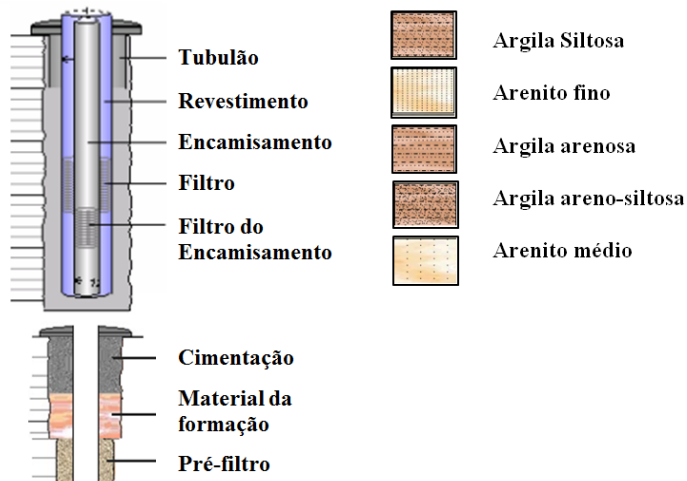
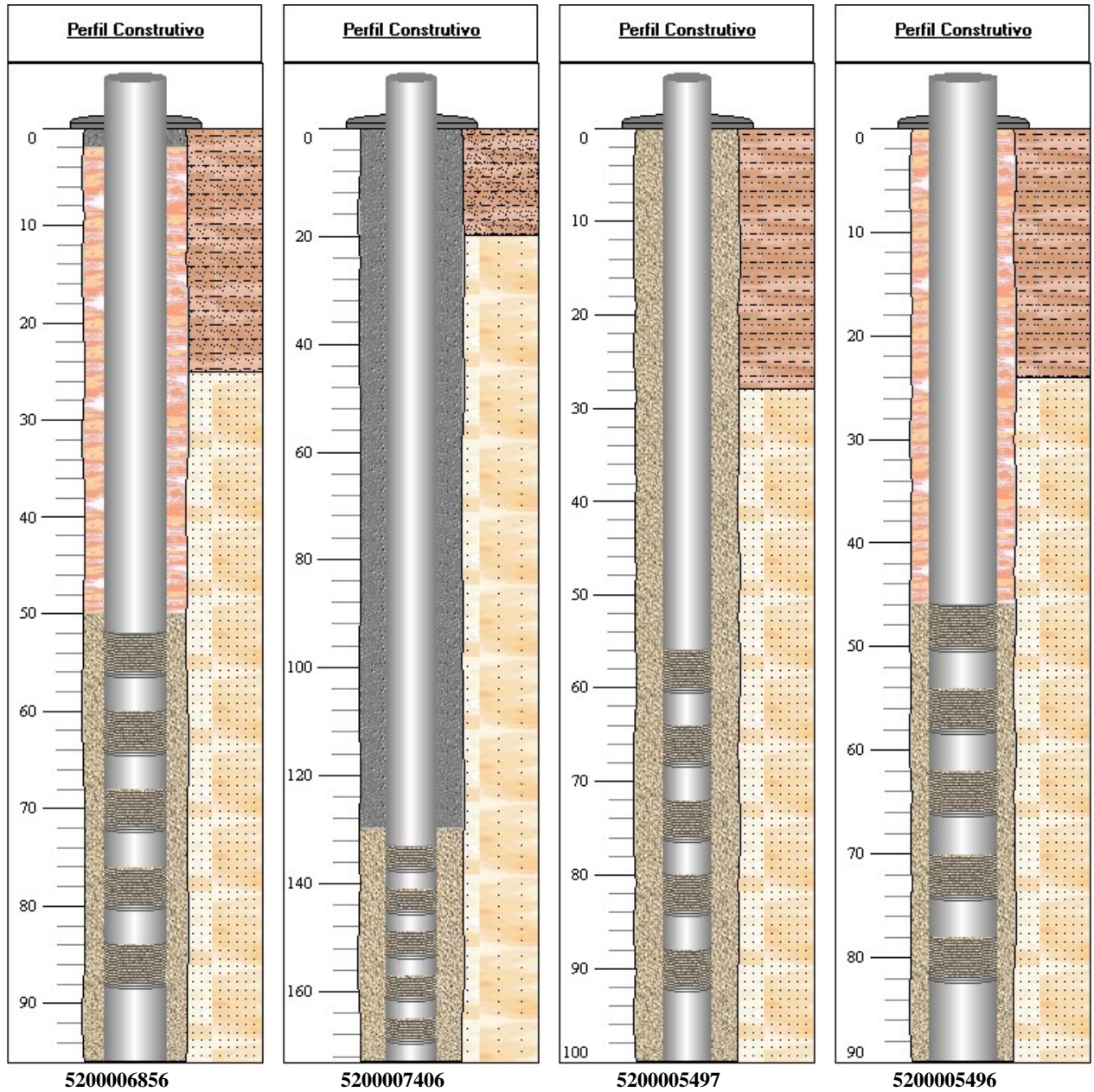
Profundidade(m):

