



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

**CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO PARECIS NA  
REGIÃO CENTRO-NORTE DO ESTADO DE MATO GROSSO:  
SUBSÍDIOS PARA A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS  
SUBTERRÂNEOS**

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

**TALITA MENEZES GOMES DA SILVA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Nº 50**

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

**BRASÍLIA, 2013.**



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

**CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO PARECIS NA  
REGIÃO CENTRO-NORTE DO ESTADO DE MATO GROSSO:  
SUBSÍDIOS PARA A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS  
SUBTERRÂNEOS**

**TALITA MENEZES GOMES DA SILVA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Orientador**

JOSÉ ELOI GUIMARÃES CAMPOS

**Co-Orientador**

ALTERÊDO OLIVEIRA CUTRIM

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. José Eloi Guimarães Campos (Orientador)

Prof. Dr. Renato Blat Miglioni (Membro Externo - UFMT)

Profa. Dra. Noris Costa Diniz (Membro Interno - IG)

**BRASÍLIA, 2013.**

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a todos que sempre me  
fizeram acreditar na realização dos meus sonhos.  
Aos meus pais, Tania e Nilton, a minha irmã Taiana  
e ao meu esposo, Joselir Júnior.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me dar a oportunidade de crescimento intelectual e espiritual durante esta jornada.

Agradeço a meu amado esposo Joselir Júnior, marido, companheiro no amor, na vida e nos sonhos, que sempre me apoiou nas horas difíceis e me incentivou na busca pelo meu melhoramento.

Agradeço a minha mãe, Tania, por tudo que fez e faz por mim, por me ensinar a ser a mulher forte que sou hoje. Pelo seu exemplo de trabalho e simplicidade.

Agradeço ao meu pai, Nilton, por tudo que me apoiou durante os momentos de minha existência, e ao seu amor por trás das pequenas ações do cotidiano.

Agradeço a minha irmã, Taiana, pela amizade, companheirismo e por todos os momentos de descontrações.

Agradeço ao meu orientador e amigo, José Eloi, pelos ensinamentos repassados, pela paciência, pela confiança depositada em mim e, principalmente pelo exemplo de trabalho, dedicação e conduta profissional.

Aos queridos amigos da SEMA, Nédio, Marizeth, Márcio, Lilian, Sibebe, Olga e todos os outros que de alguma maneira colaboraram na minha jornada.

Aos meus amigos(as) que indiretamente colaboraram com este estudo através de incentivos e apoios.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, em nome de todos os professores e técnicos que colaboraram com meu aprendizado e forneceram a estrutura necessária para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Estado de Mato Grosso e a Secretaria de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso - SEMA, pelo investimento na minha formação.

As empresas de perfuração e a Companhia Mato-Grossense de Mineração - METAMAT, em nome dos técnicos José Wilce, Wilson Coutinho e Sérgio Melo pelo fornecimento e auxílio na busca dos dados necessários para esta pesquisa.

## RESUMO

O Sistema Aquífero Parecis (SAP) representa um reservatório subterrâneo, isotrópico, de extensão regional, constituído por sucessões de arenitos finos a médios, arenitos conglomeráticos, níveis de arenitos silicificados, níveis pelíticos e níveis lateritizados. A área efetiva do SAP tem cerca de 200.000 Km<sup>2</sup> e corresponde a área de extensão das rochas do Grupo Parecis.

A zona não saturada do SAP é representada por uma espessa camada de latossolos e coberturas inconsolidadas neógena-quadernária. Os latossolos e os sedimentos inconsolidados, associados ao relevo de platôs, controlam o mecanismo de recarga do Sistema Aquífero Parecis.

A partir das feições hidrogeológicas determinadas pela análise e interpretação de ensaios de bombeamento de poços profundos, foi possível classificar qualitativamente o SAP em dois conjuntos denominados de Subsistema Livre e o Subsistema Confinado.

Os parâmetros hidrodinâmicos determinados para cada subsistema aquífero são: condutividade hidráulica (K) de  $3,5 \times 10^{-2}$  m/s, coeficiente de armazenamento (S) de  $3,33 \times 10^{-1}$  e transmissividade (T) de  $3,3 \text{ m}^2/\text{s}$  para o aquífero livre; condutividade hidráulica de  $1,3 \times 10^{-2}$  m/s, coeficiente de armazenamento (S) de  $1,17 \times 10^{-2}$  e transmissividade de  $5,6 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$  para o aquífero confinado.

As avaliações preliminares para as reservas hídricas do SAP, considerando o limite definido da área de abrangência do sistema, totalizam  $2,88 \times 10^{12} \text{ m}^3$  para a reserva permanente;  $2,4 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{ano}$  para a reserva renovável, e reserva explotável de  $2,54 \times 10^{11} \text{ m}^3$ .

Com o propósito de auxiliar as autoridades competentes, no que se refere à gestão dos aquíferos, sugere-se a adoção de ações de âmbito regional e local para gerenciamento dos reservatórios. As ações regionais devem incluir: revisão dos critérios de outorga; determinação das reservas permanentes e renováveis; ampliação do conhecimento dos aquíferos e determinação da vulnerabilidade pelo método GOD. Dentre as ações propostas para gerenciamento local destacam-se: hidrometragem; construção adequada dos poços; determinação da vulnerabilidade pelo método DRASTIC; determinação das reservas explotáveis; determinação e proteção de área de recarga e implantação de projetos de recarga artificial dos aquíferos.

## ABSTRACT

The Parecis Aquifer System (SAP) is a groundwater reservoir with regional extension, consisting from fine to medium sandstones sequences, conglomeratic sandstones, silicified sandstone, pelitic and laterite levels and beds. The effective area of SAP has about 200,000 km<sup>2</sup>, that is equal to the extension area of the Parecis Group rocks.

The SAP unsaturated zone is represented by a thick layer of Oxisols and Neogene-Quaternary unconsolidated cover. The Oxisols and unconsolidated sediments associated with plateaus relief, control the recharge mechanism of the Parecis Aquifer System. From the hydrogeological features, determined by the analysis and interpretation of pumping tests of deep wells, it was possible to qualitatively classify the aquifer system into two subsystems: the Unconfined Subsystem and the Confined Subsystem. The hydrodynamic parameters determined for each subsystem aquifer are hydraulic conductivity (K) of  $3,54 \times 10^{-2}$  m/s, storage coefficient (S) de  $3,33 \times 10^{-1}$  and transmissivity (T) of  $3,33 \text{ m}^2/\text{s}$  for the unconfined aquifer; hydraulic conductivity of  $1,37 \times 10^{-2}$  m/s, storage coefficient (S) de  $1,17 \times 10^{-2}$  and transmissivity of  $5,67 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$  for the confined aquifer.

Preliminary assessments for water reserves of the Parecis Aquifer System considering the defined limit area of the system reach  $2,88 \times 10^{12} \text{ m}^3$  of permanent reserve,  $2,4 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{year}$  of renewable reserve, and exploitable reserves of  $2,544 \times 10^{11} \text{ m}^3/\text{year}$ .

With the purpose of assisting the competent authorities with regard to the management of these aquifers, it is suggested the adoption of actions at the regional and local scale to the management of the reservoirs.

The regional actions include the review of criteria to determine the yield for users; determination of the permanent reserves and resources; enhance the knowledge of the aquifers and determine the vulnerability by the GOD method. The proposed actions to the local management must consider water consume measurement; construction of the wells by adequate technical criteria; determination of the vulnerability using the DRASTIC method, determination of the exploitable reserves; determination and protection of the recharge area, and development of artificial recharge techniques.

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES**

**CEHIDRO** – Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

**CPRM** - Companhia Brasileira de Pesquisas Minerais/Serviço Geológico do Brasil.

**DRASTIC** –**D** (profundidade do topo do aquífero), **R** (recarga), **A** (material do aquífero), **S** (tipo de solo), **T** (declividade), **I** (influência da zona vadosa) e **C** (condutividade hidráulica).

**GOD** – **G** (grau de confinamento da água subterrânea), **O** (ocorrência de estratos de cobertura), **D** (distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado).

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

**LANDSAT** – Land Remote Sensing Satellite.

**METAMAT** – Companhia Mato-Grossense de Mineração.

**MME** – Ministério das Minas e Energia.

**SANEMAT** – Companhia de Saneamento do Estado de Mato Grosso.

**SAP** – Sistema Aquífero Parecis.

**SAU** – Sistema Aquífero Urucuia.

**SEMA** – Secretaria de Estado do Meio Ambiente de Mato Grosso.

**SIAGAS** – Sistema de Informação de Água Subterrânea.

**ZSEE** – Zoneamento Socioeconômico – Ecológico.

# SUMÁRIO

## CAPÍTULO I

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVAS.....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	4
<b>1.4.1 Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>4</b>
<i>1.4.1.1 Cadastramento de Pontos D'água.....</i>	<i>4</i>
<b>1.4.2 Trabalhos de Campo.....</b>	<b>5</b>
<i>1.4.2.1 Ensaio de Infiltração.....</i>	<i>5</i>
<u>1.4.2.1.1 Método OPEN END HOLE.....</u>	<u>6</u>
<u>1.4.2.1.2 Método dos Anéis Concêntricos.....</u>	<u>7</u>
<i>1.4.2.2 Geologia, Pedologia e Geomorfologia.....</i>	<i>9</i>
<b>1.4.3 Tratamento e Integração dos Dados.....</b>	<b>9</b>

## CAPÍTULO II

<b>CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>11</b>
2.1 INTRODUÇÃO.....	11
2.2 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS.....	11
2.3 HIDROGRAFIA.....	11
2.4 PEDOLOGIA.....	12
2.5 GEOMORFOLOGIA.....	14
2.6 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	15
<b>2.6.1 Bacia dos Parecis.....</b>	<b>16</b>
<i>2.6.1.1 Formação Tapirapuã.....</i>	<i>18</i>
<i>2.6.1.2 Grupo Parecis.....</i>	<i>20</i>
<u>2.6.1.2.1 Formação Salto das Nuvens.....</u>	<u>21</u>
<u>2.6.1.2.2 Formação Utiariti.....</u>	<u>25</u>
<i>2.6.1.3 Formação Ronuro.....</i>	<i>27</i>
2.7 HIDROGEOLOGIA.....	28
<b>2.7.1 Aquífero Salto das Nuvens.....</b>	<b>30</b>
<b>2.7.2 Aquífero Utiariti.....</b>	<b>30</b>
<b>2.7.3 Aquífero Ronuro.....</b>	<b>31</b>
2.8 PANORAMA LEGAL DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	

SUBTERRÂNEOS.....	32
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO PARECIS.....</b>	<b>33</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	33
3.2 SISTEMA AQUÍFERO ALUVIONAR.....	34
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ZONA NÃO SATURADA DO SISTEMA AQUÍFERO PARECIS.....	34
<b>3.3.1 Análise da Condutividade Hidráulica da Zona não Saturada.....</b>	<b>36</b>
<b>3.3.2 Comportamento Hídrico da Zona não Saturada.....</b>	<b>40</b>
3.4 ANÁLISE DOS PARÂMETROS DIMENSIONAIS E HIDRODINÂMICOS DA ZONA SATURADA DO SISTEMA AQUÍFERO PARECIS.....	41
<b>3.4.1 Efeitos de Penetração Parcial.....</b>	<b>47</b>
<b>3.4.2 Eficiência dos Poços.....</b>	<b>47</b>
<b>3.4.3 Área de Distribuição do Sistema Aquífero Parecis e Subsistemas Associados....</b>	<b>49</b>
<i>3.4.3.1 Subsistema Livre.....</i>	<i>52</i>
<i>3.4.3.2 Subsistema Confinado.....</i>	<i>53</i>
<b>3.4.4 Análise de Consistência dos Dados.....</b>	<b>54</b>
3.5 AVALIAÇÃO DAS RESERVAS HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS.....	55
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>PROPOSTA PARA GESTÃO DO SISTEMA AQUÍFERO PARECIS.....</b>	<b>57</b>
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	57
<b>4.1.1 Gestão Regional.....</b>	<b>57</b>
<i>4.1.1.1 Revisão dos Critérios de Outorga.....</i>	<i>58</i>
<i>4.1.1.2 Determinação de Reservas Permanentes e Renováveis.....</i>	<i>59</i>
<i>4.1.1.3 Conhecimento dos Aquíferos.....</i>	<i>60</i>
<i>4.1.1.4 Determinação da Vulnerabilidade GOD.....</i>	<i>61</i>
<b>4.1.2 Gestão Local.....</b>	<b>63</b>
<i>4.1.2.1 Hidrometragem.....</i>	<i>63</i>
<i>4.1.2.2 Construção Adequada de Poços.....</i>	<i>65</i>
<i>4.1.2.3 Determinação da Vulnerabilidade Pelo Método DRASTIC.....</i>	<i>68</i>
<i>4.1.2.4 Determinação das Reservas Explotáveis.....</i>	<i>69</i>
<i>4.1.2.5 Determinação e Proteção de Áreas de Recarga.....</i>	<i>71</i>
<i>4.1.2.6 Recarga Artificial de Aquíferos.....</i>	<i>72</i>
<b>CAPÍTULO V</b>	
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....</b>	<b>75</b>

**CAPÍTULO VI**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 80**

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

<b>Figura 1.1</b> - Mapa de Localização da área de estudo.....	3
<b>Figura 1.2</b> - Mapa de localização dos ensaios de infiltração (Fonte: adaptado de ZSEE, 2008).....	6
<b>Figura 1.3</b> - Ilustração esquemática e de campo do método <i>open end hole</i> para ensaios de infiltração <i>in situ</i> .....	7
<b>Figura 1.4</b> - Ilustração esquemática e de campo do método dos anéis concêntricos para ensaios de infiltração. I - seção cravada no solo, $h_0$ - distância do nível d'água inicial à superfície do terreno, $h_f$ - distância do nível d'água final à superfície do terreno e Q - volume de água inserido.....	8

### CAPÍTULO II

<b>Figura 2.1</b> - Estrutura granular média a grossa, presente no horizonte A do latossolo vermelho-amarelo distrófico.....	13
<b>Figura 2.2</b> - Latossolo vermelho distrófico com textura arenosa.....	13
<b>Figura 2.3</b> - Padrões de relevo: <b>a</b> e <b>b</b> , configuração geomorfológica plana da Chapada do Parecis; <b>c</b> e <b>d</b> , padrão suave ondulado nas proximidades da borda da mesma bacia.....	15
<b>Figura 2.4</b> - Mapa de localização da Bacia dos Parecis (Fonte: adaptado de Pedreira & Bahia, 2004).....	16
<b>Figura 2.5</b> - Coluna estratigráfica da Bacia dos Parecis (Fonte: Bahia, 2007).....	19
<b>Figura 2.6</b> - Mapa geológico regional da Bacia dos Parecis (Fonte: Bahia <i>et al.</i> 2007).....	20
<b>Figura 2.7</b> - Vista da Cachoeira Salto das Nuvens localizada no Rio Sepotuba que dá nome à Formação Salto das Nuvens da base do Grupo Parecis.....	22
<b>Figura 2.8</b> - Nível de conglomerado mal selecionado rico em clastos de basalto alterado.	22
<b>Figura 2.9</b> - Fragmento de basalto alterado imerso em arenito argiloso da Formação Salto das Nuvens.....	23
<b>Figura 2.10</b> - Arenito bimodal, com estratificação cruzada de grande porte da Formação Salto das Nuvens.....	23
<b>Figura 2.11</b> - Contato do basalto da Formação Tapirapuã com os sedimentos da Formação Salto das Nuvens, com detalhamento de um intertrape.....	24
<b>Figura 2.12</b> - Vista da queda d'água Utiariti, sustentada por arenitos finos a médios, em camadas decimétricas internamente maciças.....	26
<b>Figura 2.13</b> - Detalhe de nível de arenito silicificado no topo da cachoeira que suporta a queda d'água.....	27

<b>Figura 2.14</b> - Representação das principais províncias hidrogeológicas do Brasil (Adaptado de DNPM, 1983).....	28
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>Figura 3.1</b> - Ensaio tipo <i>open end hole</i> em área com vegetação nativa queimada, sem usos significativos.....	38
<b>Figura 3.2</b> - Ensaio tipo <i>open end hole</i> área de pecuária degradada (a) e anéis concêntricos em área de agricultura (b).....	38
<b>Figura 3.3</b> - Valores da moda da condutividade hidráulica (K) por classe de solo, obtidos a partir de ensaios de infiltração <i>in situ</i> .....	39
<b>Figura 3.4</b> - Esquema de infiltração de águas de precipitação através dos aquíferos freáticos. Os valores de condutividade hidráulica se referem a moda deste parâmetro. Setas verticais indicam infiltração, setas inclinadas indicam fluxo interno.....	41
<b>Figura 3.5</b> - Gráfico de interpretação da curva rebaixamento <i>versus</i> tempo do ensaio de bombeamento do poço 6 pelo método Theis.....	45
<b>Figura 3.6</b> - Gráfico de interpretação da curva rebaixamento <i>versus</i> tempo do ensaio de bombeamento do poço 20 pelo método Hantush.....	46
<b>Figura 3.7</b> - Gráfico de interpretação da curva rebaixamento <i>versus</i> tempo do ensaio de bombeamento do poço 3 pelo método Neuman.....	46
<b>Figura 3.8</b> - Gráfico de interpretação da curva rebaixamento <i>versus</i> tempo do ensaio de bombeamento do poço 8 pelo método Neuman.....	46
<b>Figura 3.9</b> - Mapa de distribuição do Sistema Aquífero Parecis dentro da Bacia do Parecis.....	51
<b>Figura 3.10</b> - Descrição esquemática de perfil geológico do poço tubular profundo no subsistema livre.....	53
<b>Figura 3.11</b> - Descrição esquemática de perfil geológico do poço tubular profundo no subsistema confinado.....	54
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>Figura 4.1</b> - O método vulnerabilidade GOD com seus parâmetros de análise e valores atribuídos (Fonte: Foster <i>et al.</i> 2006).....	62
<b>Figura 4.2</b> - Esquema simplificado da estrutura e funcionamento de um hidrômetro.....	64
<b>Figura 4.3</b> - Desenho esquemático dos principais componentes de um poço tubular e a indicação da localização de instalação do tubo-guia (Fonte: adaptado de ABAS, 2004)....	68
<b>Figura 4.4</b> - Esquema do sistema de recarga indireta com captação da água pluviométrica e injeção em caixas de infiltração (Fonte: Cadamuro & Campos, 2005).....	74
<b>Figura 4.5</b> - Caixa de infiltração preenchida por cascalho (Fonte: Cadamuro, 2002).....	74

## ÍNDICE DE TABELAS

### CAPÍTULO III

<b>Tabela 3.1</b> - Valores de K por classe de solo e uso preponderante do solo (LVd = latossolo vermelho distrófico; LVAd = latossolo vermelho amarelo distrófico; LAd = latossolo amarelo distrófico).....	37
<b>Tabela 3.2</b> - Síntese dos resultados de T (transmissividade), S (coeficiente de armazenamento), K (condutividade hidráulica), b (espessura saturada), NE (nível estático), Q (vazão) e Cs (capacidade específica) obtidos nos ensaios de bombeamento dos poços localizados no Sistema Aquífero Parecis.....	43
<b>Tabela 3.3</b> - Valores médios dos parâmetros hidrogeológicos dos subtipos aquíferos livre e confinado.....	50

### CAPÍTULO IV

<b>Tabela 4.1</b> - Normatização da Associação Brasileira de Normas Técnicas para construção de poço tubular e de monitoramento.....	66
--	----

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

### 1.1 APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVAS

A água é essencial a manutenção da vida e agente controlador dos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na Terra e é considerada um recurso natural peculiar, pois se renova pelos processos físicos do ciclo hidrológico. No entanto, pelas suas mais diversas potencialidades e necessidades de usos e pelas pressões dos usuários múltiplos, a água passou a ser um recurso escasso.

A demanda pelas águas é intensificada com o crescimento populacional e crescimento econômico mundial, tanto no que se refere ao aumento da quantidade exigida para determinada utilização, quanto no que se refere à variedade dessas utilizações.

Na sociedade, diversos usos e utilidades para água foram surgindo ao longo do tempo, principalmente nas últimas décadas e como alternativa para o atendimento das necessidades, as águas subterrâneas passaram a desempenhar um papel fundamental e de destaque neste cenário.

No Brasil, em face das crescentes demandas, o uso das águas subterrâneas tem apresentado índices elevados em relação ao uso de águas superficiais. Segundo os dados mais recentes do IBGE (2008), em grande parte dos municípios brasileiros, há a utilização de mais de uma fonte de captação de água bruta para suprir o sistema de abastecimento. A pesquisa mostra que, a captação de água em poços profundos é efetuada por 63,7% dos municípios brasileiros, e que outros 12,4% captam água subterrânea por meio de poços rasos.

Acompanhando a tendência nacional, o aumento da demanda de água subterrânea para abastecimento público também é uma realidade dos municípios Matogrossenses. Cerca de 55% dos municípios fazem uso desta prática (IBGE, 2008), sendo que o município de Sinop destaca-se neste panorama estadual ao compor seu sistema de abastecimento público exclusivamente por poços profundos (Brasil, 2005).

O município de Sinop concentra um dos polos de desenvolvimento industrial, comercial e populacional do Estado de Mato Grosso que mais cresceu nas últimas décadas, devido principalmente a expansão do agronegócio. O desenvolvimento regional aliado a busca por recursos naturais, no caso a água, tornou-se um dos maiores desafios para os investidores locais que necessitam de água em quantidade e qualidade suficiente para suprir as etapas dos processos produtivos.

Além da região de Sinop, diversas outras cidades da porção central do estado têm ampliado o abastecimento a partir das disponibilidades hídricas subterrâneas. Dentre as alternativas existentes, a mais comumente adotada por grande parte dos empreendedores é a de perfuração de poços tubulares para o abastecimento local.

Deste modo, a demanda por recursos hídricos subterrâneos na região cresceu exponencialmente na última década, contudo pouco se investiu em pesquisas neste seguimento. Algumas projeções sobre a capacidade do Sistema Aquífero Parecis o apontam, quanto ao aspecto produtivo, como o de melhor potencial hidrogeológico no Estado de Mato Grosso, porém pouco se conhece realmente acerca deste sistema.

O Governo do Estado de Mato Grosso, por meio da sua Secretaria de Meio Ambiente, tem implementado ações com vistas a garantir o gerenciamento efetivo dos aquíferos do Estado, conforme preconiza a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que entre outras atribuições, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Uma destas ações é a implantação da outorga de direito de uso de recursos hídricos subterrâneos, que, em conjunto com a cobrança pelo uso, tem se mostrado um dos instrumentos mais eficientes para gestão dos aquíferos.

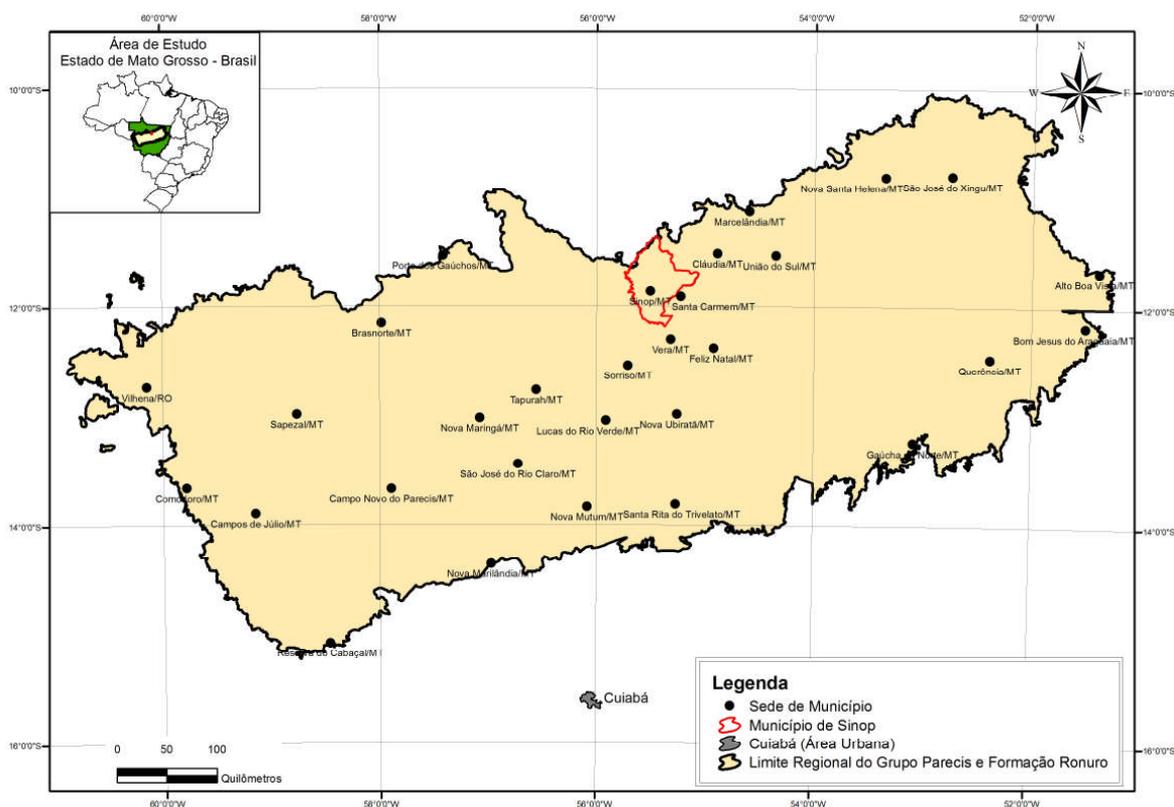
No entanto, entende-se que para efetivação da referida outorga é fundamental o conhecimento dos diferentes sistemas aquíferos presentes em todo o Estado, bem como suas características hidrogeológicas intrínsecas, além da quantificação destes recursos subterrâneos.