**Profundidade Útil:**

Data:	Profundidade Útil:
	62.00



## Perfis Litológicos e Construtivos - Aquífero Parecis



**IDT SIAGAS 5200006856****Dados Litológicos:**

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	25	Argila Siltosa	Argila Siltosa marrom avermelhada
25	96	Arenito fino	Arenito fino de cores variegadas

**Perfuração:**

Data:	Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Perfurador:	Método:
03/03/2003	0.00	96.00	ZUFFO E CIA LTDA	Rotativo

**Diâmetro:**

De (m):	Até (m):	Polegadas:	Milímetros:
0.00	96.00	10	254.0000

**Revestimento:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
0.00	52.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
56.00	60.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
64.00	68.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
72.00	76.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
80.00	84.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
88.00	96.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000

**Filtro:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):	Ranhura
52.00	56.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	
60.00	64.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	
68.00	72.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	
76.00	80.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	
84.00	88.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	

**Espaço****Anular:**

De (m):	Até (m):	Material:
0.00	2.00	Cimentação
2.00	50.00	Material da formação
50.00	96.00	Pre-filtro

**Boca do Tubo:**

Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
		6	152.4000

**Entrada d'água:**

Profundidade(m):

**Profundidade****Útil:**

Data:	Profundidade Útil:
	96.00

**IDT SIAGAS 5200005496****Dados Litológicos:**

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	24	Argila arenosa	Argila arenosa marrom avermelhada
24	90	Arenito fino	Arenito fino a médio de cores variegadas (amarelo, roxo e avermelhado)

**Perfuração:**

Data:	Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Perfurador:	Método:
01/08/2003	0.00	90.00	ZUFFO E CIA LTDA.	Rotativo

**Diâmetro:**

De (m):	Até (m):	Polegadas:	Milímetros:
0.00	90.00	6	152.4000

**Revestimento:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
0.00	46.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000
50.00	54.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000
58.00	62.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000
66.00	70.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000
74.00	78.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000
82.00	90.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000

**Filtro:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):	Ranhura
46.00	50.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000	
54.00	58.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000	
62.00	66.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000	
70.00	74.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000	
78.00	82.00	Plástico Geomecânico	4	101.6000	

**Espaço****Anular:**

De (m):	Até (m):	Material:
0.00	0.10	Cimentação
0.10	46.00	Material da formação
46.00	90.00	Pre-filtro

**Boca do Tubo:**

Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
		4	101.6000

**Entrada d'água:**

Profundidade(m):

**Profundidade****Útil:**

Data:	Profundidade Útil:
	90.00

**IDT SIAGAS 5200007406****Dados Litológicos:**

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	20	Argila areno-siltosa	Argila areno-siltosa marrom avermelhado
20	173	Arenito médio	Arenito médio de coloracao variegada. Sedimentos extremamente arenosos.

**Perfuração:**

Data:	Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Perfurador:	Método:
26/07/2005	0.00	173.00	ZUFFO & CIA LTDA	

**Diâmetro:**

De (m):	Até (m):	Polegadas:	Milímetros:
0.00	173.00	12	304.8000

**Revestimento:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
0.00	133.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
137.00	141.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
145.00	149.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
153.00	157.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
161.00	165.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
169.00	173.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000

**Filtro:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):	Ranhura
133.00	137.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	
141.00	145.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	
149.00	153.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	
157.00	161.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	
165.00	169.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	

**Espaço****Anular:**

De (m):	Até (m):	Material:
0.00	130.00	Cimentação
130.00	173.00	Areia quartzosa de 1,00 a 3,00 mm

**Boca do Tubo:**

Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):

**Entrada d'água:**

Profundidade(m):

**Profundidade Útil:**

Data:	Profundidade Útil:
	173.00

**IDT SIAGAS 5200005497****Dados Litológicos:**

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	28	Argila arenosa	Argila arenosa marrom avermelhada.
28	100	Arenito fino	Arenito fino a médio de cores variegadas (amarelo, roxo e avermelhado)

**Perfuração:**

Data:	Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Perfurador:	Método:
01/06/2001	0.00	100.00	ZUFFO E CIA LTDA.	Rotativo

**Diâmetro:**

De (m):	Até (m):	Polegadas:	Milímetros:
0.00	100.00	13	330.2000

**Revestimento:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
0.00	56.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
60.00	64.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
68.00	72.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
76.00	80.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
84.00	88.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000
92.00	100.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000

**Filtro:**

De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):	Ranhura
56.00	60.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	
64.00	68.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	
72.00	76.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	
80.00	84.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	
88.00	92.00	Plástico Geomecânico	6	152.4000	

**Espaço****Anular:**

De (m):	Até (m):	Material:
0.00	0.10	Cimentação
0.10	100.00	Pre-filtro

**Boca do Tubo:**

Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):
		6	152.4000

**Entrada d'água:**

Profundidade(m):