Sendo assim, o presente estudo tem o propósito de contribuir com o conhecimento acerca das características do Sistema Aquífero Parecis em Mato Grosso e sugerir propostas para a sua gestão.

## 1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de interesse compreende o Sistema Aquífero Parecis na região centro-norte do Estado de Mato Grosso, com ênfase na região do entorno do município de Sinop/MT (Figura 1.1).

Geograficamente este município possui 3.942,2 km<sup>2</sup> (IBGE, 2011) de área territorial, distando aproximadamente 550 km da capital Cuiabá. O acesso à região pode ser feito por via terrestre, pela Rodovia Federal BR-163 (Cuiabá - Santarém).



**Figura 1.1 - Mapa de Localização da área de estudo.**

### 1.3 OBJETIVOS

O estudo tem como objetivo principal caracterizar regionalmente o Sistema Aquífero Parecis na porção centro-norte do Estado de Mato Grosso, com vistas a subsidiar a gestão destes recursos hídricos, uma vez que este aquífero é considerado uma importante fonte de água para o Estado.

Com o intuito de atingir o objetivo principal, algumas metas devem ser desenvolvidas neste estudo, incluindo:

- Caracterizar regionalmente por meio de trabalhos de campo e dados secundários a geologia local, estratigrafia, variações de fácies, pedologia, geologia estrutural, geomorfologia, e inventário de pontos d'água;
- Identificar os subsistemas aquíferos existentes e suas interações e relações;
- Identificar a presença de barreiras hidráulicas e suas relações dentro do sistema aquífero com base nos dados de poços existentes e dados de campo;
- Obter os parâmetros hidrodinâmicos e dimensionais da zona saturada e não saturada;
- Subsidiar os órgãos gestores de recursos hídricos e demais instituições de pesquisa com informações relevantes sobre a hidrogeologia do Sistema Aquífero Parecis;
- Sugerir procedimentos e diretrizes necessárias para aperfeiçoar o sistema de planejamento e gestão integrada dos recursos hídricos na região do Sistema Aquífero Parecis.

## 1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos propostos para execução deste trabalho foram subdivididos em três fases sequenciais principais de pesquisa, a primeira denominada de revisão bibliográfica, a segunda de trabalhos de campo e a última fase a de tratamento e integração de dados.

### 1.4.1 Revisão Bibliográfica

Esta etapa de trabalho foi voltada para a realização da revisão bibliográfica dos aspectos físicos da região, tais como: geologia regional e local, geomorfologia, geologia estrutural, pedologia, clima; uso e cobertura vegetal, e levantamento dos trabalhos anteriores. Contudo, outros levantamentos também foram efetuados, incluindo:

- ◆ Levantamento e revisão dos dados dos testes de bombeamento, perfil hidrogeológico e perfil construtivo dos poços tubulares apresentados à Secretaria de Estado do Meio Ambiente de Mato Grosso - SEMA/MT nos processos de licenciamento ambiental para a construção de poços tubulares;
- ◆ Levantamento dos dados de vinte e quatro poços tubulares das Concessionárias Municipais responsáveis pelo serviço público de tratamento, distribuição de água e esgotamento sanitário;
- ◆ Levantamento do cadastro de poços de empresas perfuradoras que atuam na região;
- ◆ Identificação dos poços tubulares construídos na região de estudo e que estejam cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS do Serviço Geológico do Brasil - CPRM/MME.

#### 1.4.1.1 Cadastramento de Pontos D'água

Ponto d'água é qualquer acesso à zona saturada do aquífero capaz de fornecer informações qualitativas e quantitativas sobre os reservatórios subterrâneos. Incluem, portanto, poços tubulares, poços escavados (cacimbas, poço amazonas, cisterna, etc.), fontes naturais, galerias filtrantes, zonas pantanosas, rios e lagoas conectados ao aquífero, etc. (Feitosa & Feitosa, 2008).

O cadastro de pontos d'água é um recurso básico e fundamental para os estudos hidrogeológicos. Para que este recurso funcione bem, algumas informações devem ser levantadas, como, localização do ponto (coordenadas geográficas, endereço e pontos de referência), proprietário, tipo do ponto (poço tubular, cacimba ou outros), aquífero captado, características construtivas, equipamento instalado, vazão média, nível dinâmico, nível estático, dados de ensaios de bombeamento, entre outros dados disponíveis.

Neste trabalho o inventário de pontos d'água fundamentou-se nas informações levantadas em poços tubulares perfurados na região do Sistema Aquífero Parecis.

### **1.4.2 Trabalhos de Campo**

O trabalho de campo ocorreu em dois períodos, em novembro de 2011 e maio de 2012, e destinou-se aos levantamentos de dados primários referentes a geologia, estratigrafia, variações de fácies, pedologia, geologia estrutural e dados hidrodinâmicos da zona não saturada.

Para auxiliar estes trabalhos foram utilizadas cartas topográficas na escala 1:100.000 DSG, Folha Sinop (SC.21-Z-C-VI) e Folha Santa Carmem (SC.21-Z-D-IV), imagens de satélite LANDSAT ano 2009 com 30 metros de resolução espacial e as imagens disponíveis no Google Earth®.

Os métodos utilizados no campo foram: ensaios de infiltração (*open end hole* e anéis concêntricos) na zona não saturada, descrição de perfis de solo, classificação dos solos, levantamento geológico com visitas a afloramentos do Grupo Parecis e caracterização da geomorfologia da região.

#### *1.4.2.1 Ensaios de Infiltração*

Os solos têm a capacidade de absorver água em termos de lâmina de água por tempo, caracterizando assim a capacidade de infiltração ou a condutividade hidráulica ( $K$ ) destes materiais naturais.

Os ensaios de infiltração desenvolvidos são classificados como ensaios de rebaixamento, realizados com carga variável e com injeção de água na zona não saturada do aquífero. Estes ensaios não utilizam sistema de observação da variação das cargas piezométricas nas imediações do furo onde se realiza o ensaio. Por esta razão os ensaios objeto destas diretrizes também são conhecidos por ensaios pontuais (ABGE, 1996).

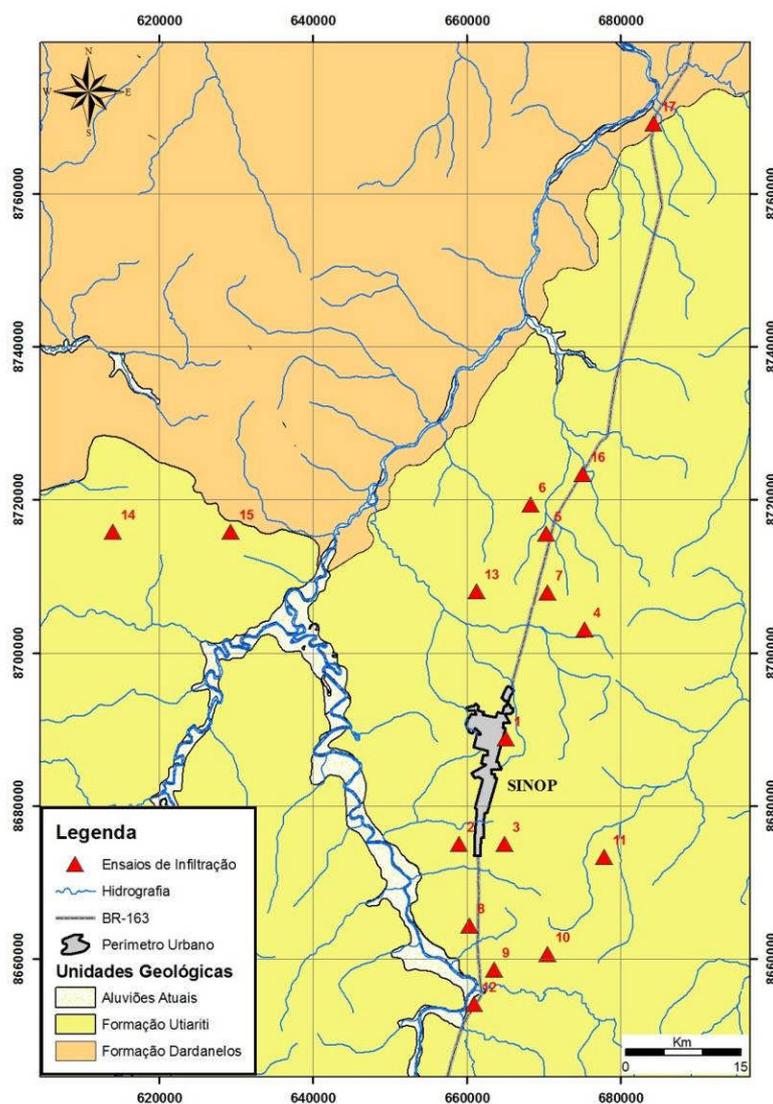
Em campo, com o intuito de determinar o parâmetro condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) da zona não saturada até uma profundidade máxima de 200 cm, alguns métodos de rápida execução e eficientes resultados são largamente utilizados para estudos hidrogeológicos. Nesta pesquisa os métodos empregados foram o do infiltrômetro de anéis concêntricos e o *open end hole*.

Na etapa de campo foram executados 17 ensaios de infiltração completos (Figura 1.2), em cada ponto foram realizados ensaios de infiltração para a estimativa dos valores da condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) da zona vadosa. Para determinar o  $K_v$  em superfície

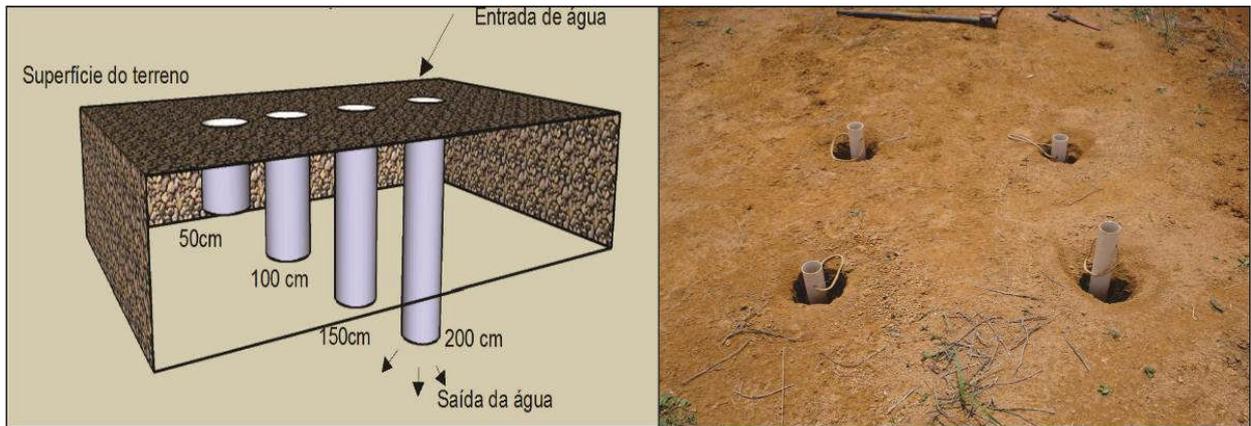
aplicou-se o método do infiltrômetro de duplo anel e para profundidades de até 200 cm o método foi do tipo *open end hole*.

#### 1.4.2.1.1 Método OPEN END HOLE

Os ensaios do tipo *open end hole* (Earth Manual, 1974) foram utilizados para a avaliação de  $K_v$  nas profundidades de 50, 100, 150 e 200 cm (Figura 1.3), por meio da utilização de poços de observação revestidos por tubos de PVC.



**Figura 1.2** - Mapa de localização dos ensaios de infiltração (Fonte: adaptado de ZSEE, 2008).



**Figura 1.3** - Ilustração esquemática e de campo do método *open end hole* para ensaios de infiltração *in situ*.

Os furos foram feitos com o uso de trado manual com 2 polegadas de diâmetro que possibilitou a investigação em diferentes profundidades da zona não saturada. Em cada furo foi introduzido um tubo de PVC com 50 mm de diâmetro e comprimento compatível com a profundidade de perfuração.

Para a execução deste método, os tubos foram perfeitamente cravados no solo para se evitar a dispersão lateral da água a ser inserida. Tomou-se a medida do parâmetro H (distância entre o topo do tubo e o fundo do furo). Posteriormente, os tubos foram preenchidos com água e mediu-se a distância inicial entre o topo do tubo e o nível da água ( $M_i$ ), resultando na altura da coluna d'água inicial ( $h_0 = H - M_i$ ). Para finalizar, mediu-se a nova posição da lâmina d'água ( $M_f$ ), obtendo-se a altura da coluna d'água final ( $h = H - M_f$ ). O tempo decorrido ( $\Delta t$ ) para a coluna d'água variar de  $h_0$  para  $h$  também foi medido (Fiori, 2010). A Equação 1 mostra as relações matemáticas para a aplicação deste método.

**Equação 1.1:** Condutividade vertical em profundidade.

$$K_v = 2,303 \times \left( \frac{R}{4\Delta t} \right) \times \left[ \log \left( \frac{h_0}{h} \right) \right]$$

Onde, R = raio do tubo (em metro),  $h_0$  = coluna d'água inicial, h = coluna d'água final,  $\Delta t$  = tempo decorrido para o rebaixamento entre  $h_0$  e h (em segundos).

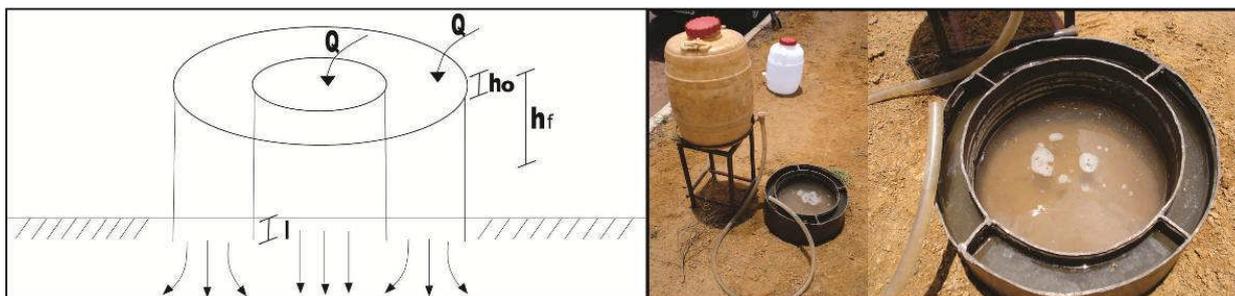
#### 1.4.2.1.2 Método dos Anéis Concêntricos

O método dos anéis concêntricos (Bernardo, 1986) também é usado para determinação do  $K_v$ , porém diferencia-se por estimar a condutividade hidráulica vertical da superfície do terreno, mostrando uma relação direta com o uso preponderante do solo e a taxa de infiltração no terreno.

Fiori (2010) descreve o infiltrômetro de duplo anéis, como sendo um instrumento composto por dois cilindros dispostos de forma concêntrica, que são cravados alguns centímetros no solo para impedir a dispersão lateral da água inserida (Figura 1.4).

O procedimento inicial para execução deste método consistiu na leitura do parâmetro I que é resultado da medida direta da seção do cilindro que foi cravada na superfície do solo.

Posteriormente, foi preenchido com água o cilindro externo até a estabilização do nível, este procedimento tem o intuito de estabelecer certo grau de saturação do solo e garantir a verticalidade do fluxo, gerando uma parede de umidade em torno do cilindro interno.



**Figura 1.4** - Ilustração esquemática e de campo do método dos anéis concêntricos para ensaios de infiltração. I - seção cravada no solo,  $h_0$  - distância do nível d'água inicial à superfície do terreno,  $h_f$  - distância do nível d'água final à superfície do terreno e Q - volume de água inserido.

Em seguida, o cilindro interno foi preenchido com água, mantendo o cuidado de conservar durante todo o procedimento a lâmina d'água do cilindro externo acima do nível d'água do cilindro interno.

Depois de preencher o cilindro interno, mediu-se a diferença entre o topo do cilindro e a altura da lâmina d'água do cilindro interno, obtendo-se o  $M_i$  ou medida inicial. Para determinação do parâmetro H é medida a altura total do cilindro.

Em posse dos parâmetros I,  $M_i$  e H, calculou-se a altura inicial da coluna d'água pela seguinte equação  $H_i = H - I - M_i$ .

O  $\Delta t$  é o intervalo de tempo de duração dos ensaios que podem ser diferentes em decorrência da variação da condutividade hidráulica do meio.

Na finalização do ensaio, foi obtido novamente a distância entre o topo do cilindro e o nível da água, resultando na medida final ( $M_f$ ) e, conseqüentemente, a coluna d'água final ( $H_f = H - I - M_f$ ). A Equação 2 mostra a fórmula matemática para aplicação deste método.

**Equação 1.2:** para cálculo da condutividade vertical em superfície.

$$K = U \times \frac{I}{\Delta t} \times \ln\left(\frac{h_0}{h}\right)$$

Onde, I = profundidade de cravação,  $h_0$  = coluna d'água inicial, h = coluna d'água final,  $\Delta t$  = tempo de decorrido para o rebaixamento entre  $h_0$  e h e, U = fator de conversão de unidades, para passar mm/min para m/s, expresso na fórmula como 1/60000.

#### 1.4.2.2 Geologia, Pedologia e Geomorfologia

A fase de campo também foi voltada para realização do reconhecimento geológico, pedológico e geomorfológico a nível regional na Bacia dos Parecis, dentro dos limites do Estado de Mato Grosso e no entorno do município de Sinop.

O reconhecimento geológico no contexto da sequência cretácea da bacia destinou-se a visitas aos afloramentos clássicos correspondentes às áreas tipo das formações Salto das Nuvens e Utiariti com o intuito de conhecer os tipos petrográficos e as relações estratigráficas destas unidades.

As classes de solos foram caracterizadas nos 17 pontos dos ensaios de infiltração, a partir da análise tátil-visual de cada horizonte nos perfis estudados.

#### 1.4.3 Tratamento e Integração dos Dados

Esta etapa é destinada a abordagem sistemática, interpretação e integração dos dados obtidos nas fases anteriores, relacionando os dados primários com os dados secundários.

Inicialmente foram selecionados 24 testes de bombeamento entre o conjunto de 35 ensaios, distribuídos ao longo da Bacia dos Parecis nos limites do Estado de Mato Grosso. A seleção do conjunto de dados baseou-se nas características das medidas obtidas durante os ensaios de bombeamento, bem como nos detalhes das descrições dos perfis litológicos e dos perfis construtivos dos poços.

Os dados das perfurações e dos ensaios foram fornecidos pela Companhia Mato-Grossense de Mineração-METAMAT. A companhia em questão disponibilizou para esta pesquisa as informações dos poços perfurados pela antiga Companhia de Água e Saneamento do Estado de Mato Grosso - SANEMAT.

Outros testes foram adquiridos com empresas privadas de perfuração de poços tubulares e também em processos de licenciamento ambiental na Secretaria de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso - SEMA. Os dados obtidos nas empresas apresentaram-se sob a forma de fichas técnicas, contendo, as tabelas de bombeamento, os perfis litológicos e perfis construtivos dos poços.

Todos os ensaios de bombeamento foram baseados na técnica de medição rebaixamento do nível da água no próprio poço bombeado, sem a utilização de um poço de observação.

As informações dos ensaios de bombeamento foram tratadas com o auxílio do *software* Aquifer Test Pro versão 2011.1, da *Waterloo Hydrogeologic Inc*, para obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos e dimensionais do aquífero como transmissividade (T),

condutividade hidráulica (K), coeficiente de armazenamento (S), vazão média (Q), capacidade específica, profundidade média do nível estático (NE) e nível dinâmico (ND).

Os dados dos ensaios de infiltração na zona não saturada foram trabalhados com equações específicas projetadas em planilhas no Microsoft Excel 2010 para determinação da condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) da zona vadosa.

O *software* utilizado para tratamento dos ensaios de bombeamento permite a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero por meio de dados de rebaixamento do nível da água, medidos em poços de observação. Neste estudo, os ensaios usados para determinar os parâmetros hidrodinâmicos foram embasados em testes com leitura do próprio poço bombeado, para tanto, foi necessário a criação de um poço de observação virtual à uma distância de 1 metro do poço bombeado. No processo de determinação da distância, diversas tentativas com diferentes distâncias foram realizadas, porém intervalos maiores (10, 20, 30 e 100 metros) impuseram grandes interferências nas estimativas, subestimando os valores dos parâmetros hidrodinâmicos.

Resultados de levantamentos geofísicos terrestres que foram realizados na área, também foram utilizados como balizadores para determinação da espessura da camada saturada, além dos perfis litológicos e construtivos dos poços.

## CAPÍTULO II

### CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 2.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo contextualizar os principais aspectos do meio físico da região de Sinop e demais áreas de ocorrência do Grupo Parecis, e a interação destes fatores no condicionamento do sistema hídrico subterrâneo. Os dados apresentados neste capítulo são secundários e primários, provenientes da revisão bibliográfica e dos trabalhos de campo realizados para esta pesquisa.

#### 2.2 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS

Segundo a classificação regional de Köppen - Geiger o clima da região enquadra-se no tipo Am, este clima é caracterizado como tropical, onde a temperatura média do mês mais frio do ano é maior do que 18°C, com estação de inverno ausente e chuvas do tipo monções.

As isoietas de precipitação anual para a região variam entre 1750 a 2000 mm, sendo que estes valores foram obtidos com a média da precipitação (para um período de cinco anos) nas estações pluviométricas que estão distribuídas na área estudada (Mato Grosso, 2009).

Este regime climático resulta na formação de dois tipos de coberturas vegetal na região: cerrado na porção de ocorrência de isoietas inferiores a 1800 mm/ano com maior sazonalidade anual (região mais a sul) e floresta ombrófila na porção em que ocorrem isoietas maiores que 1800 mm/ano, o que corresponde à faixa mais norte da bacia.

#### 2.3 HIDROGRAFIA

Segundo Melo & Franco (1980) os rios da região apresentam águas de cores escuras e fundos de vales planos, onde apresentam canais do tipo meandrante. As drenagens partem para norte, leste e noroeste, em função de uma linha divisora de águas. O Rio Teles Pires é o principal afluente da área e marca o limite do município de Sinop a oeste. Sua vazão média anual é de 351 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Além deste rio, na porção mais a leste da bacia ocorrem as nascentes do rio Xingu cuja rede de tributários drena para norte.

De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso a área de estudo está inserida na Região Hidrográfica Amazônica - Bacia Hidrográfica Regional do Rio Juruena - Teles Pires. A vazão média das águas superficiais da região é em torno de 20.000 a 40.000 hm<sup>3</sup>/ano (Mato Grosso, 2009).

O padrão de drenagem dominante na região é classificado como do tipo subdendrítico, com drenagem de segunda ordem. Os tributários do Rio Teles Pires que banham a zona urbana da cidade de Sinop são os córregos Nilsa, Isa, Marlene, Nádia e Curupi (Comelli, 2011).

## 2.4 PEDOLOGIA

Os solos predominantes na região do Planalto do Parecis são os latossolos vermelho-amarelo distróficos, que são solos minerais, não hidromórficos, caracterizados por apresentarem horizonte B latossólico desenvolvidos a partir de sedimentos do Quaternário, Neógeno-Quaternário e do Grupo Parecis (Oliveira *et al.* 1982).

De modo geral, são solos profundos a muito profundos, bem a excessivamente drenados, bastante permeáveis, muito porosos, tendo pequeno gradiente relação textural e pouca diferenciação entre os horizontes. Apresentam avançado estágio de intemperismo e processo intensivo de lixiviação e transformação, resultando na predominância de minerais de argila do tipo 1:1 e sesquióxidos na composição da fração coloidal, baixa quantidade de minerais pouco resistentes ao intemperismo e baixa reserva de elementos nutritivos para as plantas (Oliveira *et al.* 1982).

Os solos que recobrem o Grupo Parecis são bem desenvolvidos e intemperizados, possuem estrutura forte pequena granular e grumosa com aspecto de “pó de café”. A coloração varia de 7,5YR a 2,5YR, mais frequentemente 5YR (Oliveira *et al.* 1982).

São os solos de maior ocorrência no Estado de Mato Grosso, estendendo-se por cerca de 262.000 km<sup>2</sup>, principalmente em sua porção centro-norte, no Planalto dos Parecis, desde Brasnorte a oeste até São Félix do Araguaia e Cocalinho a leste (Embrapa, 2006a).

A pesquisa de campo na região de Sinop/MT possibilitou a identificação de duas outras classes de solos além daquela considerada predominante na região. As classes mapeadas foram: latossolo vermelho-amarelo distrófico, latossolo amarelo distrófico e latossolo vermelho distrófico.

Os latossolos vermelho-amarelos distróficos são solos com matiz entre 2,5YR e 7,5 YR, baixa saturação por bases ( $V < 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) (Embrapa, 2006b). Esta classe constitui os solos que ocorrem predominantemente sobre relevo plano do Planalto dos Parecis, com predominância da textura argilosa, ocorrendo por vezes concreções ferruginosas em profundidades maiores que 150 centímetros. Estrutura do tipo granular média a grossa (Figura 2.1) comumente ocorre em níveis superficiais (horizonte A).



**Figura 2.1** - Estrutura granular média a grossa, presente no horizonte A do latossolo vermelho-amarelo distrófico.

O latossolo amarelo distrófico apresenta cores amareladas, com matiz 7,5 YR ou mais amarelo na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, inclusive BA (Embrapa, 2006b). Este solo ocorre nos níveis topográficos intermediários entre os latossolo vermelho e o latossolo vermelho-amarelo, com predominância do relevo suave ondulado. A textura deste solo varia de argilosa a muito argilosa com raras variações em profundidade para textura areno-argilosa. Também é comum a ocorrência de plintita e petroplintita a profundidades maiores que 70 centímetros. Em níveis superficiais há estruturação granular comum, média a grossa.

Os latossolos vermelhos distróficos (Figura 2.2) compreendem os solos com matiz 2,5 YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm de horizonte B, inclusive BA (Embrapa, 2006b). São bastante comuns na região estudada, e ocorrem predominantemente em área com relevo suave ondulado. Nestes solos a textura arenosa é comum com variações para argilo-arenosa.



**Figura 2.2** - Latossolo vermelho distrófico com textura arenosa.

## 2.5 GEOMORFOLOGIA

A região de Sinop está localizada na porção leste do Planalto dos Parecis. O Planalto dos Parecis é uma extensa unidade geomorfológica que ocorre de forma contínua na porção central do estado de Mato Grosso.

Uma das primeiras caracterizações relacionadas aos aspectos geomorfológicos dos sedimentos cretáceos do Grupo Parecis foi realizada por Padilha (1974) ao sul da folha Juruena SO-SC.21-Y, entre os interflúvios dos rios Eugênia e Juruena. Os autores delimitaram o pacote sedimentar através de fotointerpretação e descreveram a sequência naquela região como grandes chapadões em forma de paredões e torres que, no conjunto, assumiam aspectos ruiniformes.

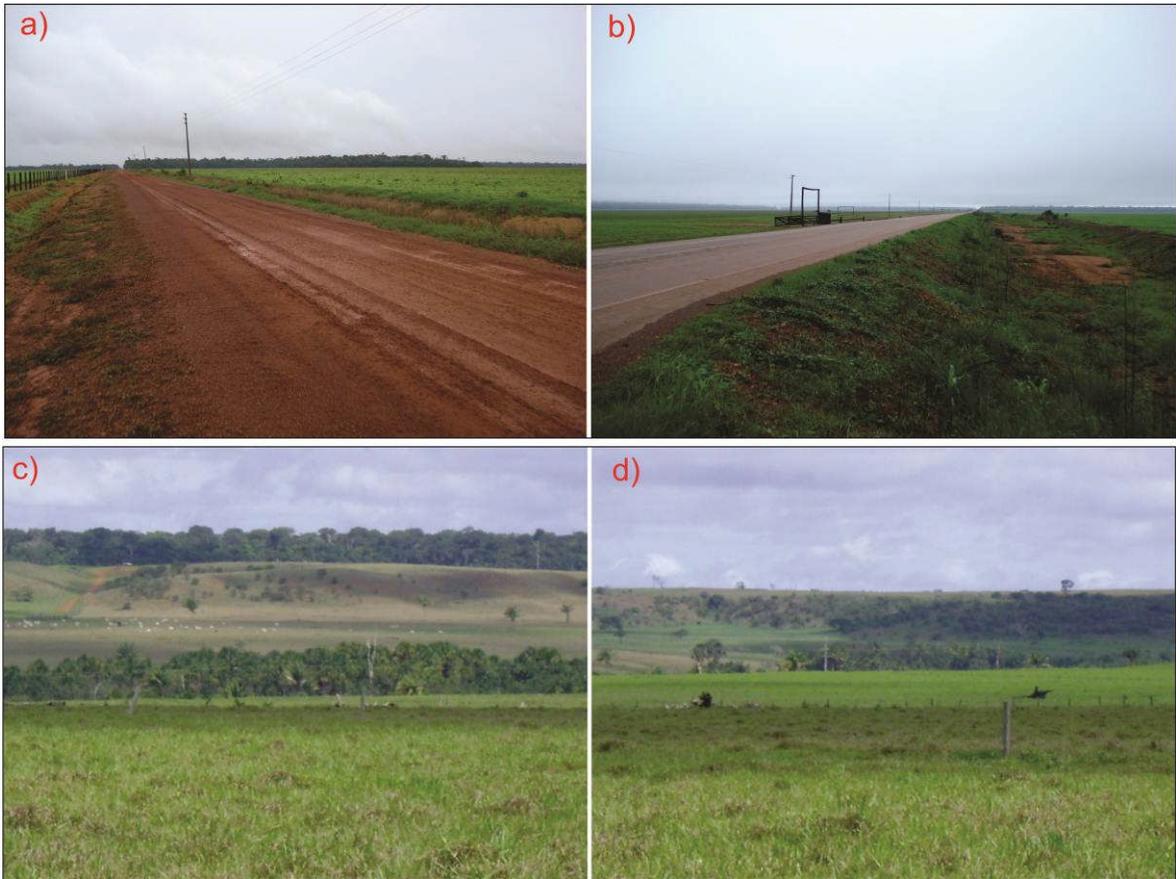
A denominação de unidade geomorfológica Planalto Parecis foi registrada por alguns autores em mapeamentos anteriores ao Projeto Radambrasil. Ross *et al.* (1982) adotaram o nome da unidade proposto por Kux *et al.* (1979) para o extenso conjunto de relevo esculpido principalmente nas rochas do Grupo Parecis.

Ross *et al.* (1982) analisando o conjunto geomorfológico do Planalto dos Parecis descrevem que a unidade é caracterizada por duas feições. A primeira constitui uma vasta superfície composta de relevos dissecados, do qual emerge uma superfície mais elevada, sendo a segunda feição representada por uma superfície menos dissecada. A região foi compartimentada em duas subunidades denominadas de Chapada dos Parecis e Planalto Dissecado dos Parecis.

A área de estudo repousa sobre a primeira subunidade ou Chapada dos Parecis, como emerge da superfície central do Planalto, seus limites se fazem com a superfície ligeiramente mais rebaixada que a envolve.

Bahia (2007) construiu um modelo digital de elevação para toda a Bacia dos Parecis, neste modelo o autor ressaltou as diferenças entre as cotas dos terrenos, que variam entre 200 metros de altitude no extremo oeste da bacia até 900 metros na porção sul da Bacia dos Parecis, onde ocorrem os terrenos basálticos da Serra de Tapirapuã.

Nos trabalhos de campo desta pesquisa observou-se ampla homogeneidade nos arquétipos geomorfológicos da região de Sinop, os padrões de relevo (Figura 2.3) identificados foram do tipo plano a predominantemente suave ondulado, com variações nítidas para ondulado a forte ondulado nas bordas da bacia e próximo ao embasamento.

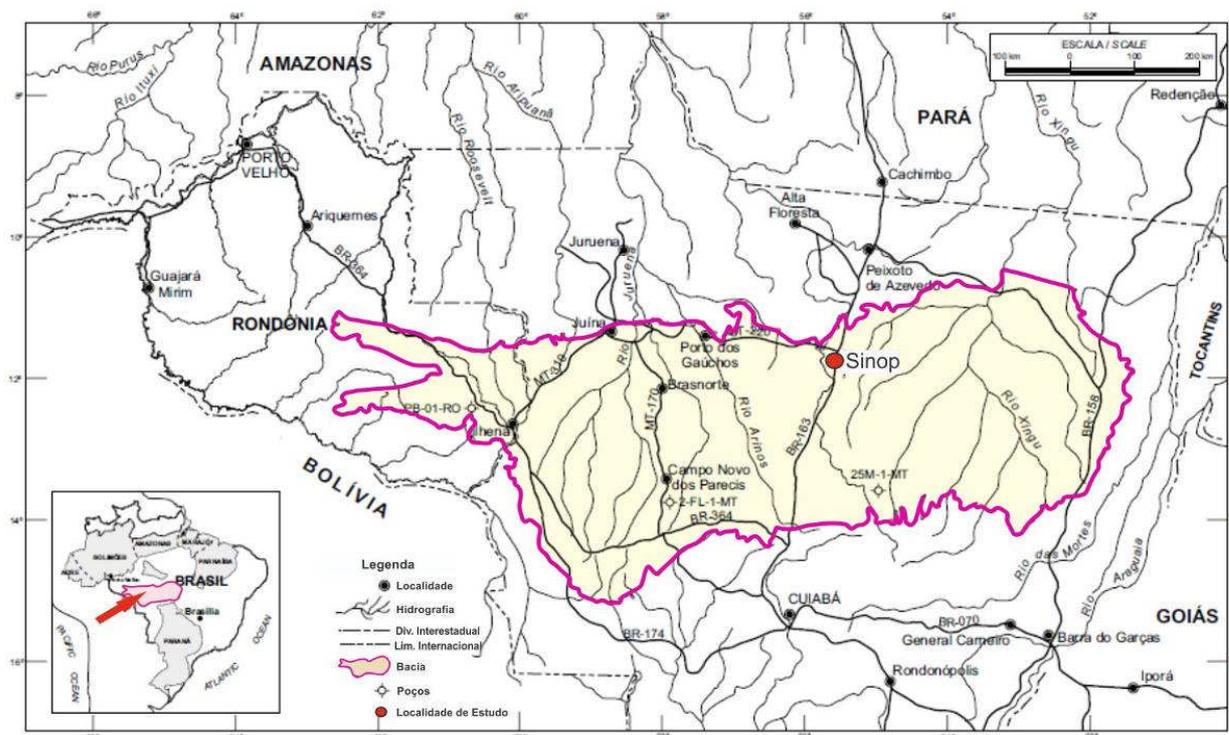


**Figura 2.3** - Padrões de relevo: **a** e **b**, configuração geomorfológica plana da Chapada do Parecis; **c** e **d**, padrão suave ondulado nas proximidades da borda da mesma bacia.

## 2.6 CONTEXTO GEOLÓGICO

O contexto geológico do Sistema Aquífero Parecis na porção centro-norte do estado de Mato Grosso é representado pela sequência cretácea da Bacia dos Parecis, cujos sedimentos recobrem as rochas do Cráton Amazônico.

A Bacia dos Parecis é uma das bacias intracratônicas brasileiras. Está localizada na região centro-oeste do território nacional, entre as bacias do Solimões, Alto Tapajós e Paraná, no antepaís da Cordilheira dos Andes (Figura 2.4).



**Figura 2.4** - Mapa de localização da Bacia dos Parecis (Fonte: adaptado de Pedreira & Bahia, 2004).

### 2.6.1 Bacia dos Parecis

A Bacia dos Parecis, anteriormente designada de Parecis/Alto Xingu (Schobbenhaus Filho & Campos, 1984) é alongada na direção geral W-E com maior dimensão de 1.250 km e abrange cerca de 500.000 km<sup>2</sup> nos estados de Rondônia e Mato Grosso. Ela possui cerca de 6.000 m de sedimentos paleozoicos, mesozoicos e cenozoicos, e inclui rochas vulcânicas (derrames e diques) do Cretáceo e seus sedimentos são essencialmente siliciclásticos (Siqueira, 1989).

Tectonicamente ocupa o setor sudoeste do Cráton Amazônico, entre os cinturões de cisalhamento Rondônia e Guaporé. Os limites sudeste e nordeste da bacia são os arcos do Alto Xingu (Almeida, 1983 *apud* Siqueira, 1989) e Rio Guaporé, respectivamente (Siqueira, 1989).

Siqueira (1989) dividiu a Bacia dos Parecis em três domínios tectono-sedimentares: Fossa Tectônica de Rondônia, no oeste da bacia; Baixo Gravimétrico do Parecis no sudoeste da bacia; e Depressão do Alto Xingu, no limite leste da bacia. Esses domínios correspondem às sub-bacias de Rondônia, do Juruena e do Alto Xingu, separadas respectivamente pelos arcos de Vilhena e da Serra Formosa (Braga & Siqueira, 1996). Em cada sub-bacia a seqüência sedimentar é distinta; somente a Formação Fazenda da Casa Branca aflora em todas as sub-bacias.

A Bacia dos Parecis situa-se no oeste do Brasil entre as bacias do Solimões e Paraná, definindo com estas o conjunto de bacias paleozóicas brasileiras adjacentes à Depressão Subandina (Siqueira & Teixeira 1993).

Os sedimentos são principalmente siliciclásticos, porém as sequências tidas como paleozoicas, no caso marinhas e lacustres, contêm algum calcário e evaporitos. No Mesozóico/Cenozóico, os sedimentos são de caráter continental fluvial e eólico. (Siqueira & Teixeira, 1993).

A estruturação desta bacia inclui também diques e derrames de basalto, a exemplo da Formação Tapirapuã e com idade de 197 Ma (Montes-Laurar *et al.* 1994), assim como intrusões ultrabásicas de natureza kimberlítica.

Em um trabalho de integração e atualização de dados de geologia de Mato Grosso, Lacerda Filho *et al.* (2004) descreveram as unidades litoestratigráficas que constituem a Bacia dos Parecis no estado, como: Formação Jauru, Formação Pimenta Bueno, Formação Fazenda da Casa Branca, Formação Rio Ávila, Formação Tapirapuã, Formação Salto das Nuvens, Formação Utiariti, Diabásio Cururu, Suíte Ponta do Morro, Formação Cachoeirinha, Formação Ronuro e coberturas sedimentares indiferenciadas.

Segundo Pedreira & Bahia (2004) o embasamento da Bacia dos Parecis é o Cráton Amazônico, compreendendo rochas de alto e médio grau de metamorfismo e rochas metassedimentares, bem como rochas intrusivas. As de alto grau são os granulitos do Complexo Jamari (Isotta *et al.* 1978) no Estado de Rondônia (oeste da bacia); as de médio grau, os gnaisses, migmatitos e granitóides do Complexo Xingu (norte e sul da bacia) de idade arqueana e mesoproterozóica (estados de Mato Grosso e Goiás). As rochas metassedimentares afloram nos estados de Mato Grosso e Goiás (sudeste da bacia). As rochas básicas, e ultrabásicas, que intrudem o embasamento em diversos locais, são de idade mesoproterozóica.

O preenchimento da Bacia dos Parecis iniciou no Paleozóico, com a deposição de conglomerados, arenitos, siltitos e folhelhos, nesta ordem em direção ao topo da bacia, com alguma contribuição de sedimentos carbonáticos e glaciais. Este pacote sedimentar é composto, da base para o topo, pelas formações Cacoal, Pimenta Bueno e Fazenda da Casa Branca, na porção oeste da bacia, bem como pelas formações Furnas e Ponta Grossa, na porção leste da mesma (Bahia, 2007).

No Paleozóico Inferior, a região amazônica foi afetada por um evento extensional, quando se implantou um sistema de riftes intracontinentais aproveitando zonas de fraquezas anteriores, que foram preenchidos, pelo menos em parte, pela Formação Cacoal durante o Ordoviciano. Sobre este sistema de riftes depositaram-se, do Devoniano ao Cretáceo, as

formações Cacoal, Furnas, Ponta Grossa, Pimenta Bueno, Fazenda da Casa Branca, Rio Ávila e o Grupo Parecis (Bahia, 2007).

Bahia (2007) propôs uma coluna estratigráfica para a Bacia dos Parecis baseada em uma compilação de vários projetos de mapeamento existentes, dados de campo, dados de geocronologia e correlação com a estratigrafia de outras bacias brasileiras (Figura 2.5).

Segundo Bahia *et al.* (2007) durante o Mesozóico (Juro-cretáceo), a Região Amazônica foi afetada por outro evento extensional, relacionado à separação entre a América do Sul e a África, quando depressões foram preenchidas por rochas sedimentares e vulcânicas. Na Bacia dos Parecis este evento corresponde aos derrames basálticos das formações Anari e Tapirapuã, que ocorreram em torno de 198 Ma, os quais foram cobertos, em tempo muito próximo ou concomitante aos derrames, pelos arenitos de origem eólica da Formação Rio Ávila. No Cretáceo foi depositado o Grupo Parecis, composto de conglomerados e arenitos, depositados em ambientes fluvial e eólico.

As unidades litoestratigráficas citadas formam cinco sequências deposicionais (Figura 2.6): Ordoviciano, Devoniano, Carbonífero-permiano, Juro-cretáceo e Cretáceo, separadas por discordâncias regionais, com indicação de deposição em uma bacia tipo sinéclise de interior continental (Bahia *et al.* 2007).

#### 2.6.1.1 Formação Tapirapuã

Eventos magmáticos mesozoicos de composição básica constituem a Serra Tapirapuã na região centro-sul de Mato Grosso. Estes derrames vulcânicos foram objeto de estudo de diversos autores. Corrêa & Couto (1972) adotaram a denominação de Formação Tapirapuã para caracterizar uma série de derrames de basaltos que afloram no município de Arenópolis.

Barros *et al.* (1982) adotaram a denominação de Formação Tapirapuã proposta anteriormente por Corrêa & Couto (1972) para os basaltos da serra de Tapirapuã e concluíram que, provavelmente, estes basaltos representariam as últimas manifestações do grande vulcanismo fissural que atuou no Brasil.

Lacerda Filho *et al.* (2004) descrevem estes derrames vulcânicos básicos como normalmente constituídos por basaltos isotrópicos, cinza-chumbo, nas bordas dos derrames 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.

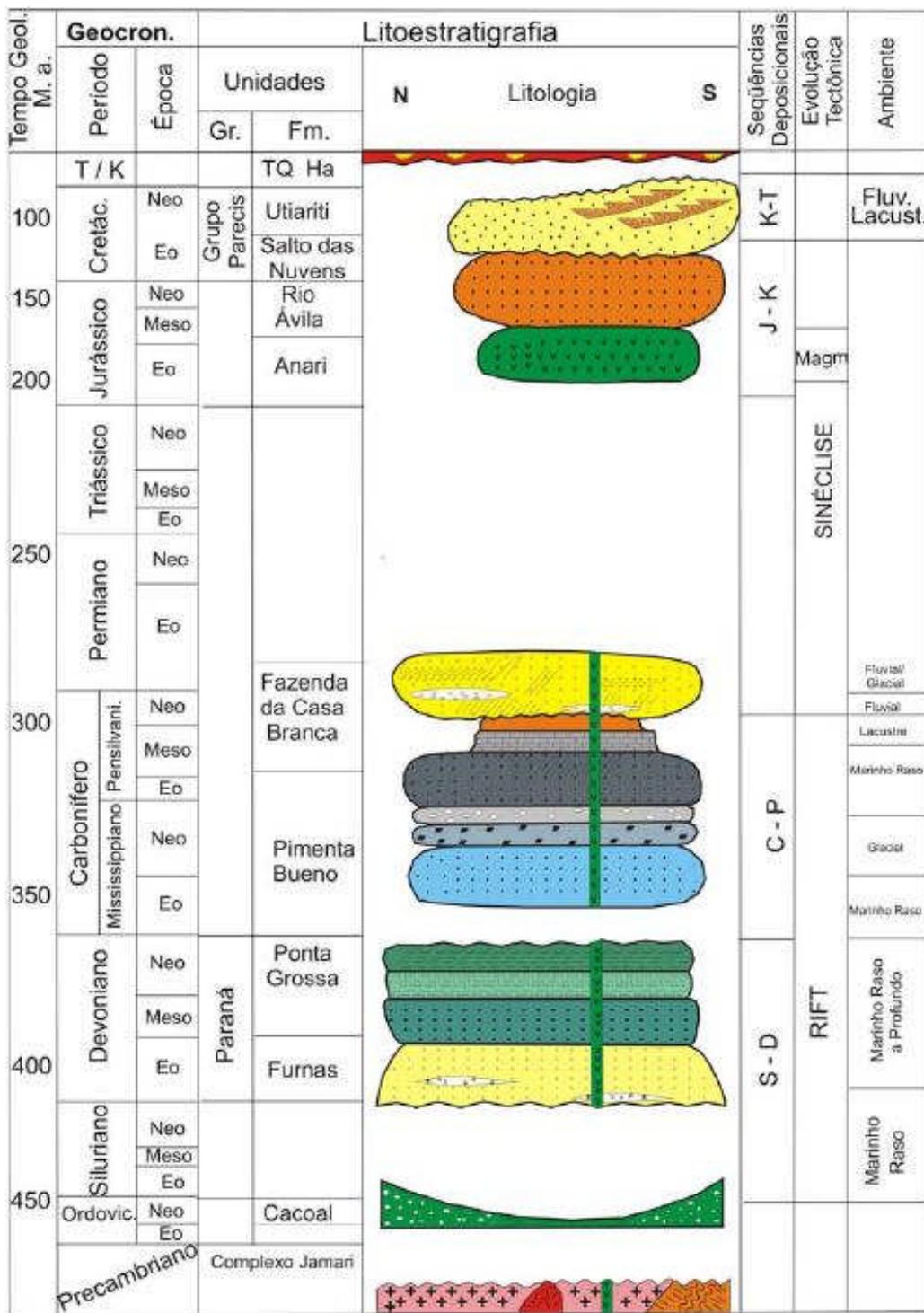
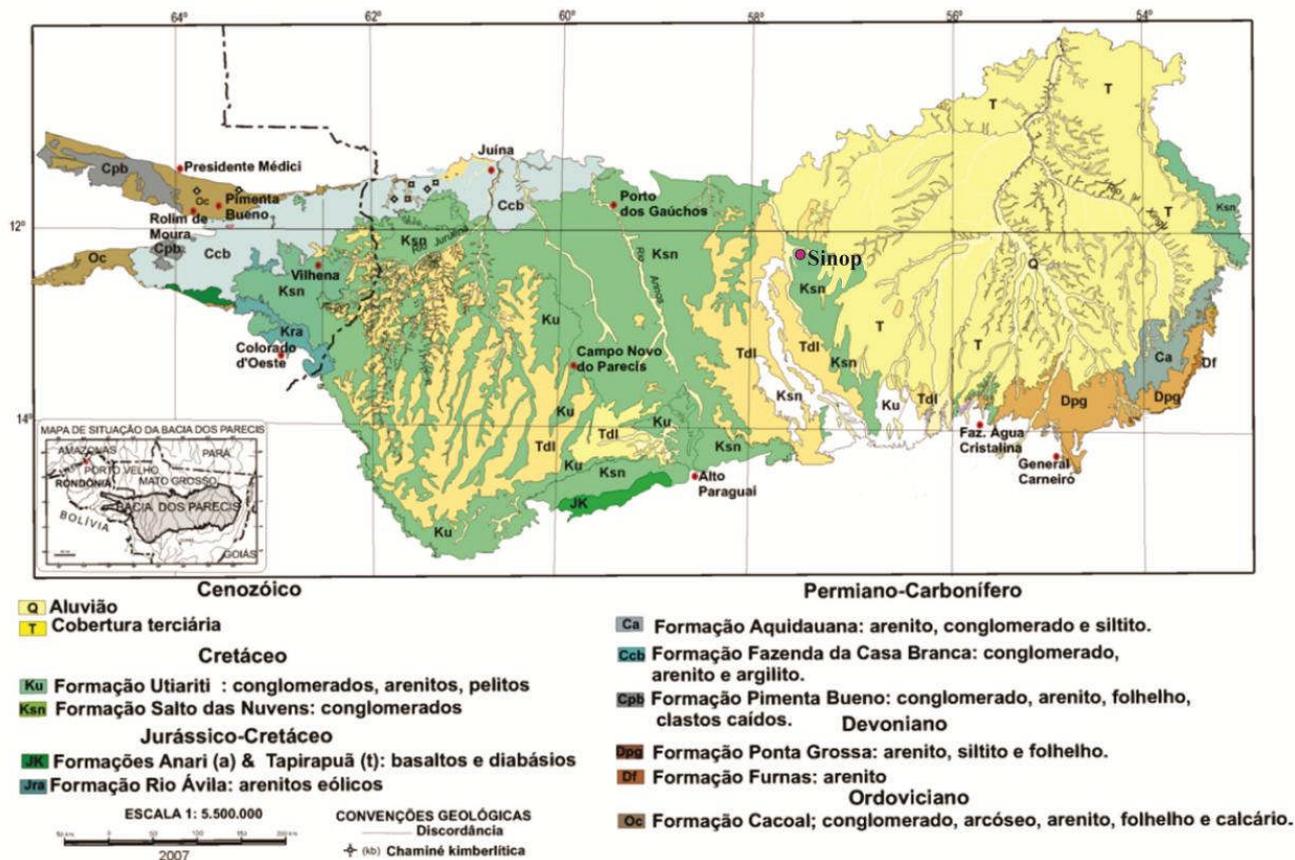


Figura 2.5 - Coluna estratigráfica da Bacia dos Parecis (Fonte: Bahia, 2007).