**Profundidade****Útil:**

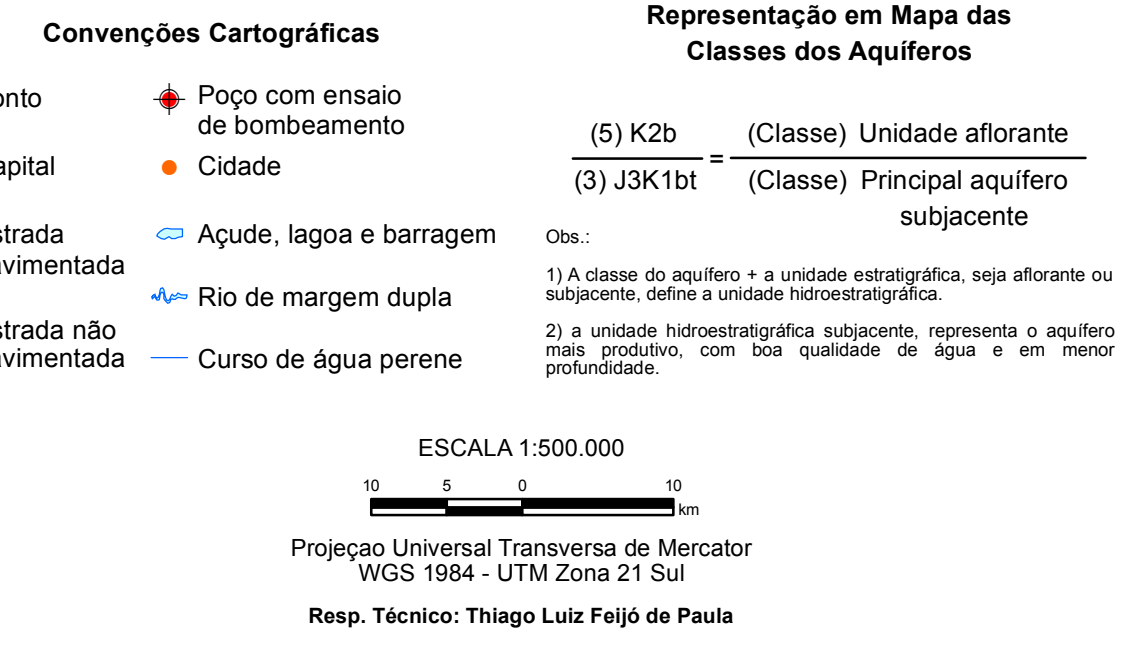
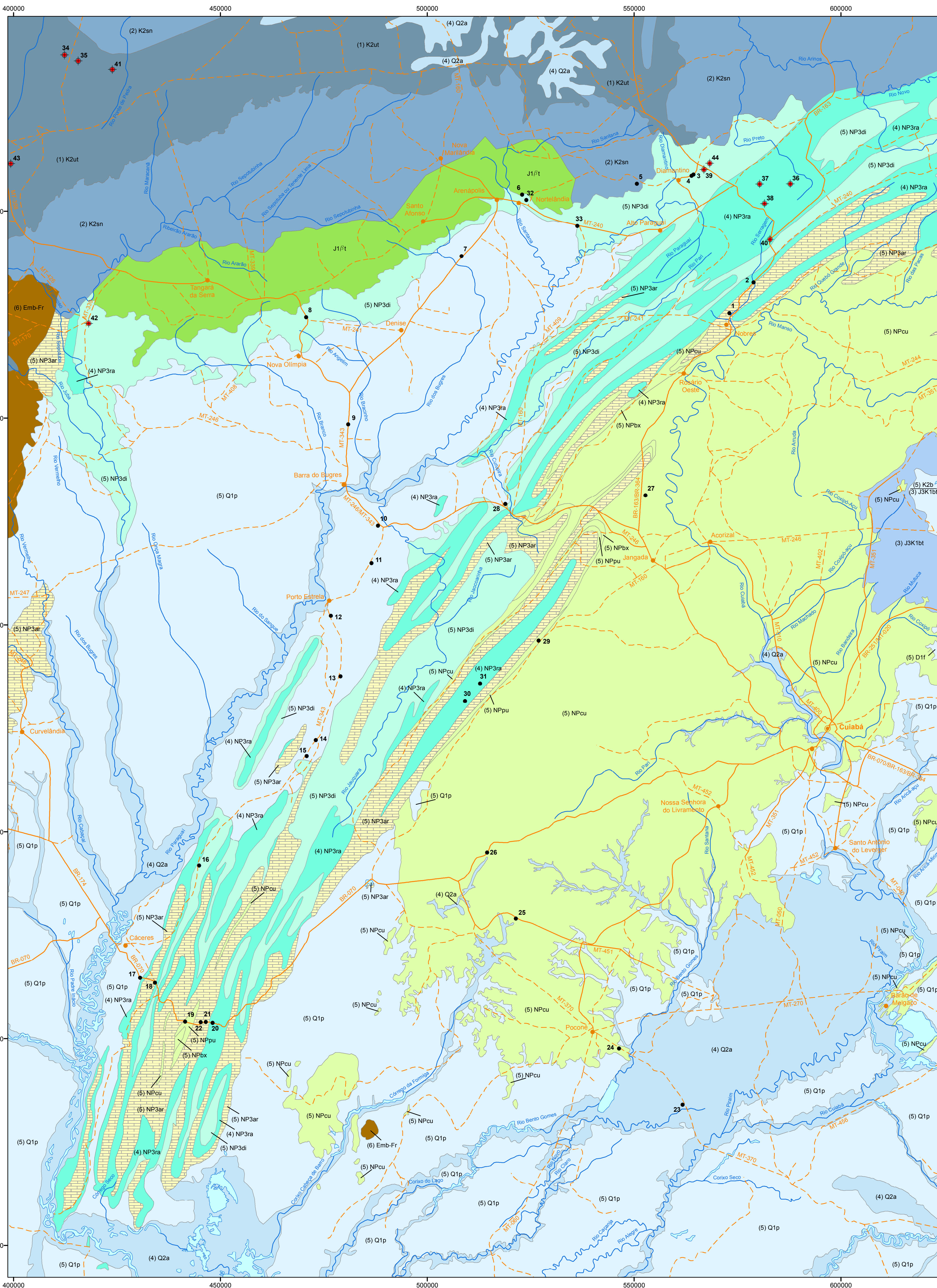
Data:	Profundidade Útil:
	100.00