**Figura 2.6** - Mapa geológico regional da Bacia dos Parecis (Fonte: Bahia *et al.* 2007)

### 2.6.1.2 Grupo Parecis

Uma das primeiras citações ao arenito Parecis foi introduzido por Oliveira (1915), ao participar da expedição Roosevelt-Rondon em Mato Grosso, no período de 1913 e 1914, com as primeiras considerações sobre a geologia, posicionamento estratigráfico e litologia da unidade. O autor colocou indiscutivelmente esta sequência sedimentar sobre os derrames das rochas eruptivas da Formação Tapirapuã.

Padilha (1974) redefiniu o conceito do “Arenito Parecis” (Oliveira, 1915), individualizando-o em duas unidades distintas. A parte inferior do pacote agrupou-se na denominação de “eo-Paleozóico Indiviso” e a superior, conservou a denominação de Formação Parecis. No que se refere a Formação Parecis, ainda individualizaram dois membros: um inferior com características eólicas e um superior de ambiente aquoso.

Ribeiro Filho *et al.* (1975) comentaram que a realização de trabalhos mais detalhados poderia possibilitar a caracterização das duas “fácies” de Padilha *et al.* (1974) como duas novas formações, mantendo a denominação Parecis somente para os arenitos da fácies aquosa sobrepostos aos basaltos da Formação Tapirapuã, relacionando a fácies eólica à Formação Botucatu.

Segundo Ghignone (1980) no ambiente deposicional desta unidade predominou mecanismos de transporte e deposições fluviais, com pequena contribuição eólica, seja de arenitos preexistentes ou penecontemporâneos.

A Formação Parecis foi elevada à categoria do Grupo Parecis por Barros *et al.* (1982) que definiram dois pacotes sedimentares distintos, através de estruturas, composição litológica e posicionamento cronoestratigráfico, posicionando com precisão a posição estratigráfica do Grupo Parecis com a presença de trapés basálticos da Formação Tapirapuã nas seções mais basais do Grupo.

De acordo com Barros *et al.* (1982) o Grupo Parecis caracteriza a sequência sedimentar de idade cretácea que edifica a Chapada dos Parecis. Constituído na porção basal pela Formação Salto das Nuvens, e pela Formação Utariti no topo.

Weska (2006) re-estudando o cretáceo matogrossense propôs uma nova coluna estratigráfica para Grupo Parecis em Mato Grosso, dispondo as formações da base para o topo em Paredão Grande, Salto das Nuvens, Cachoeira do Bom Jardim e Utariti.

Em trabalhos mais recentes na região de Lucas do Rio Verde/MT, Cutrin *et al.* (2007), afirmam que a Formação Salto das Nuvens, na parte de topo, é constituída por arenitos finos, siltitos e níveis argilosos, consolidados a semiconsolidados, e por argilito e siltito nas suas demais porções. Enquanto que, a Formação da base é constituída por arenitos quartzo-feldspáticos, de granulometria fina a média, de cor vermelha a marrom, intensamente intemperizados.

Neste trabalho, diante das evidências de campo e de dados dos perfis litológicos de poços tubulares será adotada a litoestratigrafia proposta por Barros *et al.* (1982) para o Grupo Parecis.

#### 2.6.1.2.1 Formação Salto das Nuvens

A designação do nome Formação Salto das Nuvens foi proposta por Barros *et al.* (1982) e derivou de uma queda d'água homônima (Figura 2.7) localizada nas proximidades da seção-tipo desta unidade.



**Figura 2.7** - Vista da Cachoeira Salto das Nuvens localizada no Rio Sepotuba que dá nome à Formação Salto das Nuvens da base do Grupo Parecis.

Os afloramentos desta unidade estão condicionados a um processo de dissecação do Planalto Parecis, ocorrem em forma descontínua nas porções mais baixas e são modelados pela rede de drenagem.

A Formação Salto das Nuvens é constituída por conglomerados petromíticos com matriz argilo-arenosa, arcoseana, intercalados por lentes de arenitos vermelhos, de granulometria fina a conglomerática na base, por vezes trapeados por basaltos. Em vários níveis o trapeamento dos sedimentos com o basalto é respetivamente cíclico, de forma que os arenitos e conglomerados (Figura 2.8) apresentam seixos e calhaus de basaltos alterados (Figura 2.9).



**Figura 2.8** - Nível de conglomerado mal selecionado rico em clastos de basalto alterado.



**Figura 2.9** - Fragmento de basalto alterado imerso em arenito argiloso da Formação Salto das Nuvens.

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. Em direção ao topo da sequência a presença de arenito bimodal bem laminado e com estratificação cruzada de grande porte é comum (Figura 2.10).



**Figura 2.10** - Arenito bimodal, com estratificação cruzada de grande porte da Formação Salto das Nuvens.

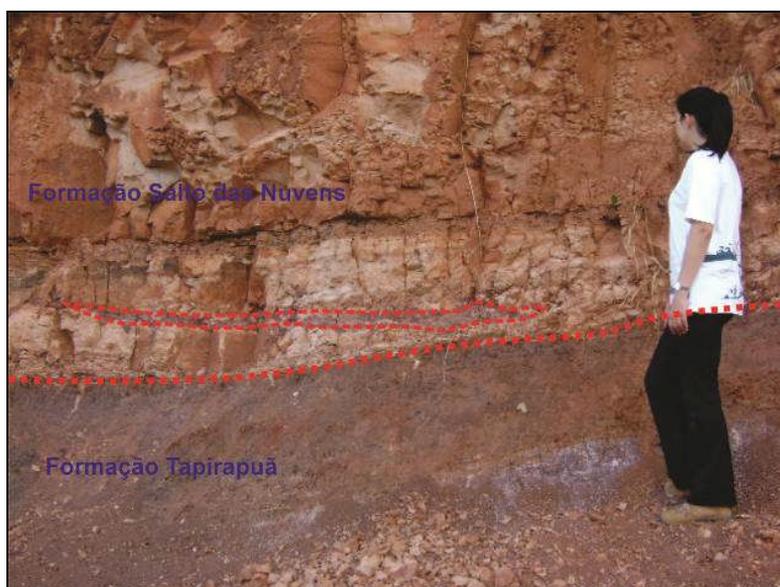
As variações laterais desta sequência são bastante comuns, onde se destacam vários níveis conglomeráticos oligomífticos, intercalados em arenitos ortoquartzíticos finos a muito finos, além de arenitos avermelhados com matriz argilosa, mal classificados e maciços,

intercalados com lentes de siltitos, argilitos vermelhos e com bolas de argila na base dos bancos (Barros *et al.* 1982).

O ambiente sedimentar sugerido por Barros *et al.* (1982) é o de domínio continental fluvial de semi-aridez com manifestações desérticas nas porções superiores da Unidade, indicada pela presença de arenito bimodal.

O contato com a unidade sotoposta é marcante nas relações de campo, a presença de trapés basálticos nos conglomerados e arcóseos é presente entre os rios Russo e Sepotuba, e, conseqüentemente, desaparece em direção ao Planalto dos Parecis.

O contato da Unidade Salto das Nuvens com o Basalto Tapirapuã foi reconhecido no trecho da MT-358 nas proximidades da Cachoeira Salto das Nuvens (Figura 2.11). Neste local formam verdadeiros intertrapes com o basalto Tapirapuã, caracterizando assim um sincronismo entre a sua deposição e as manifestações magmáticas finais daquele evento vulcânico (Barros *et al.* 1982).



**Figura 2.11** - Contato do basalto da Formação Tapirapuã com os sedimentos da Formação Salto das Nuvens, com detalhamento de um intertrape.

Barros *et al.* (1982) baseados em datações geocronológicas obtidas para os basaltos Tapirapuã determinaram a idade de  $126 \pm 3$  Ma para o início da sedimentação da Formação Salto das Nuvens, entretanto, estimaram que a deposição de todo o pacote do Grupo Parecis processou-se até o Cretáceo Médio a Superior.

Baseados em diferenças altimétricas ao longo da rodovia MT-358, estimou-se uma espessura média de 330 metros (Barros *et al.* 1982) para os sedimentos da Formação Salto das Nuvens.

Silva *et al.* (2003) associaram a esta Unidade uma sequência sedimentar clasto-química, constituída por argilitos calcíferos, margas, siltitos, arenitos e pontualmente

conglomerados intraformacionais, que ocorre na escarpa da serra do Roncador e em vales a oeste e noroeste da serra de Tapirapé, região nordeste de Mato Grosso.

Lacerda Filho *et al.* (2004) descrevem a Unidade no corte de estrada da MT- 358 como um pacote constituído por conglomerado de grânulos, arenitos conglomeráticos, arenitos finos e, camadas lenticulares, de coloração bege a castanho arroxado, com estratificação cruzada tangencial de médio porte e cruzada festonada, e camada de pelito. Os clastos, nas frações grânulo a seixo, são da rocha vulcânica subjacente, composta por uma matriz afanítica com fenocristais de feldspato. As camadas com estratificação cruzada apresentam nítido contato erosivo com as camadas arenosas subjacentes. A presença de clastos de rocha vulcânica nos arenitos conduz a seguinte interpretação: estes clastos se originaram do Basalto Tapirapuã (de idade 167 Ma), o que corrobora com a interpretação de uma idade cretácea superior para estes depósitos.

Lacerda Filho *et al.* (2004) sugerem a partir de observações do afloramento da MT-358 que a deposição ocorreu a partir de um sistema fluvial ou flúvio-deltaico (lacustre) tendo como uma das áreas-fonte as rochas vulcânicas subjacentes.

#### 2.6.1.2.2 Formação Utiariti

Sob esta designação Barros *et al.* (1982) englobaram os arenitos quartzosos que constituem as partes mais elevadas do Planalto Parecis, tendo como seção-tipo a queda d'água Utiariti (Figura 2.12), localizada no Rio Papagaio. Os arenitos que compõem esta unidade ocorrem nas corredeiras do Rio Papagaio, tendo um contato gradativo com a unidade inferior.

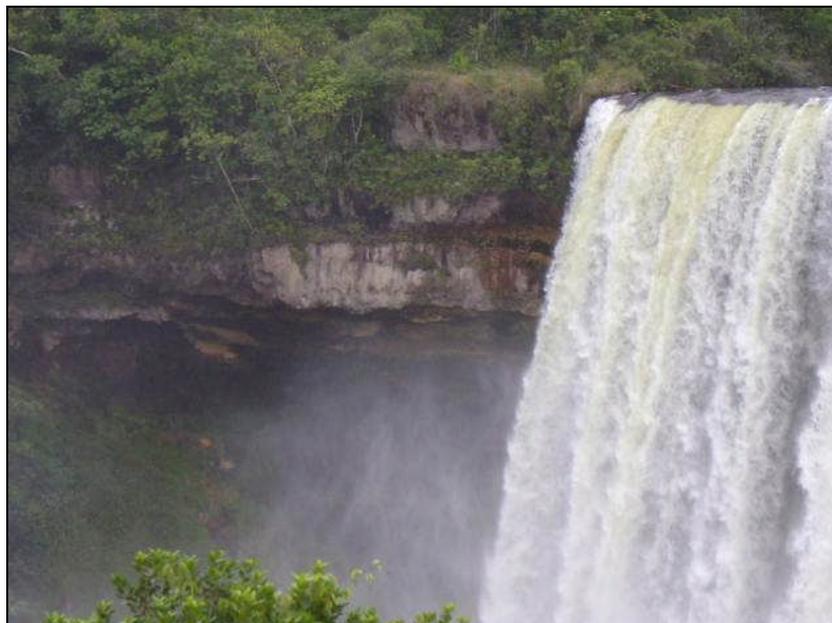
O pacote de arenito que constitui a Cachoeira Utiariti possui espessura estimada de 50 metros na queda d'água, são arenitos de coloração cinza-clara a branca com matriz pelítica e cimento silicoso. Há presença de níveis de arenito com pouca ou nenhuma matriz, ricos em cimento de sílica amorfa. Estruturas do tipo estratificação horizontal com camadas que variam de 10 a 30 cm são comuns.



**Figura 2.12** - Vista da queda d'água Utiariti, sustentada por arenitos finos a médios, em camadas decimétricas internamente maciças.

A Formação Utiariti é composta na sua quase totalidade por sedimentos arenosos de cores variáveis desde branco, amarelo, roxo e avermelhado, depositados em bancos maciços e espessos ou localmente apresentam estratificação cruzada de pequeno porte. A granulometria varia de fina a média, podendo localmente ser grossa (Barros *et al.* 1982).

Nas camadas basais podem ocorrer seixos de quartzo arredondados e de boa esfericidade. Barros *et al.* (1982) descrevem a petrografia desta unidade como essencialmente formada por grãos de quartzo e feldspato, os primeiros com superfície hialina, fosca, normalmente envolta por uma película ferruginosa. Possuem pouco cimento e matriz sendo facilmente desagregados. Localmente por apresentar intensa silicificação (Figura 2.13) diagenética ou zonas de falhas, compõem relevos residuais que sustentam cachoeiras e corredeiras nos principais rios da região.



**Figura 2.13** - Detalhe de nível de arenito silicificado no topo da cachoeira que suporta a queda d'água.

Estruturas sedimentares como estratificação cruzada de pequeno porte e baixo ângulo, e formas acanaladas vinculadas a bancos maciços espessos de base irregular mostram tratar-se de sedimentos originados em ambiente fluvial (Barros *et al.* 1982).

Na estrada entre as localidades de Colorado e Vilhena/RO, a Formação Utiariti é composta de arenitos e folhelhos ou arenito argiloso. Os arenitos são bimodais, com seixos dispersos e grandes acamamentos cruzados tipo cunha. Na sequência intermediária, o arenito tem numerosos canais preenchidos por conglomerados com mais de sete metros de largura e um metro de profundidade. Adicionalmente, existem lentes de argilito. No topo da sequência, argilito e arenito argiloso exibem intercalações lateralmente persistentes de arenito com estratificação cruzada de grande porte (Bahia *et al.* 2006).

Cutrim *et al.* (2007), baseando-se em uma seção colunar de um poço tubular na região de Lucas do Rio Verde/MT descreveram a Formação Utiariti como sendo composta por intercalações de arenitos quartzosos, brancos, de granulometria fina a média, arenitos vermelhos finos, com intercalações de siltitos e argilitos e arenitos vermelhos de granulometria média a grossa. Esta formação tem uma espessura em torno de 135 m, sendo 50 metros de arenitos quartzosos de cor branca, granulometria fina; 45 metros de arenito vermelho de textura média e os demais 40 metros de intercalações de arenitos argilosos e arenitos de granulometria grossa.

### 2.6.1.3 Formação Ronuro

De acordo com Silva *et al.* (2003), essa unidade foi considerada por Araújo & Carneiro (1977) no passado como quaternária e até mesmo correlacionada com a Formação

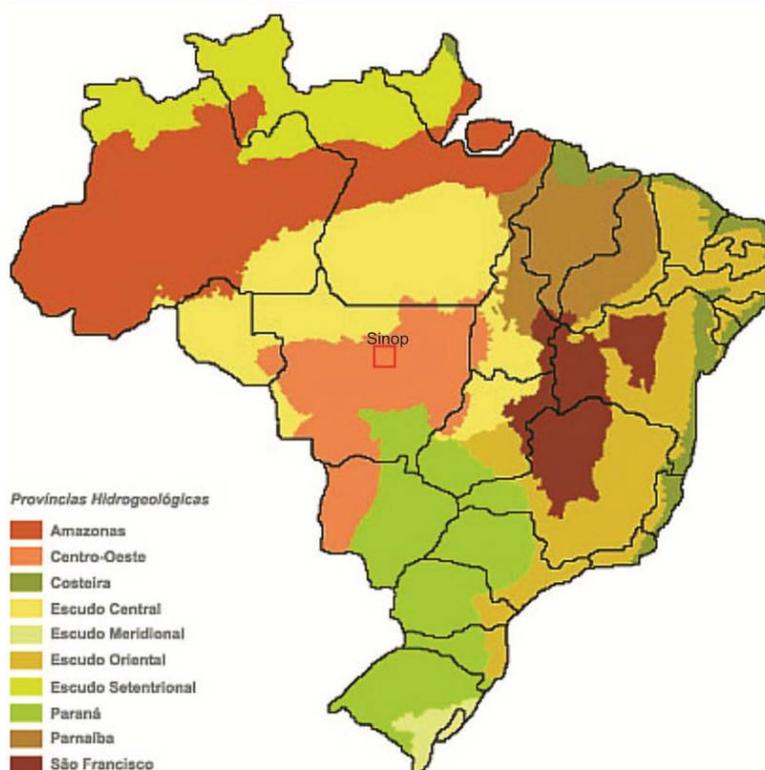
Araguaia. Essa unidade foi separada da Formação Araguaia e designada de Formação Ronuro, interpretada como de idade Paleógena-Neógena, mas que pode pelo menos em parte incluir camadas cretáceas equivalentes ao Grupo Parecis.

Lacerda Filho *et al.* (2004), descrevem esta cobertura como de idade Neógena-Quaternária. Essas rochas afloram continuamente na porção leste da Bacia dos Parecis, do domínio da sub-bacia Alto Xingu, capeando discordantemente as formações paleozoicas. Consiste de sedimentos pouco consolidados, representados por areia, silte, argila e cascalho, além de lateritas. Esta unidade foi depositada em uma depressão tipo sinéclise a partir da intensa erosão no Plioceno, que desmantelou a crosta laterítica formada no início do Paleógeno.

## 2.7 HIDROGEOLOGIA

O Sistema Aquífero Parecis - SAP engloba os litotipos cretáceos constituintes da bacia sedimentar homônima. No estado de Mato Grosso ocupa uma área de cerca de 200.000 Km<sup>2</sup>.

No contexto hidrogeológico do Brasil a região é enquadrada na Província Hidrogeológica Centro-Oeste, composta pelas Subprovíncias Ilha do Bananal, Alto Xingu, Chapada dos Parecis e Alto Paraguai, cujos principais sistemas aquíferos são o Aquidauana, Botucatu e Parecis (Figura 2.14).



**Figura 2.14** - Representação das principais províncias hidrogeológicas do Brasil (Adaptado de DNPM, 1983).

O Sistema Aquífero Parecis é constituído por arenitos com intercalações de níveis de conglomerado e lentes pelíticas de idade cretácea. Este sistema aflora no oeste de Mato Grosso e na extremidade leste do estado de Rondônia, ocupando cerca de 88.147 km<sup>2</sup> e tem espessura saturada média de 150 m. A reserva explorável estimada para esse sistema é de 464,8 m<sup>3</sup>/s. Geralmente é explorado em condições livres, entretanto, pode apresentar condições de semiconfinamento, estabelecido por coberturas lateríticas e/ou argilosas. Apresenta excelente produtividade, com vazão média de 146,9 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica média de 8,830 m<sup>3</sup>/h/m (ANA, 2007).

Segundo o mapa de domínios e subdomínios hidrogeológicos (Bomfim, 2006), a região centro norte do Mato Grosso pertence aos domínios das Bacias Sedimentares (subdomínio - Bacia dos Parecis) e das formações Cenozoicas Indiferenciadas (subdomínio - Ronuro), ambas consideradas como contendo unidades geológicas de alta a média favorabilidade hidrogeológica.

Migliorini *et al.* (2006), propôs a subdivisão do Estado de Mato Grosso em províncias hidrogeológicas, sendo que, o Sistema Aquífero Parecis foi enquadrado por este autor como Província Parecis.

Segundo a descrição feita pelo autor supracitado, a província hidrogeológica Parecis está localizada na porção centro norte de Mato Grosso, mais precisamente no Planalto do Parecis, se estende da divisa de Rondônia e Bolívia até o Parque Nacional do Xingu. As rochas desta unidade pertencem ao Grupo Parecis, possuem idade juro-cretácea e contém os seguintes aquíferos, Salto das Nuvens e Utiariti.

A Província Hidrogeológica do Parecis (Migliorini *et al.* 2006), constitui um aquífero livre em meio poroso com área aproximada de 165.520 km<sup>2</sup> com volume estocado estimado em 2.731.080 m<sup>3</sup> e vazão específica média de 2 m<sup>3</sup>/h/m.

O Relatório da Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2009) apontou para a potencialidade do Sistema Aquífero Parecis e estimou a área de recarga do aquífero com aproximadamente 88.147 km<sup>2</sup>, espessura média de 150 metros, reserva renovável de 2.324 m<sup>3</sup>/s e reserva explorável de 464,8 m<sup>3</sup>/s.

Mato Grosso (2009), classificou os aquíferos do estado de Mato Grosso em dois Domínios Hidrogeológicos, enquadrando os sedimentos da Bacia dos Parecis como Domínio Poroso. A estimativa em termos de potencialidade do aquífero para reserva explorável é mensurada em torno de 46.048 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano ou 1.460 m<sup>3</sup>/s, o que corresponde a 67,9 % das reservas permanentes totais do Estado.

Outra subdivisão, também de caráter regional, o “Mapa de Domínios Hidrogeológicos do Brasil” (Bonfim, 2010), situa a área pesquisada nos domínios designados formações Cenozoicas e Bacias Sedimentares.

Comelli (2011), em um levantamento preliminar da hidrogeologia e hidroquímica da região urbana de Sinop destacou que a cidade está localizada sobre o SAP e tem como aquíferos principais a Formação Utiariti e Ronuro, sendo que a análise físico-química das águas subterrâneas mostraram resultados com características levemente mineralizadas, ácidas e com baixa condutividade elétrica sendo classificadas como cloretadas sódicas.

O Sistema Aquífero Parecis é apontado como o de melhor potencial hidrogeológico do Estado, porém, poucos estudos direcionados à caracterização hidrogeológica deste Sistema foram desenvolvidos até o momento, o que dificulta o conhecimento do potencial real deste aquífero.

### **2.7.1 Aquífero Salto das Nuvens**

O Aquífero Salto das Nuvens corresponde a seção basal do Grupo Parecis, é um aquífero do tipo livre de meio poroso, possui extensão localizada e espessura variada, onde as melhores condições aquíferas estão geralmente associados aos conglomerados e aos arenitos. Os poços apresentam vazões variadas, geralmente entre 15 e 50 m<sup>3</sup>/h, para rebaixamento de 25 metros. As águas são de boa qualidade físico-química e possuem importância hidrogeológica média no Estado (Migliorini *et al.* 2006).

De acordo com CPRM (2012) cerca de 128 poços tubulares foram perfurados na unidade aquífera Salto das Nuvens. Estes poços apresentam profundidades desde 10 a 152 m e vazões que variam entre 0,77 e 110,97 m<sup>3</sup>/h, com média de 20,48 m<sup>3</sup>/h. A vazão específica regional é de cerca de 2,0 m<sup>3</sup>/h/m. As maiores vazões concentram-se nos municípios de São José do Rio Claro e Tapurah, e as menores, em Sorriso. Os níveis estáticos variam entre 2 e 51 m, com média regional de 17 m.

As águas do aquífero Salto das Nuvens apresentam pH variando entre 3,46 e 7,39. A condutividade elétrica apresenta, para 90% das 100 amostras analisadas, valores entre 1 e 40 µS/cm (CPRM, 2012).

### **2.7.2 Aquífero Utiariti**

Este aquífero corresponde a porção superior do cretáceo da Bacia dos Parecis. Geralmente estão recobertos por sedimentos inconsolidados de uma cobertura neógena detrito-laterítica (sedimentos argilosos, argilo arenosos, silte arenosos, silte argilosos, com níveis ricos em óxido e hidróxido de ferro).

É considerado um dos principais aquífero do Estado, caracteriza-se como do tipo livre em meio poroso, de extensão regional, sua litologia proporciona boas condições de armazenamento e circulação das águas subterrâneas. Os poços perfurados neste aquífero não

têm ultrapassado os 250 metros de profundidade, apresentam boas vazões, geralmente acima de 50 m<sup>3</sup>/h, para rebaixamento de 25 metros. As águas são de boa qualidade físico-química, porém, é comum a ocorrência de águas ferruginosas. Sua importância hidrogeológica no estado é alta (Migliorini *et al.* 2006).

Cutrim *et al.* (2007) através de estudos geofísicos com o uso do método elétrico – SEV na região de Lucas do Rio Verde/MT estimaram uma espessura média de 90 metros para o aquífero e profundidade do topo da zona saturada em 13 metros.

Segundo o banco de dados do SIAGAS, 24 poços tubulares foram perfurados no aquífero Utiariti. Estes poços apresentam profundidades entre 55 e 180 m. As vazões de exploração variam desde 2,28 a 158,4 m<sup>3</sup>/h, com média de 20,95 m<sup>3</sup>/h. A vazão específica regional encontra-se em torno de 1,77 m<sup>3</sup>/h/m. As maiores vazões se concentram na região sudoeste da formação (Campos de Júlio), enquanto que as menores estão nas regiões de São José do Rio Claro e Campo Novo dos Parecis. Os níveis estáticos variam entre 6 e 78 m, com média de 31 m (CPRM, 2012).

Quanto aos aspectos hidroquímicos as águas do aquífero Utiariti apresentam tendência ácida, com pH entre 4,1 e 7,01, sendo que 50% das amostras encontram-se abaixo de 5. A condutividade elétrica varia entre 5 e 12 µS/cm (CPRM, 2012).

### **2.7.3 Aquífero Ronuro**

A posição estratigráfica da unidade aquífera Ronuro garante a importante função de recarga dos aquíferos subjacentes, além da alimentação da rede de drenagem do Alto Xingu. Segundo informações do banco de dados do SIAGAS, mais de uma centena de poços tubulares exploram atualmente as águas subterrâneas que circulam pelo aquífero Ronuro. Estes poços apresentam profundidades variando entre 18 e 140 m, totalizando mais de 6000 m perfurados no aquífero. As vazões de exploração variam entre 1 e 105 m<sup>3</sup>/h e a média de 10,42 m<sup>3</sup>/h, com vazão específica regional em torno de 1,5 m<sup>3</sup>/h/m. O valor médio reduzido para a vazão específica é explicado pelo fato de que a maior parte dos poços (78%) não alcançarem 10 m<sup>3</sup>/h. As maiores vazões concentram-se na região de Sinop, enquanto que as menores concentram-se nas regiões dos municípios de Querência e Cláudia. Os níveis estáticos variam entre 1 e 32 m, com média por volta de 13 m de profundidade (CPRM, 2012).

Segundo dados do monitoramento de águas subterrâneas (CPRM, 2012), o aquífero Ronuro possui águas de tendência ácida, evidenciada pela proporção de mais de 50% das amostras com pH entre 4 e 5. A alcalinidade total varia entre 6 e 32 mg/L, enquanto que a dureza total encontra-se entre 0 e 26 mg/L.

## 2.8 PANORAMA LEGAL DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

No Brasil, no ano de 1997, foi sancionada a Lei das Águas ou Lei Federal 9.433/1997, que estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh). A lei tem como fundamentos a compreensão de que a água é um bem público, sendo sua gestão baseada em usos múltiplos e descentralizada, com intensa participação de usuários, da sociedade civil e do governo.

O Estado de Mato Grosso, perfazendo o caminho já trilhado pelo Governo Federal, lançou no mesmo ano a sua própria Política Estadual de Recursos Hídricos, intitulada de Lei Estadual nº 6.945/1997 com o intuito de assegurar à atual e às futuras gerações água em qualidade e disponibilidade suficiente para atender os usos múltiplos.

Em 2004, o Governo de Mato Grosso instituiu a Lei Estadual 8.097 criada com fins específicos de normatizar a administração e conservação das águas subterrâneas de domínio do Estado. Esta lei teve como um dos objetivos centralizar as informações construtivas e hidrogeológicas dos poços tubulares por meio da obrigatoriedade do licenciamento ambiental para perfuração e operação dos poços.

No ano de 2011 o Estado reformulou a Lei 8097 e instituiu uma nova lei para águas subterrâneas, a Lei Estadual 9.612/2011 com modificações relevantes no escopo do texto, regulamentando o instrumento de outorga de direito de uso dos recursos hídricos subterrâneos.

## **CAPÍTULO III**

### **CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO PARECIS**

#### **3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Uma das definições mais clássicas do termo aquífero foi proposta por Fetter na década de oitenta, na qual “um aquífero é uma unidade geológica que pode armazenar e transmitir água em significativas vazões para os poços”, desde então, esta definição vem sendo amplamente difundida no âmbito da hidrogeologia e ainda utilizada frequentemente em publicações acadêmicas.

Trabalhos recentes, como o de Campos (2004) que trata do estudo e gestão de aquíferos, destacam além da função armazenadora ou reservatório de um aquífero, a importância de outras características hidráulicas dos mananciais subterrâneos, como por exemplo, a capacidade de filtro e a capacidade reguladora dos aquíferos.

Campos (2004) enfatiza que, para que o processo de gerenciamento dos aquíferos seja satisfatório, é fundamental que as práticas de gestão estejam integradas e considerem as funcionalidades de um aquífero. Por conseguinte, a definição do termo aquífero neste trabalho considera que: aquífero é um reservatório subterrâneo (rocha ou solo) onde são desempenhadas as funções filtro, reguladora e reservatório dos mananciais subterrâneos.

O conjunto de reservatórios subterrâneos em uma mesma unidade geológica pode ser denominado de “sistema aquífero”. Gaspar (2006), definiu esta terminologia como um conjunto de aquíferos em uma mesma unidade geológica, de abrangência regional, interdependentes hidráulica e/ou fisicamente.

Nos últimos anos a terminologia “Sistema Aquífero Parecis” têm sido adotada frequentemente para caracterizar o domínio hidrogeológico da porção cretácea da Bacia dos Parecis. Diversas citações referentes ao Sistema Aquífero Parecis são comumente feitas em publicações da Agência Nacional de Águas - ANA e da CPRM - Serviço Geológico do Brasil.

Nesta pesquisa, a caracterização do Sistema Aquífero Parecis, será moldada na avaliação e no estudo das condições de infiltração dos principais solos que ocorrem na região, na análise dos parâmetros hidrodinâmicos da zona não saturada e na indicação dos subsistemas existentes, além de elencar a importância das coberturas aluvionares na hidrogeologia da bacia em questão.

### 3.2 SISTEMA AQUÍFERO ALUVIONAR

Esta denominação genérica é proposta para o sistema aquífero que compreende todas as coberturas aluvionares que ocorrem associadas às maiores drenagens que cortam a Bacia dos Parecis. São depósitos caracterizados por sedimentos inconsolidados, constituídos principalmente por areias e cascalhos mal selecionados. Ocorrem associados à planície de inundação dos maiores cursos d'água e tem maior expressividade nas calhas do Rio Teles Pires (porção central da Bacia) e nos afluentes formadores do rio Xingu (porção leste da bacia). São associadas aos depósitos resultantes de retrabalhamentos fluviais recentes de materiais detríticos diversos.

Do ponto de vista pedológico estes reservatórios são vinculados aos neossolos flúvicos em estreita associação com espodossolos, gleissolos e organossolos.

A função hídrica deste aquífero é caracterizada pela contribuição a regularização dos corpos superficiais, através do aporte das águas meteóricas. A oscilação do nível freático deste sistema está ligada a sazonalidade das precipitações e em alguns casos à oscilação dos níveis d'água dos próprios rios.

Em virtude dos ambientes hidromórficos associados a estes aquíferos que resultam em condições de pH ácido e Eh redutor, as águas destes reservatórios podem conter elevados teores de ferro e manganês.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ZONA NÃO SATURADA DO SISTEMA AQUÍFERO PARECIS

Solo é uma sucessão de corpos naturais, compondo horizontes constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam extensiva porção do manto superficial do planeta (Embrapa, 2006b). Pode também ser considerado o resultado da adaptação das rochas às condições de equilíbrio do meio em que se encontram expostas (Embrapa, 2006a), onde fatores como a mineralogia do material parental, a tectônica, o relevo, o clima, os organismos e o tempo são elementos naturais intrínsecos ao seu processo de formação e desenvolvimento.

No ciclo natural de percolação da água, o solo desempenha função indispensável a manutenção do equilíbrio hidrológico, comportando-se como importante fonte reguladora dos mananciais superficiais e subterrâneos. O solo destaca-se também pelo seu papel de agente determinante no controle dos processos de contenção, atenuação e dispersão das plumas de contaminação.

Com o intuito de determinar as condições, o potencial de fluxo e o tempo de infiltração de uma substância líquida no solo, comumente utiliza-se em Geociências e em outras Ciências correlatas, a condutividade hidráulica (K) desses materiais.

A condutividade hidráulica é um dos principais parâmetros dimensionais dos solos, pode ser mensurada em campo, e, por isso, é amplamente utilizada para determinação das condições de infiltração dos solos. Todos os diferentes tipos de solos têm a capacidade de absorver menos ou mais umidade em termos de lâmina de água por tempo, caracterizando assim o potencial de fluxo ou a condutividade hidráulica (K).

Nos ensaios de infiltração *in situ*, o parâmetro obtido é a condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ), que pode ser entendida como a permeabilidade por fluxo descendente ou pelo potencial de percolação de água no meio geológico (solo ou rocha).

O processo de infiltração da água nos solos é condicionado por aspectos relacionados a sua localização, ao padrão de relevo dominante e, aos atributos naturais intrínsecos dos solos, tais como: textura, estrutura, mineralogia, cerosidade, umidade, porosidade, bioturbações, etc. Os principais tipos de usos da superfície e a existência de cobertura vegetal também constituem outros fatores importantes nas condições de infiltração da água no solo.

Para a determinação das condições e padrões de infiltração nos latossolos da região de Sinop/MT, tanto em superfície quanto em subsuperfície, foram utilizados nesta pesquisa os ensaios de infiltração do tipo *open end hole* (Earth Manual, 1974) e os ensaios com o uso de infiltrômetro de anéis concêntricos (Bernardo, 1986).

A zona não saturada do Sistema Aquífero Parecis é constituída por latossolos e sedimentos inconsolidados, este último interpretado por Figueiredo *et al.* (1974) *apud* Barros *et al.* (1982) como de idade neógena-quadernária. A espessura da camada não saturada pode variar de acordo com a localização na bacia, os valores oscilam entre 10 a 50 metros de espessura, sendo que, na porção extremo leste a espessura pode ser ainda maior.

As coberturas inconsolidadas recobrem parte das rochas do Grupo Parecis e afloram principalmente na porção leste da bacia, são constituídas por sedimentos arenosos, siltoso e areno-siltoso, além de laterita. São sedimentos provenientes do retrabalhamento das rochas da porção cretácea da Bacia.

Os latossolos variam texturalmente de arenosos a muito argilosos. São solos bastante profundos que atingem em média 20 metros de espessura, conforme perfis descritivos das perfurações de poços tubulares da região. Os perfis de intemperismo descritos no Grupo Parecis foram caracterizados em três classes de solos: Latossolo Amarelo distrófico, Latossolo Vermelho distrófico, Latossolo Vermelho Amarelo distrófico.

Os principais usos antrópicos desenvolvidos nas coberturas de solos da região são a pecuária e agricultura. As duas atividades são conhecidas por requererem a supressão da vegetação natural e infringir altas taxas de compactação dos horizontes superficiais dos solos, causando a diminuição da condutividade natural e conseqüentemente a infiltração da água no solo.

### **3.3.1 Análise da Condutividade Hidráulica da Zona não Saturada**

Os materiais de cobertura do Grupo Parecis mostraram variação em superfície nos valores de condutividade hidráulica ( $K_v$ ) da ordem de grandeza de  $10^{-4}$  a  $10^{-6}$  m/s, enquanto que em profundidade a variação é de  $10^{-6}$  a  $10^{-8}$  m/s (Tabela 3.1).

Com o intuito de determinar os valores de condutividade hidráulica mais representativos em cada classe de solo mapeada em cada profundidade, foi utilizada a moda dos valores obtidos nos ensaios de infiltração.

A interpretação de um conjunto de dados através de suas características estatísticas é útil para salientar certas feições que se tornam mascaradas a partir da análise simultânea de todos os dados. Neste caso, o uso da moda (valor que detém o maior número de observações, ou valor que ocorre com maior frequência num conjunto de dados) deve destacar as grandezas mais representativas da condutividade hidráulica em cada classe de solo.

Em relação à condutividade hidráulica vertical em superfície, mensurada com o uso dos anéis concêntricos, é interessante notar que o valor da moda para todas as classes de latossolos é da ordem de  $10^{-5}$  m/s. De acordo com a proposição de Freeze & Chery (1996) e Fetter (1994) esta magnitude é classificada como alta para os valores de condutividade hidráulica.

A variação dos valores da condutividade em superfície é consequência do uso antrópico sob o qual esta cobertura é submetida. Os maiores valores de condutividade em superfície ( $10^{-4}$  m/s) foram encontrados em situações de menor compactação do solo como pode ser verificada nos pontos 6, 7 e 8 da Tabela 3.1. A Figura 3.1 representa os locais com usos menos degradantes e as maiores taxas de condutividade hidráulica em superfície.

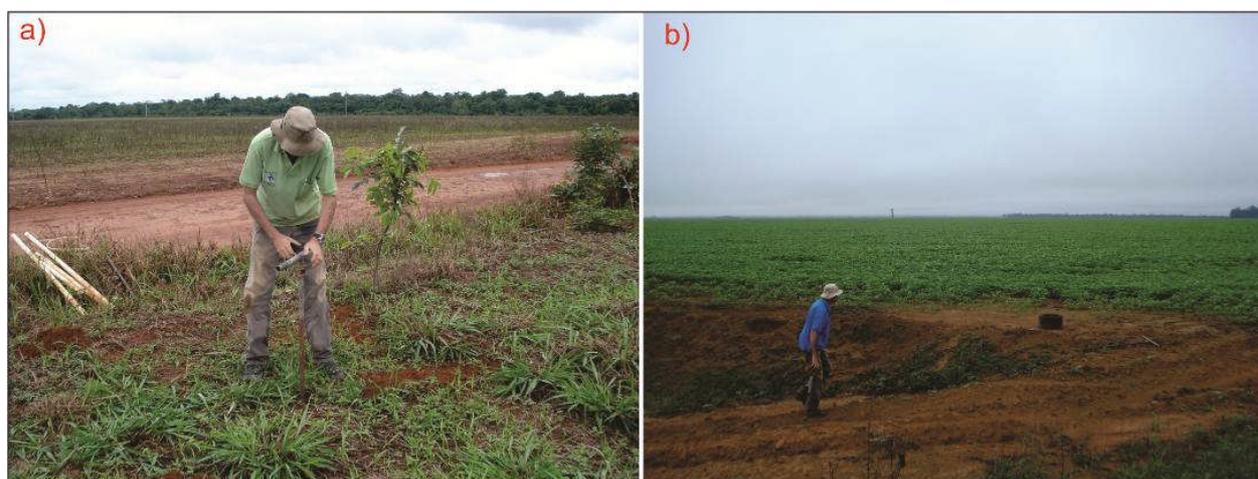
Ponto	Classe	Características do Local	Kv(m/s) – Diferentes Profundidades				
			0 (cm)	50 (cm)	100 (cm)	150 (cm)	200 (cm)
1	LVAd	Área urbana	$8,15 \times 10^{-5}$	$5,48 \times 10^{-7}$	$5,59 \times 10^{-7}$	$2,38 \times 10^{-7}$	$4,14 \times 10^{-8}$
2	LVd	Área rural	$1,83 \times 10^{-5}$	$8,2 \times 10^{-7}$	$2,78 \times 10^{-7}$	$2,37 \times 10^{-7}$	$1,11 \times 10^{-6}$
3	LAd	Área rural	$3,58 \times 10^{-5}$	$6,04 \times 10^{-8}$	$4,28 \times 10^{-7}$	$6,23 \times 10^{-8}$	$8,81 \times 10^{-8}$
4	LVd	Área rural degradada	$2,63 \times 10^{-05}$	$5,33 \times 10^{-08}$	$1,05 \times 10^{-06}$	$1,76 \times 10^{-07}$	$1,87 \times 10^{-07}$
5	LVd	Área pecuária degradada	$1,37 \times 10^{-5}$	$1,20 \times 10^{-6}$	$3,54 \times 10^{-7}$	$2,58 \times 10^{-7}$	$5,79 \times 10^{-7}$
6	LVAd	Área de floresta (parcialmente preservada)	$2,04 \times 10^{-4}$	$4,96 \times 10^{-7}$	$3,21 \times 10^{-7}$	$6,02 \times 10^{-7}$	$4,79 \times 10^{-7}$
7	LVd	Área de floresta (parcialmente preservada)	$1,92 \times 10^{-4}$	$5,82 \times 10^{-7}$	$1,85 \times 10^{-7}$	$2,94 \times 10^{-7}$	$8,37 \times 10^{-8}$
8	LVAd	Área desmatada e queimada	$3,34 \times 10^{-4}$	$4,65 \times 10^{-7}$	$3,08 \times 10^{-7}$	$3,34 \times 10^{-8}$	$1,99 \times 10^{-7}$
9	LVd	Área agrícola	$9,32 \times 10^{-5}$	$2,15 \times 10^{-6}$	$2,05 \times 10^{-6}$	$6,79 \times 10^{-7}$	$9,49 \times 10^{-7}$
10	LVAd	Área de floresta (parcialmente preservada)	$9,05 \times 10^{-5}$	$2,60 \times 10^{-7}$	$1,39 \times 10^{-7}$	$3,92 \times 10^{-7}$	$6,48 \times 10^{-7}$
11	LVd	Área de pecuária	$4,01 \times 10^{-5}$	$2,82 \times 10^{-7}$	$5,79 \times 10^{-7}$	$4,78 \times 10^{-7}$	$1,35 \times 10^{-7}$
12	LVd	Área de pecuária	$9,07 \times 10^{-5}$	$2,89 \times 10^{-6}$	$1,41 \times 10^{-6}$	$6,96 \times 10^{-7}$	$1,01 \times 10^{-6}$
13	LVAd	Área agrícola	$2,31 \times 10^{-5}$	$4,39 \times 10^{-7}$	$3,37 \times 10^{-8}$	$1,28 \times 10^{-8}$	$1,64 \times 10^{-8}$
14	LAd	Área rural degradada	$2,54 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-7}$	$5,90 \times 10^{-7}$	$1,02 \times 10^{-7}$	$1,02 \times 10^{-7}$
15	LVd	Área de floresta (parcialmente preservada)	$1,76 \times 10^{-5}$	$2,24 \times 10^{-6}$	$4,19 \times 10^{-7}$	$1,07 \times 10^{-7}$	$3,39 \times 10^{-7}$
16	LVd	Área de reflorestamento (eucalipto)	$7,77 \times 10^{-5}$	$8,21 \times 10^{-7}$	$1,90 \times 10^{-6}$	$8,05 \times 10^{-7}$	$7,15 \times 10^{-7}$
17	LVd	Área de pecuária	$1,45 \times 10^{-6}$	$1,84 \times 10^{-6}$	$9,13 \times 10^{-7}$	$2,68 \times 10^{-7}$	$3,98 \times 10^{-7}$

**Tabela 3.1** - Valores de K por classe de solo e uso preponderante do solo (LVd = latossolo vermelho distrófico; LVAd = latossolo vermelho amarelo distrófico; LAd = latossolo amarelo distrófico).



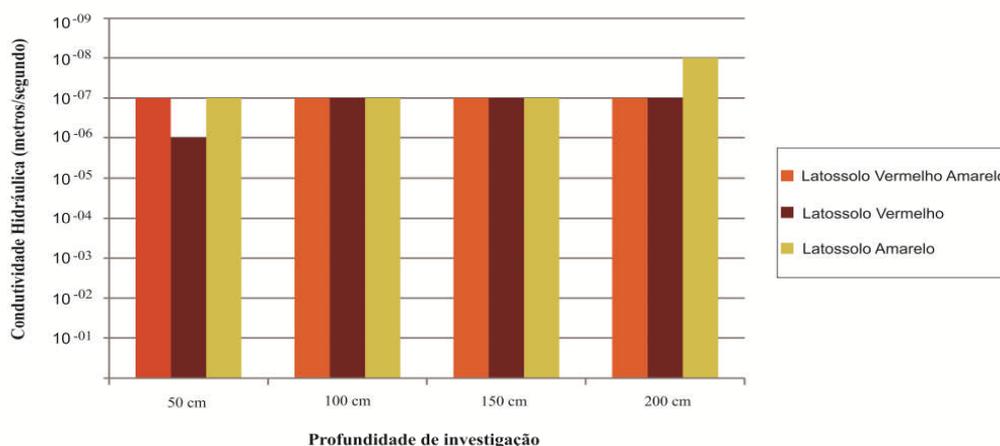
**Figura 3.1** - Ensaio tipo *open end hole* em área com vegetação nativa queimada, sem usos significativos.

Os solos que foram submetidos a usos mais degradantes consequentemente apresentaram condutividades menores. A diminuição dos valores para a ordem de  $10^{-5}$  a  $10^{-6}$  m/s podem ser atribuídas aos usos antrópicos da superfície, que tendem a compactar e impermeabilizar o solo, como no caso da pecuária, da agricultura (Figura 3.2) e de implantação de obras civis.



**Figura 3.2** - Ensaio tipo *open end hole* área de pecuária degradada (a) e anéis concêntricos em área de agricultura (b).

A Figura 3.3 mostra a variação da moda da condutividade hidráulica para cada classe de solo em diferentes profundidades, para os ensaios do tipo *open end hole*.



**Figura 3.3** - Valores da moda da condutividade hidráulica (K) por classe de solo, obtidos a partir de ensaios de infiltração *in situ*.