#### IV. RELAÇÃO DE PONTOS UTILIZADOS NA ÁREA DE TRABALHO

Ponto	Descrição	X	Y	Z
TP-AP-01	Afloramento da Formação Araras	573008	8375422	242
TP-AP-02	Afloramento da Formação Raizama	578859	8382840	297
TP-AP-03	Ponto de controle (Formação Diamantino)	564368	8408893	421
TP-AP-04	Afloramento da Formação Diamantino	563897	8408599	317
TP-AP-05	Ponto de controle (Formação Salto das Nuvens)	550673	8406703	462
TP-AP-06	Ponto de controle (Formação Diamantino)	522931	8404047	351
TP-AP-07	Ponto de controle (Formação Pantanal)	508309	8389181	217
TP-AP-08	Ensaio de infiltração in situ em Latossolo (Formação Diamantino)	470748	8374462	212
TP-AP-09	Ensaio de infiltração in situ em Latossolo (Formação Pantanal)	480902	8348508	200
TP-AP-10	Ensaio de infiltração in situ em Latossolo (Formação Diamantino)	488087	8324049	163
TP-AP-11	Ensaio de infiltração in situ em Latossolo (Formação Pantanal)	486548	8314982	160
TP-AP-12	Ponto de controle (Formação Pantanal)	476692	8302263	255
TP-AP-13	Ponto de controle (Formação Raizama/Diamantino)	479050	8287586	178
TP-AP-14	Afloramento da Formação Diamantino	473069	8272187	187
TP-AP-15	Afloramento da Formação Diamantino	470881	8268302	201
TP-AP-16	Afloramento da Formação Raizama	444879	8241870	175
TP-AP-17	Afloramento da Formação Raizama	430578	8214738	170
TP-AP-18	Afloramento da Formação Raizama	434192	8213539	194
TP-AP-19	Afloramento da Formação Puga	441459	8204132	305
TP-AP-20	Afloramento da Formação Raizama	448130	8203833	413
TP-AP-21	Ensaio de infiltração in situ em Latossolo (Formação Araras)	446483	8204060	453
TP-AP-22	Ensaio de infiltração in situ em Latossolo (Formação Araras)	445258	8204035	432
TP-AP-23	Ensaio de infiltração in situ em Neossolo Flúvico (Depósitos Aluvionares)	561712	8184022	133
TP-AP-24	Ensaio de infiltração in situ em Latossolo (Grupo Cuiabá)	546364	8197639	134
TP-AP-25	Afloramento do Grupo Cuiabá	521396	8229044	171
TP-AP-26	Afloramento do Grupo Cuiabá	514476	8245026	302
TP-AP-28	Ensaio de infiltração in situ em Latossolo (Formação Diamantino)	518890	8329257	237
TP-AP-27	Afloramento do Grupo Cuiabá	552740	8331338	229
TP-AP-29	Afloramento da Formação Puga	526902	8296241	281
TP-AP-30	Ensaio de infiltração in situ em Latossolo (Formação Raizama)	509145	8281629	725
TP-AP-31	Ensaio de infiltração in situ em Latossolo (Formação Raizama)	512772	8285876	704
TP-AP-32	Afloramento da Formação Diamantino	523966	8402752	-
TP-AP-33	Afloramento da Formação Diamantino	536276	8396485	-

<b>Ponto</b>	<b>Descrição</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
TP-AP-34	Poço com ensaio de bombeamento - SIAGAS 5200005496 (Grupo Parecis – Formação Utariti)	412364	8437837	-
TP-AP-35	Poço com ensaio de bombeamento - SIAGAS 5200005497 (Grupo Parecis – Formação Utariti)	415667	8436373	-
TP-AP-36	Poço com ensaio de bombeamento - SIAGAS 5200006070 (Formação Raizama)	587767	8406682	-
TP-AP-37	Poço com ensaio de bombeamento - SIAGAS 5200006071 (Formação Raizama)	580370	8406615	-
TP-AP-38	Poço com ensaio de bombeamento - SIAGAS 5200006166 (Formação Raizama)	581522	8401879	-
TP-AP-39	Poço com ensaio de bombeamento - SIAGAS 5200006307 (Formação Diamantino)	566904	8410096	-
TP-AP-40	Poço com ensaio de bombeamento - SIAGAS 5200006668 (Formação Raizama)	582870	8393241	-
TP-AP-41	Poço com ensaio de bombeamento - SIAGAS 5200006856 (Grupo Parecis – Formação Utariti)	423918	8434249	-
TP-AP-42	Poço com ensaio de bombeamento - SIAGAS 5200006998 (Formação Diamantino )	418186	8372905	-
TP-AP-43	Poço com ensaio de bombeamento - SIAGAS 5200007406 (Grupo Parecis – Formação Utariti)	399367	8411518	-
TP-AP-44	Poço com ensaio de bombeamento - SIAGAS 5200007484 (Formação Diamantino)	568286	8411628	-