Na análise dos valores da moda da condutividade hidráulica dos solos, observou-se um comportamento homogêneo e de magnitude baixa da moda de  $K_v$  para todas as classes de latossolos em todas as profundidades. A classe do latossolo vermelho distrófico apresentou o maior valor de condutividade ( $10^{-6}$  m/s) dentre os latossolos nos primeiros 50 centímetros dos perfis. Este valor está relacionado a maior proporção da fração areia como constituinte deste solo.

Nas profundidades de 100 e 150 centímetros o conjunto de valores dominantes estabeleceu-se na grandeza de  $10^{-7}$  m/s para todas as classes. Possivelmente estes valores remetem à variabilidade da textura do latossolo vermelho para argilo-arenosa e a predominância da textura argilosa dos latossolos amarelos e vermelho-amarelos distróficos que ocorrem na região de Sinop/MT. Esses valores também refletem a diminuição da estruturação dos solos que passa de granular para grumosa.

Embora a textura da classe do latossolo vermelho distrófico da região tenha a fração areia como predominante, a tendência do conjunto de valores determinou um comportamento menos condutivo para todo o grupo de latossolos da região. Outro aspecto não menos relevante está associado à elevada taxa de manejo dos solos dessa região pelo advento da pecuária e agricultura. Estas atividades requerem a supressão da vegetação natural e resultam na compactação dos horizontes mais superficiais, causando a diminuição da condutividade natural e consequentemente a infiltração da água no solo.

Correlacionando estes resultados aos obtidos por Gaspar & Campos (2007) para a zona não saturada do Sistema Aquífero Urucua, os maiores valores na ordem de  $10^{-4}$  m/s são atribuídos a valores equivalentes a fluxos de drenagem livre, enquanto que, valores entre  $10^{-5}$  e  $10^{-6}$  m/s correspondem a variações de drenagem com fluxo deficiente.

### 3.3.2 Comportamento Hídrico da Zona não Saturada

Com relação ao comportamento hídrico da zona não saturada da região de Sinop, as variações de condutividade hidráulica em latossolos associada ao relevo de chapadas, geoforma dominante na bacia sedimentar estudada, podem determinar a maneira como a recarga do aquífero se processará sob as lâminas de água e da umidade derivada das precipitações.

A intensidade e o tempo de recarga nestes aquíferos estão relacionados a presença ou não de horizontes mais ricos na fração areia, como também em menores proporções à existência de horizontes pedológicos mais enriquecidos em argila. Entretanto, outros fatores como a restrita declividade do terreno e o tipo de uso do solo são também determinantes no processo de recarga nesta região.

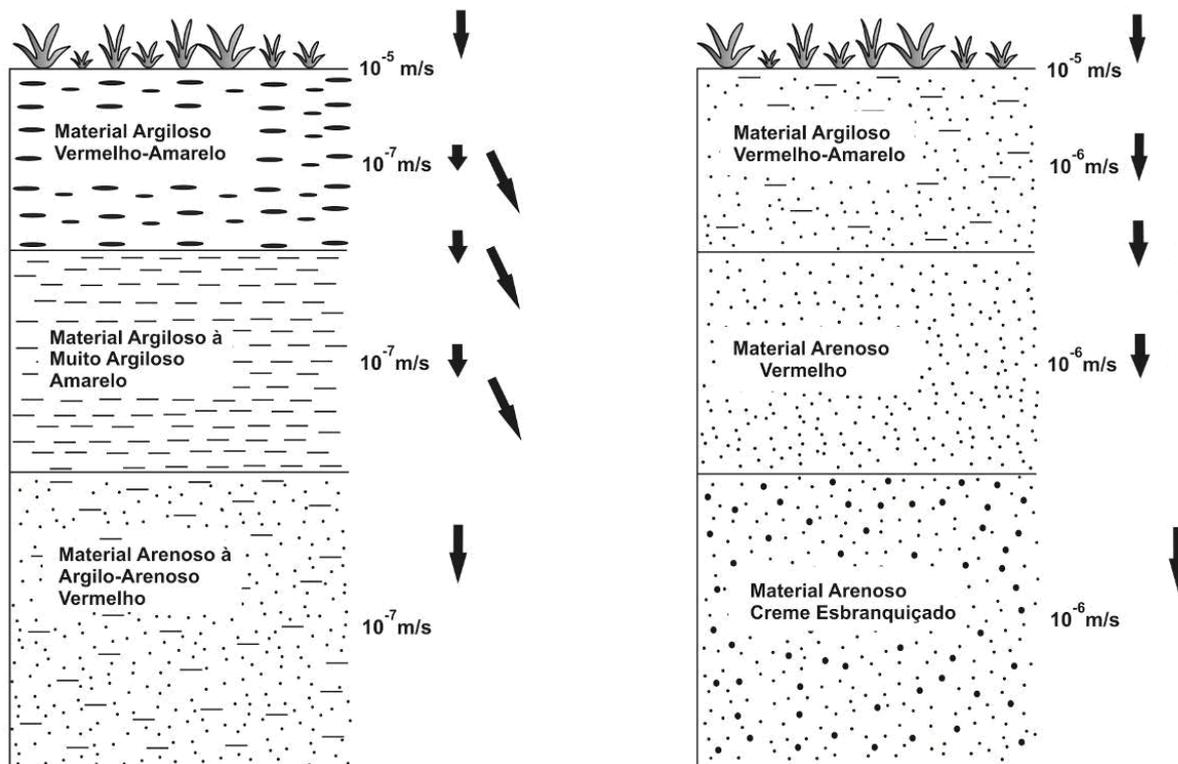
A condutividade hidráulica e os perfis de solos permitiram a definição de dois esquemas de recarga para o Sistema Aquífero Parecis (Figura 3.4).

O perfil da Figura 3.4 retrata de forma esquemática duas condições de recarga para a zona saturada do Sistema Parecis, na região Sinop/MT. O primeiro esquema reflete as condições onde os latossolos apresentaram textura mais argilosa e menores valores de condutividade, enquanto o segundo representa os perfis com variação textural para a fração arenosa, nestes perfis a condutividade hidráulica é maior e a recarga dos aquíferos sotopostos é mais efetiva.

Nas seções esquemáticas o mecanismo de recarga e os valores de  $K_V$  são representados por diferentes tamanhos de setas e valores, com o intuito de demonstrar o comportamento hidráulico da recarga natural na região. As setas verticais indicam maior tendência de fluxo direito, enquanto as setas inclinadas indicam tendência de fluxo lateral e, portanto, perda potencial por interfluxo.

Nas áreas de platô do Sistema Aquífero Parecis ocorrem perdas por interfluxo durante o processo de recarga, as baixas condutividades das porções mais pelíticas funcionam como barreiras hidráulicas que retardam o fluxo vertical, resultando em um fluxo com componente lateral. As perdas de carga hidráulica descendente por interfluxo tendem a migrar horizontalmente e alimentar a densa rede de drenagem regional.

A recarga a partir das áreas de platôs tem como principal função a regulação hídrica para a manutenção da perenidade dos corpos hídricos superficiais. Porém existem zonas preferenciais ao longo de fraturas/falhas ou de espessos solos arenosos em que o fluxo vertical é canalizado diretamente para os aquíferos sotopostos. Nestes casos a efetividade da recarga é ampliada significativamente.



**Figura 3.4** - Esquema de infiltração de águas de precipitação através da zona saturada. Os valores de condutividade hidráulica se referem a moda deste parâmetro. Setas verticais indicam infiltração, setas inclinadas indicam fluxo interno.

A partir da análise dos valores de condutividade hidráulica foi possível determinar que a recarga deste aquífero ocorre preferencialmente nas áreas em que o sistemas são livres, pois a presença de aquitardes limita a recarga a partir de perdas por fluxo interno.

Os valores de condutividade corroboram as observações de campo que indicam que o aumento da fração argilosa é decorrente da maior quantidade de fácies pelíticas de ambientes lacustres e de planícies de inundação fluviais. No Grupo Parecis os ambientes de baixa energia são mais comuns em direção ao topo desta unidade.

### 3.4 ANÁLISE DOS PARÂMETROS DIMENSIONAIS E HIDRODINÂMICOS DA ZONA SATURADA DO SISTEMA AQUÍFERO PARECIS

Os parâmetros dimensionais e hidrodinâmicos de um aquífero são peças fundamentais para o conhecimento, a avaliação, e o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos de uma região. No que tange ao conhecimento da potencialidade dos mananciais subterrâneos, a determinação das características hidrogeológicas dos aquíferos é fundamental. Estes parâmetros hidrogeológicos correspondem principalmente a espessura média da zona saturada, nível estático, condutividade hidráulica, transmissividade, coeficiente de armazenamento e porosidade efetiva.

A determinação destes parâmetros são feitas através da análise dos dados de perfurações de poços profundos, do monitoramento do nível da água em poços de observação, e do tratamento matemático das informações adquiridas com a realização de testes de aquíferos. Estes testes, geralmente bastante dispendiosos, são executados em campo e consistem no bombeamento de um poço com vazão constante e no acompanhamento da variação do rebaixamento do nível da água em um ou mais poços de observação, situados a uma distância determinada do poço bombeado.

Na inexistência de poços de observação, os rebaixamentos do nível da água são obtidos no próprio poço bombeado e os valores dos parâmetros hidrodinâmicos são interpretados com relativa aproximação.

Neste trabalho, os parâmetros dimensionais e hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Parecis foram determinados pela análise das descrições dos perfis litológicos das perfurações de poços profundos, pelo tratamento e interpretação de 24 ensaios de bombeamento. O tempo de bombeamento dos testes analisados é variável (24 horas ou menos) e a observação do rebaixamento foi feita no próprio poço. A técnica destes ensaios consiste em acompanhar por meio de medidas sequenciais a vazão e o rebaixamento do nível da água no interior do próprio poço bombeado, num determinado intervalo de tempo.

Para o tratamento das informações dos ensaios de bombeamento foram utilizadas planilhas eletrônicas do Microsoft Excel 2010 e o *software* Aquifer Test Pro versão 2011 da *Waterloo Hydrogeologic Inc.* Os métodos Theis e Hantush foram aplicados para definição dos parâmetros do subsistema confinado, enquanto que, o método Neuman para o subsistema livre.

Segundo Oliveira & Campos (2004), os resultados obtidos a partir dos ensaios de bombeamento dos poços, representam valores médios, visto que a água bombeada tem contribuição de toda a espessura saturada do aquífero. Estes valores podem ainda sofrer interferências das condições construtivas do poço: posição dos filtros, granulometria do pré-filtro, diâmetro do revestimento, dentre outros. Neste caso, os parâmetros hidrogeológicos apresentados neste trabalho representam valores de referência para os aquíferos analisados.

Os valores de transmissividade, coeficiente de armazenamento, condutividade hidráulica, espessura da camada saturada, nível estático, vazão e capacidade específica estão sintetizados na Tabela 3.2.

Dentre os poços analisados, 66% dos ensaios apresentaram valores de condutividade hidráulica entre a ordem de grandeza de  $10^{-6}$  e  $10^{-7}$  m/s. Valores neste intervalo são considerados de magnitude moderada a baixa (Freeze & Chery 1996, Fetter 1994) para a condutividade hidráulica, entretanto, a variação de grandezas dos valores de K é expressiva no conjunto de dados analisados.

Ens.	Poços	Parâmetros Hidráulicos e Dimensionais do Sistema Aquífero Parecis						
		T (m <sup>2</sup> /s)	S	K(m/s)	b(m)	NE(m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Cs (m <sup>3</sup> /h/m)
1	PT 7 SORRISO	2,33x10 <sup>-4</sup>	3,42x10 <sup>-4</sup>	2,55x10 <sup>-6</sup>	91,23	6,77	56,57	2,11
2	PT 3 SORRISO	1,94x10 <sup>-5</sup>	1,31x10 <sup>-4</sup>	2,13x10 <sup>-7</sup>	91	5	44	0,84
3	PT 1 SORRISO	2,2x10 <sup>-4</sup>	3,8x10 <sup>-2</sup>	1,88x10 <sup>-6</sup>	117	3	20,432	1,36
4	PT 2 SORRISO	3,27x10 <sup>-5</sup>	1,28x10 <sup>-4</sup>	3,4x10 <sup>-7</sup>	96,2	3,8	28,29	1,57
5	PM SINOP	1,85	7,79x10 <sup>-2</sup>	1,66x10 <sup>-3</sup>	46,85	5,15	7,25	1,77
6	PT 1 VALE DO RIO DO FERRO	2,58 x 10 <sup>-5</sup>	3x10 <sup>-2</sup>	2,24x10 <sup>-7</sup>	115,2	5,8	14,93	0,31
7	PT 1 SJRC	1,75x10 <sup>-4</sup>	2,33x10 <sup>-2</sup>	2,5x10 <sup>-6</sup>	70	16	17,60	1,76
8	PT 4 SJRC	2,75x10 <sup>-4</sup>	4,62x10 <sup>-1</sup>	4,23x10 <sup>-6</sup>	65	15	17	3,4
9	PT 5 SJRC	5,2x10 <sup>-4</sup>	7,88x10 <sup>-7</sup>	8,125x10 <sup>-6</sup>	64	19	15,23	1,38
10	PT 7 SJRC	2,27x10 <sup>-5</sup>	7,88x10 <sup>-3</sup>	4,32x10 <sup>-7</sup>	52,5	11,50	19,7	0,66
11	PT 8 SJRC	5,81x10 <sup>-4</sup>	2,02x10 <sup>-6</sup>	1,584x10 <sup>-8</sup>	127,5	17	61	3,388
12	PT 11 SJRC	1,09x10 <sup>-4</sup>	2,36x10 <sup>-2</sup>	1,29x10 <sup>-6</sup>	84	17	31,68	2,16
13	PT 1 TAPURAH	1,14x10 <sup>-5</sup>	3,04x10 <sup>-3</sup>	1,51x10 <sup>-7</sup>	75,7	27,3	20,3	0,97
14	PT 1 ANA TERRA	1,25	1,02x10 <sup>-3</sup>	1,73x10 <sup>-2</sup>	72	8	61	8,71
15	PT 1 GAUCHA	3,26x10 <sup>-5</sup>	4,06x10 <sup>-3</sup>	4,41x10 <sup>-7</sup>	74	14	27,3	2,12
16	GAUCHA	7,47	2,05x10 <sup>-5</sup>	1,245x10 <sup>-1</sup>	60	14	27,3	2,12
17	PT 1 NOVA UBIRATÃ	3,38x10 <sup>-2</sup>	3,01x10 <sup>-4</sup>	5,19x10 <sup>-6</sup>	58	14	4,95	19,15
18	PMLRV LUCAS	6,55x10 <sup>-5</sup>	5,12x10 <sup>-4</sup>	1,47x10 <sup>-6</sup>	44,66	6,34	6,48	0,92
19	SAAEMUT	1x10 <sup>1</sup>	5x10 <sup>-1</sup>	1,02x10 <sup>-1</sup>	97,5	32,5	113,24	11,35
20	PT 1 CAMPO N. DO PARECIS	3,78x10 <sup>-5</sup>	1,41x10 <sup>-2</sup>	5,878x10 <sup>-7</sup>	64,3	35,7	6	0,18
21	PM SAPEZAL	4x10 <sup>-4</sup>	4,02x10 <sup>-5</sup>	1,14x10 <sup>-5</sup>	35,16	29,64	9,22	2,49
22	COMODORO	4,12x10 <sup>-6</sup>	3,98x10 <sup>-4</sup>	4,406x10 <sup>-8</sup>	93,5	6,5	3,9	0,07
23	PT 1 NOVO DIAMANTINO	8,97x10 <sup>-5</sup>	1,06x10 <sup>-6</sup>	6,595x10 <sup>-7</sup>	136	14	6,15	0,26
24	PT 2 NOVO DIAMANTINO	1,63x10 <sup>-1</sup>	2,24x10 <sup>-5</sup>	1,417x10 <sup>-3</sup>	115	35	4,8	0,18
<b>Média</b>		<b>9,44x10<sup>-1</sup></b>	<b>4,94x10<sup>-2</sup></b>	<b>1,63x10<sup>-2</sup></b>	<b>81,09</b>	<b>15,08</b>	<b>26,01</b>	<b>3,46</b>
<b>Mediana</b>		<b>1,75x10<sup>-4</sup></b>	<b>7,66x10<sup>-4</sup></b>	<b>4,71x10<sup>-6</sup></b>	<b>74,85</b>	<b>14</b>	<b>18,65</b>	<b>1,48</b>
<b>Máxima</b>		<b>1x10<sup>+1</sup></b>	<b>5 x10<sup>-1</sup></b>	<b>1,25x10<sup>-1</sup></b>	<b>136</b>	<b>35,7</b>	<b>113,24</b>	<b>19,15</b>
<b>Mínima</b>		<b>4,12x10<sup>-6</sup></b>	<b>7,88x10<sup>-7</sup></b>	<b>1,58x10<sup>-8</sup></b>	<b>35,16</b>	<b>3</b>	<b>3,9</b>	<b>0,07</b>
<b>Moda</b>		<b>10<sup>-5</sup></b>	<b>10<sup>-2</sup> e 10<sup>-4</sup></b>	<b>10<sup>-6</sup> e 10<sup>-7</sup></b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

**Tabela 3.2** - Síntese dos resultados de T (transmissividade), S (coeficiente de armazenamento), K (condutividade hidráulica), b (espessura saturada), NE (nível estático), Q (vazão) e Cs (capacidade específica) obtidos nos ensaios de bombeamento dos poços localizados no Sistema Aquífero Parecis.

As diferenças entre os valores da condutividade hidráulica são representadas pelos valores de máxima ( $1,2 \times 10^{-1}$  m/s) e de mínima ( $1,5 \times 10^{-8}$  m/s). Os maiores valores de K foram observados nos poços das regiões de Sinop (ensaios 3 e 14), Gaúcha do Norte (ensaio 16), Nova Mutum (ensaio 19) e do Distrito de Novo Diamantino (ensaio 23). Os menores revelam-se nas regiões de Sorriso (ensaios 2 e 4), Sinop (ensaio 6), São José do Rio Claro (ensaios 10 e 11), Tapurah (ensaios 13), Gaúcha do Norte (ensaio 15), Campo Novo do Parecis (ensaio 20), Comodoro (ensaio 22) e Distrito de Novo Diamantino (ensaio 23).

Com relação a transmissividade, observou-se que a moda dos valores ficou estabelecida na ordem de  $10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s. Os valores de transmissividade variam na faixa entre 10 e  $4,1 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s. Como a transmissividade é um parâmetro diretamente proporcional a condutividade hidráulica, definida pela equação  $T=K \times b$ , a correlação existente entre estes parâmetros é notável na avaliação dos ensaios, os menores e maiores valores de T são identificados nos mesmos ensaios apontados na análise K.

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

A capacidade específica (Cs) média dos poços ficou em 3,46 m<sup>3</sup>/h/m. Os maiores valores de capacidade específica foram determinados nas regiões de Nova Ubiratã (ensaio 17) e Nova Mutum (ensaio 19). Os valores mais baixos de Cs foram levantados nos poços de Sorriso (ensaio 2), Sinop (ensaio 6), São José do Rio Claro (ensaio 10), Tapurah (ensaio 13), Lucas do Rio Verde (ensaio 18), Campo Novo do Parecis (ensaio 20) e Distrito de Nova Diamantina (ensaios 23 e 24).

Na avaliação dos valores de capacidade específica, nota-se que o ensaio 24 apresentou baixo valor de Cs e altos valores de K e T. Em regra geral, considerando as características isotrópicas do Sistema Aquífero Parecis, esperava-se que, em meio poroso com altos valores de K e T, a capacidade específica também tivesse valor elevado. Porém, como a capacidade específica de um poço é o quociente da sua vazão (m<sup>3</sup>/h) dividida pelo rebaixamento real do nível da água do poço, o baixo valor de Cs provavelmente está relacionado ao subdimensionamento da bomba utilizada na realização do teste de bombeamento do poço em questão ou por baixa eficiência hidráulica da captação (ex: instalação de seção de filtro insuficiente).

A espessura média da camada saturada dos poços é de 81,09 metros de profundidade, entretanto, este valor pode variar com o adensamento de novas informações de outros poços. O poço com menor espessura de camada saturada localiza-se em Sapezal (ensaio 21) e o com maior espessura de b, situa-se no Distrito de Novo Diamantino (ensaio 23). A determinação da espessura da camada saturada destes poços não representa a condição

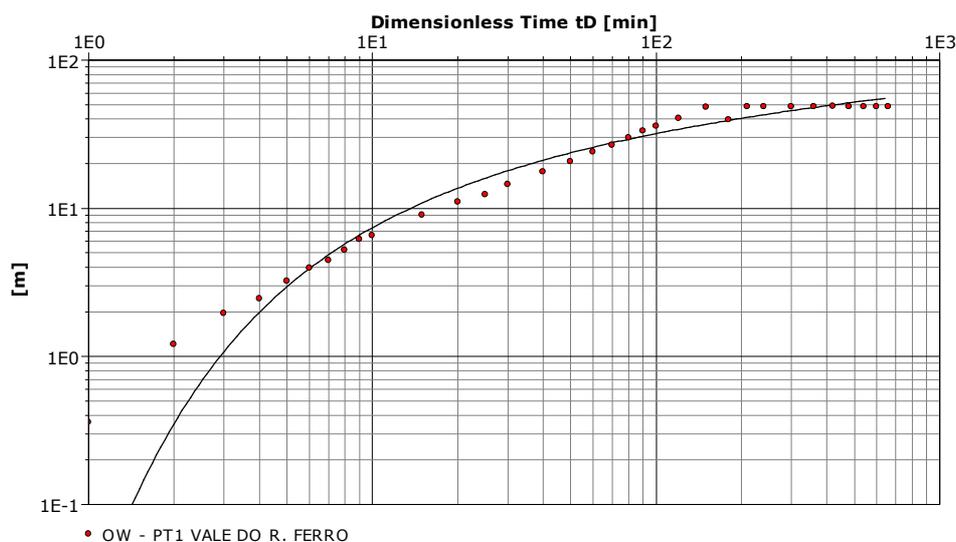
real da espessura saturada do SAP, uma vez que, nenhum dos poços analisados penetrou totalmente o sistema aquífero, desse modo, os valores de máxima e de mínima de  $b$  representam apenas a variação de profundidade determinada pelas informações disponíveis.

A profundidade do nível estático também teve grande variabilidade. A maior profundidade de NE foi de 35,7 metros (ensaio 20) e o nível mais raso é de 3 metros (ensaio 3).

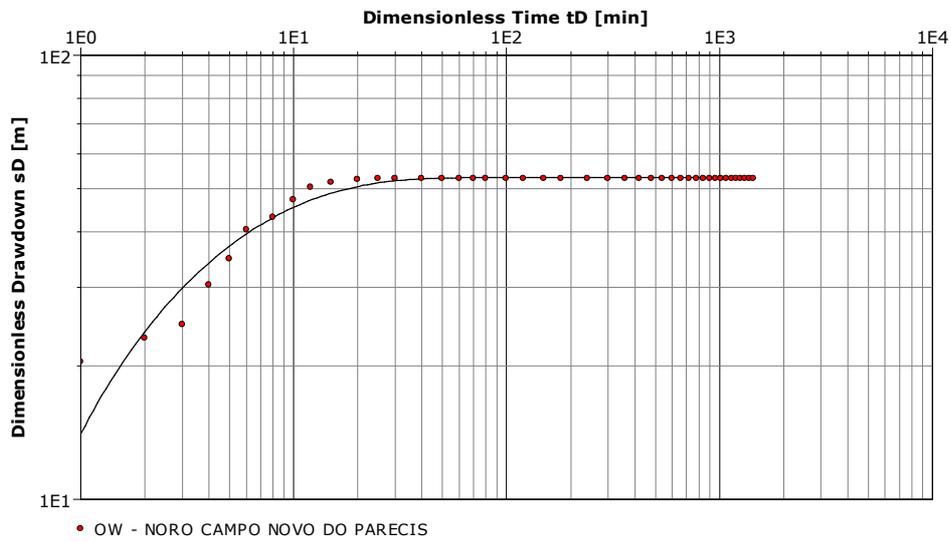
Os valores do coeficiente de armazenamento ( $S$ ) apresentaram características de bimodalidade para os dados analisados. As grandezas dos valores estabeleceram duas ordens de importância, a primeira de  $10^{-2}$  e a segunda de  $10^{-4}$ . Sob o ponto de vista hidrogeológico, valores de  $S$  elevados à base de  $10^{-2}$  atribuem um caráter de aquífero para o sistema. Entretanto, associando a análise dos valores bimodais ao grupo de valores de máxima ( $5 \times 10^{-1}$ ) e mínima ( $7,88 \times 10^{-7}$ ) e aos litotipos descritos nos perfis de perfuração é possível considerar a existência de dois subtipos de aquíferos dentro do SAP. O primeiro com valores típicos de aquífero livre ( $10^{-1}$ ) e o segundo com grau de confinamento variável, desde feições de confinamento com drenança (para valores na ordem de  $10^{-2}$  e  $10^{-3}$ ), até situações de maior confinamento ( $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$  e  $10^{-7}$ ).