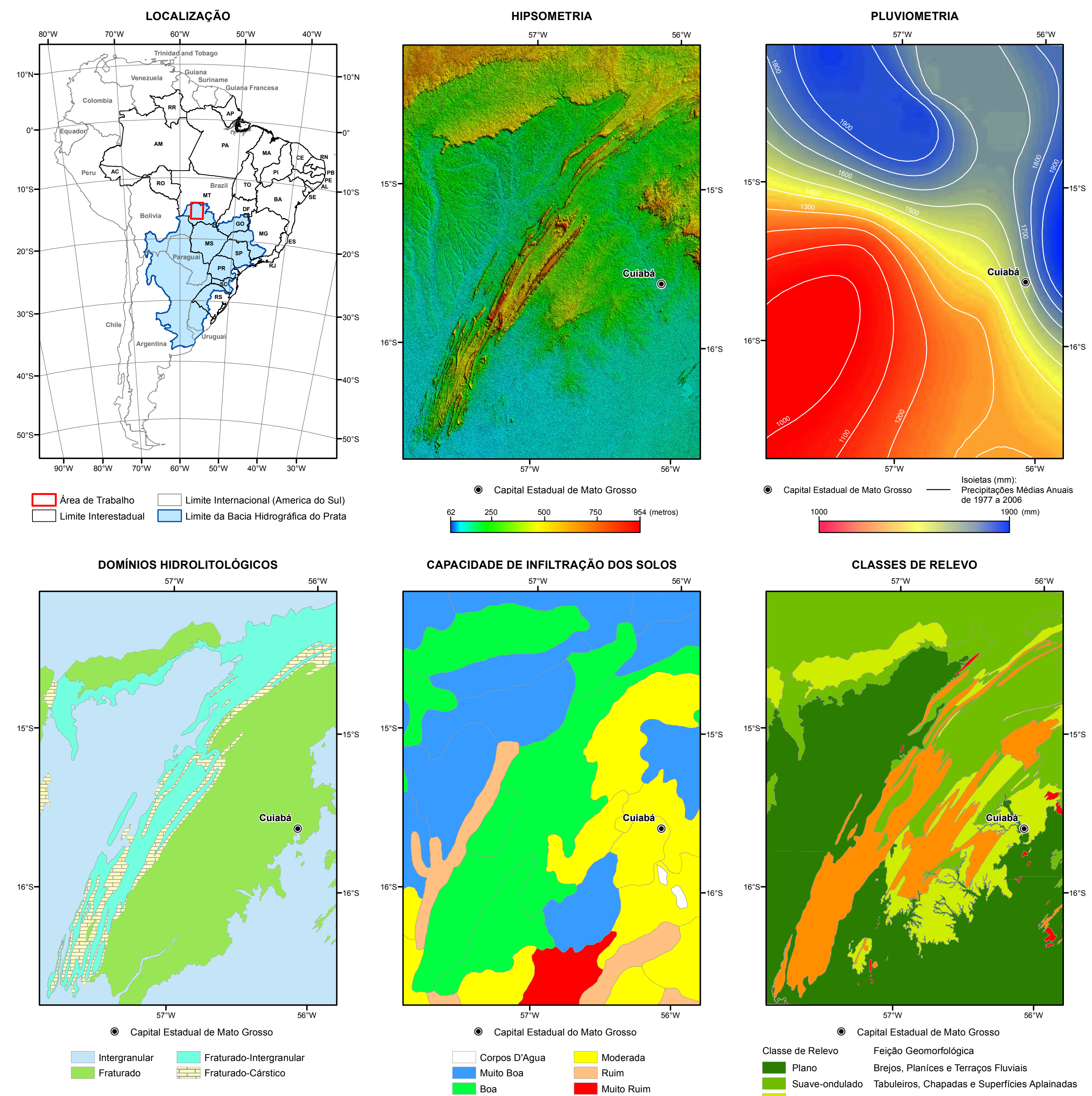


Domínio Hidrolitológico	Sigla da Unidade Estratigráfica	Nome da Unidade Estratigráfica	Litologias da Unidade Estratigráfica
Intergranular	Q2a	Depósitos aluvionares	Areia, Cascalho, Argila e Silte
	Q1p1	Formação Pantanal	Areia, Argila, Silte e Laterita
	K2b	Grupo Baetu	Arenito, Argilito, Conglomerado e Rocha Sedimentar Vulcanoclastica
	K2ut	Formação Utiariti	Arenito Fino
	K2sn	Formação Salto das Nuvens	Conglomerado, Arenito Fino e Arenito
Fraturado	J1/1t	Formação Tapirapuã	Basalto e Diabásio
	NPpu	Formação Puga	Metarenito, Metadiamicctito e Metapelite
	NPbx	Formação Bauxi	Folhelho, Metarenito, Metassiltito, Argilito, Metarcóseo e Metagrauvaca
Fraturado-Cárstico	NP3ar	Grupo Cuiabá	Quartzito e Metarenito
Fraturado-Intergranular	NP3di	Embasamento Cristalino	Granito, Riocacito, Gabro, Monzonito e Sienito
	NP3ra	Formação Araras	Calcário, Dolomito, Metarenito e Metapelite
Fraturado-Intergranular	NP3di	Formação Diamantino	Metapelite, Metarcóseo, Argilito, Folhelho, Siltito e Arcóseo
	NP3ra	Formação Raizama	Quartzito, Metapelite, Metarcóseo, Metapelite, Arenito, Pelito e Conglomerado

**CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DAS CLASSES DE AQUIFEROS**

Classe	Intergranular	Fraturado	Fraturado-Cárstico	Fraturado-Intergranular	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m) *	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)	Vazão(m <sup>3</sup> /h)	Produtividade (**)
(1)	■	-	-	-	≥ 4,0	≥ 10 <sup>02</sup>	≥ 10 <sup>04</sup>	≥ 100	Muito Alta: Fornecimentos de água de importância regional (abastecimento de cidades e grandes irrigações). Aquíferos que se destacam em âmbito nacional.
(2)	■	-	-	-	2,0 ≤ Q/s < 4,0	10 <sup>01</sup> ≤ T < 10 <sup>02</sup>	10 <sup>00</sup> ≤ K < 10 <sup>01</sup>	50 ≤ Q < 100	Alta: Características semelhantes à classe anterior, contudo situando-se dentro da média nacional de bons aquíferos.