Para determinação dos parâmetros  $T$  e  $S$  foram construídos gráficos em todos os 24 ensaios de bombeamento. Os dados obtidos de tempo (min) *versus* rebaixamento (m) foram interpretados pelo método de Theis e Hantush para o subtipo confinado, dois destes ensaios estão exemplificados nos gráficos das Figuras 3.5 e 3.6.

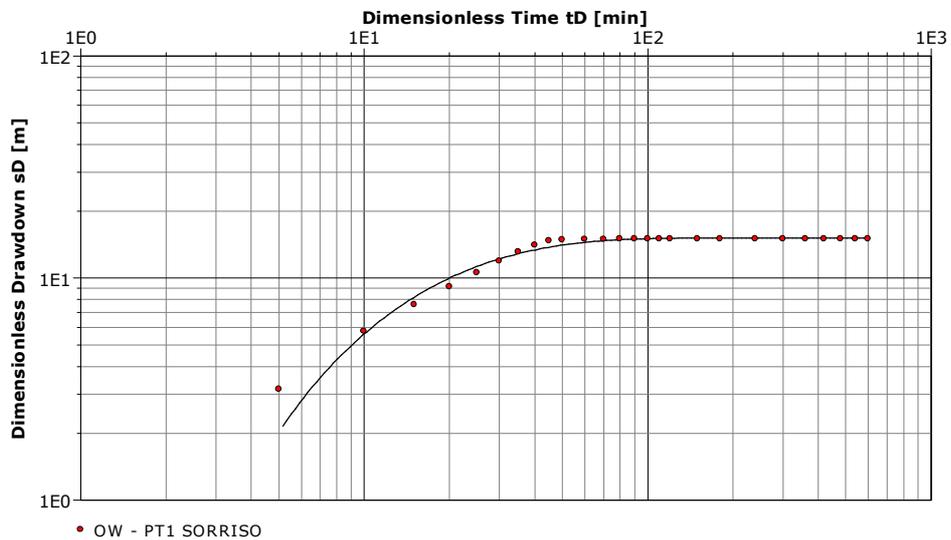
O subtipo livre teve sua análise calcada no método de Neuman, como ilustra as curvas de campo das Figuras 3.7 e 3.8.



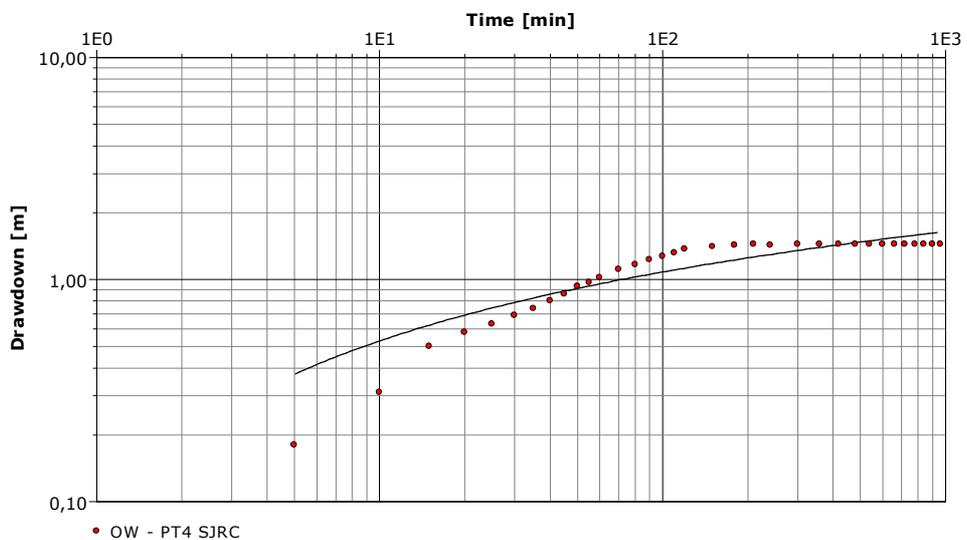
**Figura 3.5** - Gráfico de interpretação da curva rebaixamento *versus* tempo do ensaio de bombeamento do poço 6 pelo método Theis.



**Figura 3.6** - Gráfico de interpretação da curva rebaixamento *versus* tempo do ensaio de bombeamento do poço 20 pelo método Hantush.



**Figura 3.7** - Gráfico de interpretação da curva rebaixamento *versus* tempo do ensaio de bombeamento do poço 3 pelo método Neuman.



**Figura 3.8** - Gráfico de interpretação da curva rebaixamento *versus* tempo do ensaio de bombeamento do poço 8 pelo método Neuman.

### 3.4.1 Efeitos de Penetração Parcial

Quanto à penetração dos poços analisados no SAP, em função da extensão da zona de captação (filtros) e da profundidade de perfuração, estes poços podem ser classificados como parcialmente penetrantes.

Como representado na Tabela 3.2, os poços analisados possuem profundidade máxima de 113 metros. Em pesquisas anteriores Barros *et al.* (1982), estimaram a espessura média de 330 metros para os sedimentos da Formação Salto das Nuvens, enquanto que, Cutrim *et al.* (2007) determinaram através de SEVs a espessura variável de 75 a 106 metros para a Formação Utiariti, na região de Lucas do Rio Verde.

Utilizando como base as medidas médias definidas pelos autores supracitados, o Sistema Aquífero Parecis teria aproximadamente 400 metros de espessura. Ponderando sobre os dados das profundidades dos poços estudados, estes teriam atingido 25% da espessura total estimada para o Sistema.

O bombeamento em um aquífero através de um poço parcialmente penetrante, induz em suas proximidades a presença de uma componente vertical de fluxo. O fluxo tratado comumente como horizontal, neste caso, será tridimensional, devido a imposição de uma componente vertical de fluxo que passará a exercer importante papel na drenagem da água (Fetter, 1994). As linhas de fluxo deixam de ser retas e paralelas para serem curvas em torno da zona filtrante (Feitosa *et al.* 2008).

A interferência desta nova componente age diretamente na determinação da condutividade hidráulica do meio, uma vez que  $Kh$  é a resposta do fluxo laminar e horizontal do aquífero. Para fins de avaliação da condutividade hidráulica obtida pelo teste de bombeamento, deve-se considerar que os valores apresentados representam uma média estimada da camada analisada e os resultados devem ser avaliados com prudência.

Como não há contribuição de toda a camada saturada do aquífero, o efeito de penetração parcial também afeta a quantidade de água que pode ser extraída do poço. Isto causa um efeito de diminuição da vazão e conseqüentemente a subestimação de todos os parâmetros hidrogeológicos, os quais consideram a vazão como variável para sua determinação.

### 3.4.2 Eficiência dos Poços

A eficiência hidráulica dos poços pode ser definida como sendo a relação entre as perdas de cargas naturais do aquífero e as perdas ocorridas durante o bombeamento. Um poço pode ser considerado hidráulicamente eficiente quando se consegue obter os resultados esperados em termos de capacidade produtiva com o mínimo custo (França, 2008).

O poço representa a principal conexão hidráulica entre a superfície e o aquífero. Sua eficiência está relacionada a dois aspectos fundamentais: ao projeto construtivo do poço e ao procedimento de perfuração, construção e completação.

O primeiro aspecto compreende todos os fatores que implicam na criação de resistência ao fluxo da água do aquífero em direção a bomba, tais como: diâmetro dos revestimentos e filtros, espessura penetrada do aquífero, comprimento e posição do revestimento/filtro e qualquer outra componente do perfil construtivo que imponha resistência ao fluxo natural.

O procedimento de perfuração-construção-completação é o segundo aspecto a ser considerado, e na maioria das vezes está relacionado ao fluido de perfuração, que cria resistências indesejáveis ao escoamento natural da água do aquífero e à granulometria do pré-filtro. Outro aspecto é a compactação de horizontes saturados pelo processo de perfuração, também responsável pela criação de uma barreira hidráulica que impede o fluxo da água.

A maior parte dos perfis construtivos dos poços inventariados no Sistema Aquífero Parecis apresenta características análogas. Os poços perfurados pela empresa de abastecimento, com a finalidade de abastecimento urbano, apresentam grande similaridade nos desenhos construtivos.

A localização e comprimento das seções de filtros constituem uma das feições com maior impacto sobre a vazão prevista para os poços. O planejamento para instalação de filtros deve considerar que a velocidade de entrada da água é menor ou igual à raiz quadrada da condutividade hidráulica do aquífero. Poços com filtros mal dimensionados favorecem o processo de incrustação e corrosão, além de interferirem na capacidade de produção do poço.

Os filtros dos poços analisados no SAP possuem diâmetro de variam entre 6 e 8 polegadas. Os poços apresentam seções filtrantes, geralmente constituídas de material geomecânico, distribuídas ao longo da espessura saturada do aquífero, com comprimentos variáveis ao longo do perfil geológico.

O pré-filtro tem a finalidade de estabilizar as areias finas e bem selecionadas do meio geológico e permitir que o fluxo de água do aquífero passe pelas ranhuras do filtro. No SAP, em alguns dos poços tubulares, as porções ricas em material não litificado (areias) do Grupo Parecis são estabilizadas com pré-filtro. Do mesmo modo, em alguns poços o pré-filtro funciona como uma trama que dificulta a entrada dos grãos da fração argilosa, provenientes da matriz pelítica dos arenitos, muito comum nas descrições dos perfis geológicos dos poços. Via de regra, nestes poços o pré-filtro preenche toda a seção colunar, desde o final da coluna de cimentação até o pé do poço.

O diâmetro de perfuração dos poços tem relação direta com a definição da bomba a ser instalada e a vazão desejada. O diâmetro da bomba deve ter uma folga de 3 a 4 polegadas

em relação ao revestimento, por isso, é tão importante o planejamento inicial quanto ao dimensionamento da câmara de bombeamento.

O conhecimento dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero são essenciais na previsão das velocidades de fluxo e, portanto, no planejamento do diâmetro de perfuração necessário para alojar o filtro e pré-filtro de forma adequada.

O raio do poço compreende um dos fatores preponderantes na estimativa da vazão do poço. Em aquíferos livres, pela equação Dupuit, a influência do diâmetro de perfuração é notada pela relação direta da vazão ( $Q$ ) e do raio do poço ( $r_p$ ), ou seja, quanto maior o revestimento maior será a vazão do poço. Os poços avaliados no SAP foram perfurados com diâmetros de diversas polegadas, entre 9 a 20 polegadas. De maneira geral, as maiores vazões estão relacionadas aos maiores diâmetros de perfuração.

Quanto ao método de perfuração dos poços no SAP, as técnicas mais comuns são a rotativa e percussão. O primeiro processo causa a trituração e/ou desagregação da rocha pelo movimento giratório, e, a segunda técnica, baseia-se no golpeamento sucessivo da formação rochosa, desagregando e fragmentando as rochas com uma ferramenta pesada. Os dois procedimentos podem promover a compactação e/ou colmatação local dos níveis saturados do aquífero e dificultar o fluxo nessas regiões.

Após os procedimentos de perfuração e completação é iniciado a limpeza e o desenvolvimento do poço. O desenvolvimento tem como finalidade o aumento da condutividade natural do aquífero, nas proximidades do poço e correção de eventuais danos causados na perfuração. Os processos de desenvolvimento também auxiliam na retirada dos fluidos de perfuração. Não há tempo definido para o término do desenvolvimento do poço, o desenvolvimento deve seguir até a retirada das partículas mais finas da formação aquífera e levá-las até a superfície.

Os componentes do perfil construtivo e a litologia são responsáveis pelo sucesso do desenvolvimento. No registro de alguns poços do SAP o método de desenvolvimento utilizado para finalização da construção foi o do tipo *Air-Lift*. Esta técnica trabalha com o auxílio de um compressor que impõe uma sucessão de pulsos que funcionam como fluxo e refluxo na expulsão das partículas finas.

### **3.4.3 Área de Distribuição do Sistema Aquífero Parecis e Subsistemas Associados**

O Sistema Aquífero Parecis é a denominação proposta para caracterizar os aquíferos que ocorrem no domínio do Grupo Parecis (Barros *et al.* 1982), abrangendo os litotipos constituintes das formações Salto das Nuvens e Utariti.

De maneira simplificada e qualitativa a extensão do SAP pode ser considerada sob dois pontos de vista: limite definido e limite inferido. No primeiro caso trata-se de uma

poligonal determinada pela área de distribuição das rochas do Grupo Parecis mapeadas em superfície e por dados de subsuperfície, que neste caso, apresentam boa densidade e distribuição em toda a área. No segundo caso a poligonal é determinada apenas com base em dados regionais de geologia. A limitação das informações na determinação da poligonal inferida é decorrente da baixa densidade populacional na região, que em sua maior parte é contida em uma grande reserva indígena. Como não há cidades e fazendas que necessitam construir poços e como não há amplas exposições rochosas a fonte de informações é limitada e desta forma e optou-se por considerar esta área como parte do Sistema Parecis, contudo inferida.

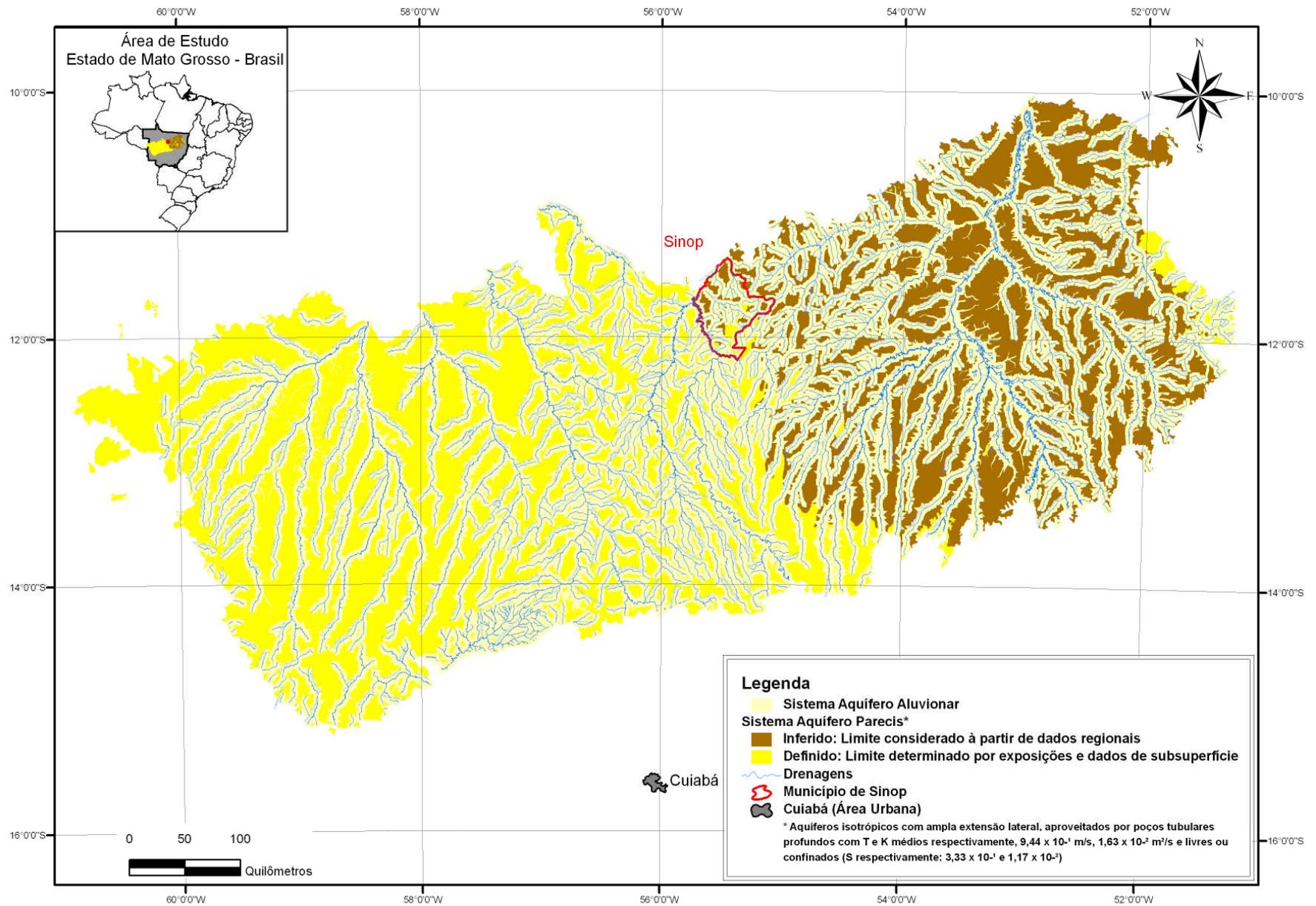
Assim foram determinadas duas poligonais para os limites do Sistema Aquíferos Parecis, um definido, com cerca de 200.000 km<sup>2</sup> de extensão (Figura 3.9), que domina na porção centro-norte do Estado de Mato Grosso, e um segundo limite, produto da junção do limite definido com parte da sub-bacia Alto Xingu (leste da bacia), denominado de limite inferido. A poligonal inferida totaliza 300.000 km<sup>2</sup> (Figura 3.9).

O Sistema Aquífero Parecis compõem aquíferos isotrópicos, com ampla extensão lateral, livres e confinados e com alto potencial hidrogeológico. São localizados sob regiões com relevo plano e suave ondulado, com boa densidade de drenagens e mananciais superficiais com altas vazões.

Sob o ponto de vista geológico, o Sistema Aquífero Parecis é um sistema constituído por duas unidades geológicas com variações litológicas distintas. Dentro destas unidades, as variações faciológicas conferem ao sistema aquífero importantes mudanças físicas que refletem nas propriedades hidráulicas e permitem a definição de dois subsistemas aquíferos. Os parâmetros hidrodinâmicos dos dois subsistemas estão apresentados na Tabela 3.3.

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

**Tabela 3.3** - Valores médios dos parâmetros hidrogeológicos dos subtipos aquíferos livre e confinado.



**Figura 3.9** - Mapa de distribuição do Sistema Aquífero Parecis dentro da Bacia dos Parecis.

A classificação dos sistemas aquíferos em subsistemas é matéria de alguns estudos hidrogeológicos no país, como no caso do Distrito Federal, onde Campos & Freitas-Silva (2008) caracterizaram a hidrogeologia da região em dois sistemas aquíferos com diversos subsistemas associados. No Distrito Federal há grande variação de tipos litológicos dentro das várias unidades litoestratigráficas, neste caso a melhor caracterização dos vários sistemas requer a subdivisão em subsistemas, evidenciando a real diversificação dos domínios, sistema e subsistemas aquíferos.

Para o Sistema Aquífero Parecis a classificação qualitativa do Sistema Aquífero Parecis em subsistemas foi delineada a partir das feições e similaridades hidrogeológicas dos subtipos aquíferos, independentemente das relações com as unidades litoestratigráficas (Formação Salto das Nuvens e Formação Utiariti). As informações hidráulicas, litológicas e construtivas dos poços profundos, permitiram a diferenciação do SAP em Subsistema Livre e Subsistema Confinado.

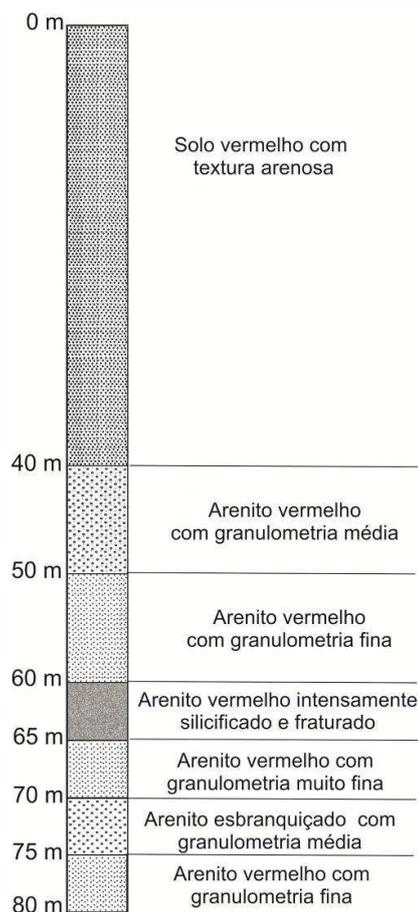
No entanto, não foi possível individualizar espacialmente os subsistemas dentro da área de abrangência do Sistema Aquífero Parecis. Para o correto zoneamento e delimitação dos aquíferos será necessária a análise de uma gama muito maior de dados de poços tubulares, considerando a extensão territorial deste sistema.

A subdivisão de aquíferos vinculados à estratigrafia, por exemplo, Aquífero Salto das Nuvens e Aquífero Utiariti não é considerada adequada, uma vez que não há variação sistemática dos parâmetros dimensionais que justifique tal distinção.

#### *3.4.3.1 Subsistema Livre*

Este subsistema é representado pelo menor conjunto de poços analisados, constituindo cerca de 13% do total. É explorado tanto por poços rasos (cacimbas, poços amazonas, poços caipira, etc.) quanto por poços tubulares. É caracterizado por perfis litológicos homogêneos, constituído principalmente por areias e arenitos com textura fina, média e grossa com colorações variadas (Figura 3.10). Níveis silicificados também são comuns em profundidades maiores que 40 metros.

O nível estático destes poços varia desde 3 até 33 metros de profundidade. Os poços que compõem este subtipo localizam nas regiões de Nova Mutum, São José do Rio Claro e Sorriso. As características hidrogeológicas médias deste subsistema (Tabela 3.3) são condutividade hidráulica na ordem de  $3,5 \times 10^{-2}$  m/s, transmissividade de  $3,33 \text{ m}^2/\text{s}$ , coeficiente de armazenamento de  $3,3 \times 10^{-1}$ , nível estático de 17 metros de profundidade, vazão média de  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  e espessura média da camada saturada de 93 metros (determinada com base em um banco de dados parcialmente penetrantes).



**Figura 3.10** - Descrição esquemática de perfil geológico do poço tubular profundo no subsistema livre.

### 3.4.3.2 Subsistema Confinado

A maioria dos poços tubulares que compõe o acervo de dados desta pesquisa possui características hidrogeológicas correspondentes ao subsistema confinado.

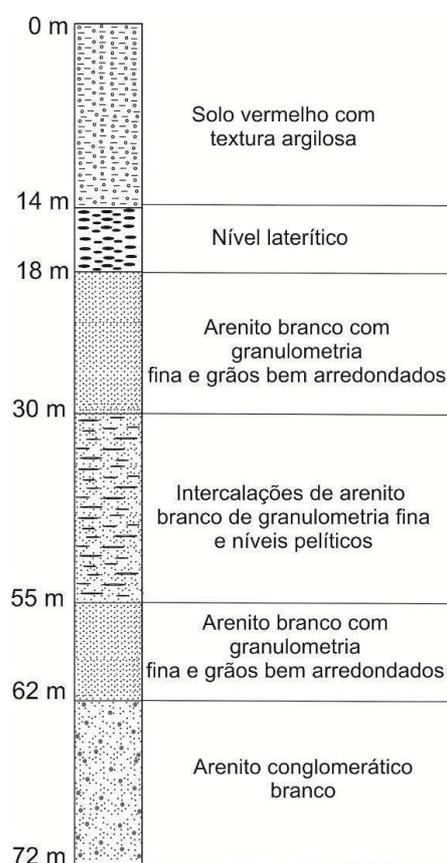
A situação de confinamento mais comum neste subtipo é provocada pela presença de camadas de arenitos silicificados, níveis pelíticos e horizontes lateritizados (Figura 3.11).