(3)	■	-	-	-	1,0 ≤ Q/s < 2,0	10 <sup>00</sup> ≤ T < 10 <sup>01</sup>	10 <sup>00</sup> ≤ K < 10 <sup>00</sup>	25 ≤ Q < 50	Moderada: Fornecimento de água para abastecimentos locais em pequenas comunidades, irrigação em áreas restritas.
(4)	■	■	-	■	0,4 ≤ Q/s < 1,0	10 <sup>00</sup> ≤ T < 10 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup> ≤ K < 10 <sup>00</sup>	10 ≤ Q < 25	Geralmente baixa, porém localmente moderada: Fornecimentos de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado.
(5)	■	■	■	■	0,04 ≤ Q/s < 0,4	10 <sup>00</sup> ≤ T < 10 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup> ≤ K < 10 <sup>00</sup>	1 ≤ Q < 10	Geralmente muito baixa, porém localmente baixa: Fornecimentos contínuos dificilmente são garantidos.
(6)	■	■	-	-	< 0,04	< 10 <sup>00</sup>	< 10 <sup>00</sup>	< 1	Pouco Produtiva ou Não Aquífera: Fornecimentos insignificantes de água. Abastecimentos restritos ao uso de bombas manuais.

Modificada de Struckmeier & Margat, 1995  
\* Valores válidos para teste de bombeamento de 12 horas e rebaixamentos máximos de 25 metros  
\*\* Na definição de classe de produtividade para os aquíferos fraturado-cársticos e fraturados, utilizou-se apenas dados de vazão



**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

CPRM, Projeto Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo, 2014.  
CPRM, Extrato de Poços do Banco SIAGAS, 2014.  
CPRM, Projeto Atlas Pluviométrico do Brasil - Pluviometria e Isoietas, 2012.  
CPRM, Projeto Geodiversidade do Brasil - SIG - Classes de Relevo, 2006.  
IBGE / DGC, Base Cartográfica Contínua, ao Milionésimo, ver 3.0, 2010.  
EMBRAPA, Mapa de Solos - (modificado) - Capacidade de Infiltração, 2001.  
ASTER GDEM, Modelo Digital de Terreno - 30 metros - Hipsometria,