Dentre as feições que imputam o caráter de confinamento neste subsistema, os níveis de arenitos silicificados aparecem na maioria dos perfis geológicos e ocorrem em diferentes profundidades. As sucessões de níveis pelíticos também constituem uma feição comumente identificada nos perfis geológicos dos poços.

Além das características geológicas já citadas, os horizontes lateritizados ocorrem nos níveis mais rasos dos perfis, com profundidades de até 30 metros.

Os padrões físicos dos litotipos rochosos deste subsistema são responsáveis por aplicar uma carga hidráulica nas camadas porosas do aquífero. Os níveis semipermeáveis funcionam como aquitardes, possibilitando a passagem de água das camadas sobrepostas e sotopostas, ocorrendo assim o processo de drenança. Portanto, com a configuração das cargas hidráulicas do sistema, as camadas sub ou sobrejacentes do aquífero podem transmitir ou receber água.

Os parâmetros hidrodinâmicos médios estimados para este subsistema são condutividade hidráulica de  $1,3 \times 10^{-2}$  m/s, transmissividade de  $5,6 \times 10^{-1}$  m<sup>2</sup>/s, coeficiente de armazenamento de  $1,17 \times 10^{-2}$ , nível estático de 15 metros, vazão média de 23 m<sup>3</sup>/h e espessura média da camada saturada de 80 metros. Estes valores mostram que as porções confinadas do SAP não são do tipo totalmente confinado, mas semiconfinado, com possibilidade de ter contribuição de água armazenada nos aquitardes.



**Figura 3.11** - Descrição esquemática de perfil geológico do poço tubular profundo no subsistema confinado.

#### 3.4.4 Análise de Consistência dos Dados

A análise de consistência dos dados utilizados como fonte de informação para esta pesquisa baseou-se na avaliação criteriosa das correlações entre os resultados provenientes do tratamento dos dados e o contexto geológico e hidrogeológico da área de estudo.

As informações dos poços foram disponibilizadas em fichas técnicas contendo: teste de bombeamento contínuo, perfil litológico, e perfil construtivo.

Na averiguação preliminar de possíveis inconsistências, os dados foram selecionados com a verificação de possíveis falhas nos ensaios de bombeamento e/ou incoerências nas descrições geológicas. Nesta fase de avaliação de consistência um conjunto de informações foi excluído (mais de 20 ensaios). Ao final da primeira análise, os dados

foram digitalizados e formatados em planilhas, e, posteriormente, tratados para obtenção dos parâmetros desejados.

Em um segundo momento, o procedimento de avaliação da robustez dos dados foi corroborado com a avaliação das informações geológicas obtidas em campo e por meio dos perfis dos poços, concomitantemente à avaliação dos parâmetros hidrogeológicos, definidos pelas técnicas consagradas de determinação de parâmetros de aquíferos.

A avaliação da consistência do conjunto de dados constituiu um processo contínuo durante toda a fase de análise. A acurácia nas estimativas das variáveis envolvidas na pesquisa é amparada pelos dados dos poços tubulares mais representativos do SAP, assim como, na coerência e no padrão de respostas esperado para cada subsistema aquífero e as relações hidrogeológicas e geológicas.

### 3.5 AVALIAÇÃO DAS RESERVAS HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS

No que se refere à estimativa das reservas hídricas para o SAP, pretende-se neste trabalho, propor valores preliminares do volume de água armazenado neste aquífero, e, avaliar a potencialidade do sistema quanto a sua exploração. Os parâmetros utilizados para o cálculo foram baseados em valores médios, obtidos pelas informações da revisão bibliográfica, dados de literatura, dados dos poços tubulares e estimativas, e, nas interpretações deste trabalho.

Para efeito do cálculo das reservas hídricas foram utilizadas duas linhas de interpretações, sendo uma com valores mais conservadores, relacionada ao limite definido (200.000 km<sup>2</sup>) do SAP, e outra perspectiva com valores maiores, considerando a soma da área definida com a inferida (300.000 km<sup>2</sup>).

Considera-se neste trabalho que a reserva permanente do SAP é a soma dos subsistemas livre e confinado, uma vez que não foi possível delimitar a área dos dois aquíferos. Neste caso, o cálculo das reservas do SAP para cada limite (definido e inferido), utilizou os seguintes valores: área do sistema, A= 200.000 km<sup>2</sup> e A= 300.000 km<sup>2</sup>; porosidade efetiva,  $\eta_e$  variável de 12% a 15%; espessura da camada saturada, b mínima de 120 metros e máxima de 250 metros; oscilação do nível freático,  $\Delta h$  variável de 1 a 2 metros.

O cálculo das **reservas permanentes** ( $R_p$ ) do SAP é apresentado a seguir:

$$R_{pMin} = A \cdot \eta_e \cdot b$$

$$R_{pMax} = A \cdot \eta_e \cdot b$$

$$R_{pMin} = 200 \times 10^9 \text{ m}^2 \times 0,12 \times 120 \text{ m}$$

$$R_{pMax} = 300 \times 10^9 \text{ m}^2 \cdot 0,15 \cdot 250 \text{ m}$$

$$R_{pMin} = \mathbf{2,88 \times 10^{12} \text{ m}^3}$$

$$R_{pMax} = \mathbf{1,13 \times 10^{13} \text{ m}^3}$$

O volume armazenado do SAP totaliza um volume mínimo de  $2,88 \times 10^{12} \text{ m}^3$  para o limite definido e um volume máximo de  $1,125 \times 10^{13} \text{ m}^3$  para o limite definido+inferido.

Para as **reservas renováveis** ( $R_r$ ):

$$R_{rMin} = A \cdot \eta_e \cdot \Delta h$$

$$R_{rMax} = A \cdot \eta_e \cdot \Delta h$$

$$R_{rMin} = 200 \times 10^9 \text{ m}^2 \times 0,12 \times 1 \text{ m/ano}$$

$$R_{rMax} = 300 \times 10^9 \text{ m}^2 \cdot 0,15 \cdot 2 \text{ m/ano}$$

$$R_{rMin} = \mathbf{2,4 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{ano}}$$

$$R_{rMax} = \mathbf{9 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{ano}}$$

As reservas renováveis do SAP totalizam  $2,4 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{ano}$  para o limite definido e  $9 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{ano}$  para o limite definido+inferido.

O cálculo da reserva explorável pode ser considerado pela reserva renovável somada a uma parte da reserva permanente. Neste trabalho foi considerada para efeito de estimativa hídrica a porcentagem mínima de 8% e no máximo 15% da reserva permanente como parte da disponibilidade. A escolha das porcentagens baseou-se nos bons parâmetros de potencialidade do aquífero e nas condições atuais da demanda de consumo da água subterrânea do aquífero.

A **reserva explorável** ( $R_{exp}$ ) do SAP seria de  $2,544 \times 10^{11} \text{ m}^3$  para o limite definido e  $1,7775 \times 10^{12} \text{ m}^3$  para o limite definido+inferido, levando em consideração o seguinte cálculo:

$$R_{exp Min} = R_r + \%R_p$$

$$R_{expMax} = R_r + \%R_p$$

$$R_{exp Min} = 2,4 \times 10^{10} \text{ m}^3 + 0,08 \cdot 2,88 \times 10^{12} \text{ m}^3$$

$$R_{expMax} = 9 \times 10^{10} \text{ m}^3 + 0,15 \cdot 1,125 \times 10^{13} \text{ m}^3$$

$$R_{exp Min} = \mathbf{2,54 \times 10^{11} \text{ m}^3}$$

$$R_{expMax} = \mathbf{1,78 \times 10^{12} \text{ m}^3}$$

Para se ampliar a precisão nos cálculos de reservas e disponibilidades hídricas no Sistema Aquífero Parecis é fundamental:

- que o monitoramento da variação anual do nível estático seja mantido por longo período de tempo,
- que a cartografia de sua área de ocorrência seja concluída (por meio de geologia de superfície e dados de subsuperfície, poços tubulares e estudo geofísico) e
- que os parâmetros dimensionais, como espessura saturada e porosidade eficaz sejam obtidos através de estudos específicos.

## CAPÍTULO IV

### PROPOSTAS PARA GESTÃO DO SISTEMA AQUÍFERO PARECIS

#### 4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A preocupação mais recente no cenário da gestão de recursos hídricos do Estado de Mato Grosso é a implementação da outorga de direito de uso de recursos hídricos subterrâneos, que se mostra como um instrumento para gestão dos aquíferos dos mais eficientes.

No entanto, para efetivação da emissão de outorga no Estado o conhecimento técnico das características hidrogeológicas dos aquíferos é fundamental nas avaliações dos recursos hídricos subterrâneos de uma determinada região. Essas grandezas hidrogeológicas descrevem as feições físicas e hidrodinâmicas dos aquíferos e seu conhecimento é muito importante para a adequada gestão dos mananciais subterrâneos, além disso, são utilizadas nas estimativas das taxas anuais de recarga (reservas renováveis), condições gerais de circulação subterrânea e vulnerabilidade do sistema à contaminação (Oliveira & Campos, 2004).

Além do estudo de aquíferos, a adoção de práticas consagradas na construção de poços e a otimização dos usos dos recursos hídricos subterrâneos também se mostram como ferramentas eficientes no gerenciamento desses recursos. Com a finalidade de oferecer subsídios exequíveis a gestão de recursos hídricos subterrâneos, nesta pesquisa, as ferramentas de apoio a gestão foram classificadas em dois níveis de atuação: as ações de gestão local e as ações de gestão regional.

##### 4.1.1 Gestão Regional

A gestão regional dos aquíferos engloba ações que transcendem os limites territoriais e abrangem a dimensão do aquífero como sistema hidrogeológico. Neste domínio, o planejamento de ações macro compreende o cenário da gestão do aquífero como um todo, sendo que estas ações, de forma geral atuam no sentido do planejamento, uma vez que, a gestão dos aquíferos deve ter no componente local seu principal objeto.

As propostas e atividades apresentadas no nível de gerenciamento regional do Sistema Aquífero Parecis buscam conhecer as características intrínsecas ao sistema e indicar condutas de atuação ao órgão gestor, auxiliando na busca pela manutenção da auto-sustentabilidade do aquífero.

#### *4.1.1.1 Revisão dos Critérios de Outorga*

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos é um instrumento previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/2007). A outorga tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água, efetivando-se por ato da autoridade competente no nível federal, estadual ou distrital.

A outorga de direito de uso de recursos hídricos não se constitui em alienação parcial das águas, que são inalienáveis e, além disso, é considerado um ato discricionário e resultante da liberdade de escolha do Poder Público para proceder sobre a sua emissão.

A outorga de águas subterrâneas é um instrumento legal, no qual o Estado ou o Distrito Federal faculta ao particular o direito de uso da água subterrânea em condições preestabelecidas e tempo determinado. Como também ocorre para as águas superficiais, o instrumento prevê assegurar a atual e futuras gerações a disponibilidade de água subterrânea com qualidade para os respectivos usos, bem como a utilização racional dos recursos subterrâneos.

A competência para a emissão dos atos de outorga das águas subterrâneas é dos Estados e do Distrito Federal e obedece a previsão constitucional.

O órgão executor da Política de Recursos Hídricos no Estado de Mato Grosso é a SEMA - Secretaria do Estado de Meio Ambiente. Nesta instituição, a Superintendência de Recursos Hídricos desempenha os instrumentos previstos na Lei, e é por meio da Coordenadoria de Controle de Recursos Hídricos/Gerência de Águas Subterrâneas que o Estado analisa e emite as outorgas de águas subterrâneas.

Embora a outorga de águas subterrâneas esteja prevista desde o lançamento da Política, a implantação do instrumento em Mato Grosso foi instituído em 2011 pela Lei 9.612. Em sequência, os critérios para análise dos pedidos de outorga foram estabelecidos pela Resolução nº 44 de 11 de outubro de 2011 do CEHIDRO - Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

No caso dos critérios de outorga para águas subterrâneas, não há uma metodologia consolidada de análise para todas as autoridades outorgantes brasileiras (Motta & Costa, 2009). Alguns estados analisam os pedidos de outorga por meio da avaliação dos resultados e dados de testes de bombeamento dos poços, outros em função da média da capacidade específica dos aquíferos e outros adotam outros critérios, em geral a partir da integração de métodos (como, por exemplo, o Distrito Federal).

Em Mato Grosso as análises de outorga são baseadas em testes de bombeamento contínuo com duração mínima de 24 horas, com leitura do rebaixamento no próprio poço

bombeado. Sabe-se que além de determinar a vazão outorgável, os testes de produção também são utilizados para determinar as características hidráulicas do aquífero nas proximidades do ponto de captação. Todavia, os ensaios de produção em poços com leitura no próprio poço bombeado apresentam problemas na definição dos parâmetros do aquífero. As dificuldades na interpretação destes dados são devidas ao fluxo turbulento causando pelo bombeamento no próprio poço, além de outros aspectos hidráulicos que limitam ou dificultam a obtenção de resultados coerentes e confiáveis.

Com a finalidade de se obter melhores estimativas dos parâmetros dos aquíferos, propõem-se a inclusão dentro dos critérios estabelecidos para outorga dos grandes usuários de água subterrânea (irrigantes, usinas de álcool e outros empreendimentos exploradores de elevados volumes) os testes de aquíferos com acompanhamento do rebaixamento em um ou mais poços de monitoramento. Além de fornecer ao órgão gestor informações balizadoras para a avaliação do aquífero, esta iniciativa conjectura um benefício ao próprio usuário da água subterrânea, uma vez que, os grandes usuários têm o interesse em assegurar o volume captado para atendimento da sua demanda.

Recomenda-se também a adoção de prazos curtos de validade para outorgas emitidas em áreas urbanas, independentemente da finalidade do uso da água subterrânea e do tipo de empreendimento. Estas regiões caracterizam as porções de uso crítico do aquífero, com maior probabilidade de ocorrência de sobreexploração. Prazos menores de outorga possibilitam a revisão das vazões outorgadas e a análise da demanda da bacia hidrogeológica. O monitoramento temporal destes aspectos é essencial para a administração dos usos e a manutenção da disponibilidade hídrica subterrânea.

#### *4.1.1.2 Determinação de Reservas Permanentes e Renováveis*

As reservas permanentes ou reservas geológicas ou reservas seculares são definidas como o volume de água armazenada ao longo do tempo geológico, abaixo do nível mínimo da água. Sua determinação depende do tipo de aquífero analisado (livre ou confinado). Esta modalidade de reserva apresenta unidade de volume, comumente expressa por  $m^3$  ou  $km^3$  dependendo da área do sistema aquífero em análise.

A reserva renovável ou reguladora é o volume que se pode retirar do aquífero, sem que ocorra prejuízo ou risco de esgotamento. Esta associada ao balanço hídrico das águas subterrâneas e ao nível da água que oscila entre os períodos sazonais. Embora a magnitude da reserva renovável varie com o ciclo hidrológico, admite-se um comportamento mediano de longo período das variações do nível da água subterrânea, produzidas por entradas supostas

iguais às saídas (Feitosa *et al.* 2008). A descarga deste balanço hídrico é responsável pela manutenção e regulação hídrica dos corpos d'água superficiais.

Nos aquíferos livres a reserva de saturação constitui o volume de água mínimo armazenado abaixo da posição mínima do nível freático. As reservas de saturação podem ser avaliadas pela seguinte equação:

$$\text{Equação 4.1: } V_s = A \cdot n_e \cdot b$$

Onde:  $V_s$  = água de saturação,  $A$  = área de ocorrência do aquífero,  $n_e$  = é a porosidade efetiva e  $b$  = é a espessura saturada mínima.

No caso dos aquíferos confinados há que se considerar a reserva de saturação e a reserva de confinamento e a sua determinação é dada pela equação:

$$\text{Equação 4.2: } V = V_p + V_s = (A_c \cdot S \cdot \Delta h) + (A \cdot n_e \cdot b)$$

Onde:  $V_p$  = volume de água sob pressão,  $V_s$  = volume de água de saturação,  $A_c$  = área de ocorrência do aquífero sob confinamento,  $S$  = é o coeficiente de armazenamento,  $\Delta h$  = altura da carga hidráulica acima da base confinante,  $A$  = área de ocorrência do aquífero,  $n_e$  = porosidade efetiva,  $b$  = espessura média saturada.

A determinação da reserva permanente e renovável estabelece limites para a definição da reserva explorável da unidade aquífera. A estimativa destas reservas possibilita o planejamento e estabelecimento de vazões seguras para o sistema aquífero e influem na análise de risco para a exploração da água subterrânea.

Com o atual nível de informação disponível para o SAP são considerados os seguintes valores de referência para as estimativas de reservas:  $b$  variável de 120 até 250 metros, área de 200.000 km<sup>2</sup> até 300.000 km<sup>2</sup> (área efetiva e inferida), porosidade efetiva variável de 12 a 15% e variação nula do nível freático de 1 a 2 metros.

#### 4.1.1.3 Conhecimento dos Aquíferos

Uma das premissas para desenvolver os planos de gestão de águas subterrâneas é ter o conhecimento básico das características dos aquíferos. É recomendado que sejam realizados estudos com a finalidade de aumentar o nível de conhecimento do Sistema Aquífero Parecis, reduzir o nível de incertezas das estimativas da disponibilidade hídrica do aquífero e orientar quanto à exploração futura de aquífero.

O estudo avançado dos sistemas aquíferos possibilita a definição e a delimitação das bacias hidrogeológicas. As informações hidrogeológicas existentes representam importante subsídio para direcionar pesquisas e auxiliar na escolha das melhores alternativas de ação com relação à gestão integrada dos recursos hídricos (Arraes & Campos, 2007).

O zoneamento dos aquíferos é de grande relevância, principalmente em áreas de grande demanda por água subterrânea e com forte tendência de crescimento populacional, industrial ou agrícola, assim como da proteção das áreas de recarga (ANA, 2007).

Uma das deficiências para a definição de metodologia para análise das outorgas de águas subterrâneas se refere ao cálculo da disponibilidade hídrica subterrânea. Os critérios estabelecidos para análise de outorga em Mato Grosso são iguais para todos os aquíferos do Estado. A falta de conhecimento específico do sistema aquífero em questão resulta no estabelecimento de regras gerais de análise, independentemente da potencialidade do aquífero.

Campos (2004), comenta que o conhecimento e o entendimento do aquífero são necessários para a definição da auto-sustentabilidade do aquífero e que para a adequada gestão do aquífero é importante considerar as várias funções dos aquíferos.

Os aquíferos apresentam funções filtro, reguladora e armazenadora, muito importantes para a manutenção da qualidade da água armazenada. A função filtro, exercida pela zona vadosa, promove a remoção de possíveis substâncias ou bactérias prejudiciais à qualidade da água. A função reguladora está relacionada à alimentação e perenização de nascentes, córregos e demais corpos hídricos superficiais e é estabelecida pela oscilação natural do nível freático. A função armazenadora, por sua vez, é desempenhada pela zona saturada e resulta no acúmulo de água no aquífero.

Uma das estratégias propostas pela gestão participativa dos recursos hídricos, além da regularização dos usos de recursos hídricos subterrâneos, é a disseminação das informações técnicas em linguagem de fácil compreensão para a sociedade. A relevância desta ação é informar a sociedade da importância dessas águas como fonte de recursos hídricos. Esclarecer sobre a importância qualitativa e quantitativa destas reservas hídricas, o papel da água subterrânea na regularização dos mananciais superficiais, aspectos do ciclo hidrológico, idade das águas contidas nos aquíferos, e sua suscetibilidade a poluição, além de informações sobre a dificuldade de recuperação nos casos de poluição comprovada.

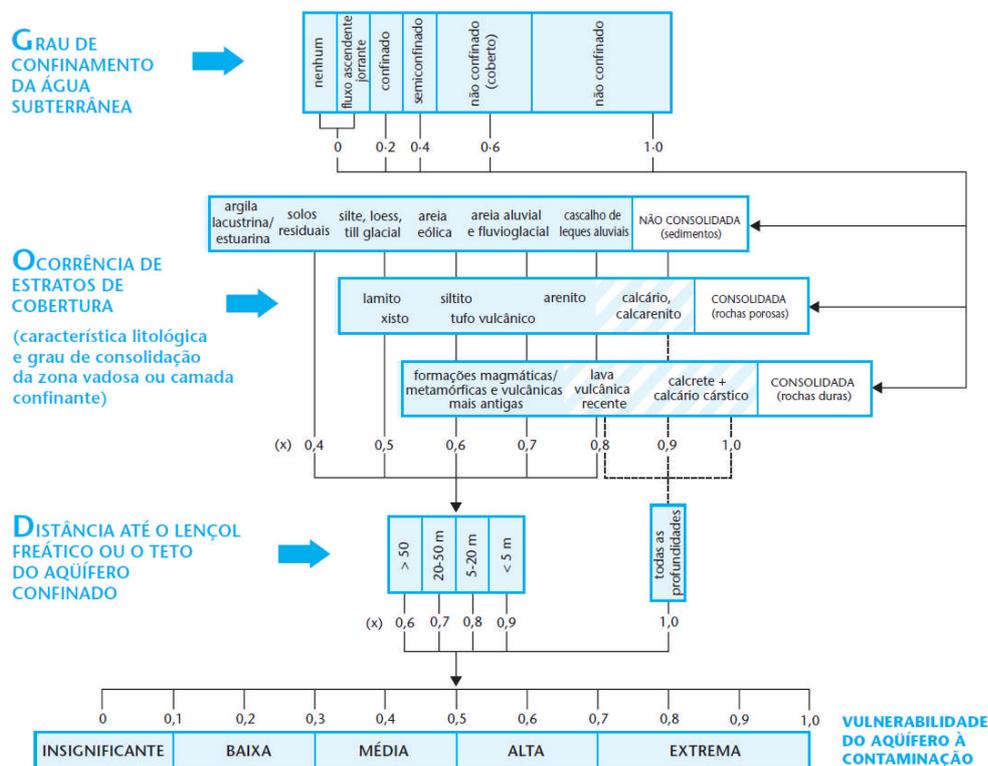
#### *4.1.1.4 Determinação da Vulnerabilidade GOD*

O método GOD (Foster *et al.* 2006), é uma das técnicas para determinação de vulnerabilidade regional de aquífero mais utilizado na América Latina. Devido a sua simplicidade de conceitos e aplicações baseadas em informações disponíveis em estudos básicos de aquíferos.

A sua nomenclatura é um acrônimo de três fatores em inglês: confinamento do aquífero (*Groundwater hydraulic confinement*); natureza composicional da zona saturada

e/ou aquífero e seu grau de faturamento (*Overlying strata*); e, profundidade do nível da água ou da base da camada confinante do aquífero (*Depth to groundwater table*).

Para cada fator existe uma gradação de valores de 0 ou 0,3 a 1,0 que multiplicados entre si, definem o grau ou índice de vulnerabilidade do aquífero, como ilustra a Figura 4.1.



**Figura 4.1** - O método vulnerabilidade GOD com seus parâmetros de análise e valores atribuídos (Fonte: Foster *et al.* 2006).

A representação dos três índices GOD pode ser feita com a confecção de mapas, que sobrepostos resultam em um mapa final de contornos para os fatores de vulnerabilidade de uma determinada região.

Os dados básicos necessários para determinação da vulnerabilidade GOD são facilmente obtidos em mapas hidrogeológicos regionais e/ou estudos de recursos hídricos subterrâneos, no entanto com frequência é necessário suplementar estas informações com estudo de mapas geológicos, estudos geofísicos e registros de perfurações de poços e, por vezes, com inspeções de campo. O ambiente Sistema de Informação Geográfica destaca-se como a melhor plataforma de trabalho para confecção destes mapas, devido a facilidade de interação, atualização e representação destas informações.

O conhecimento da vulnerabilidade regional de aquífero consistiu uma ferramenta relevante no planejamento de políticas de proteção aos aquíferos. Esses mapas fornecem uma estrutura geral da vulnerabilidade, na qual os estados baseiam-se para a tomada de decisões de políticas públicas, porém os mapas de vulnerabilidade GOD consistem uma representação

simplificada das informações hidrogeológicas. Essa estrutura geral não elimina a necessidade de investimentos em estudos de detalhe das atividades potencialmente poluentes, ou seja, são informações inerentes ao planejamento macro para gestão de águas subterrâneas.

Os mapas de vulnerabilidade GOD fornecem uma primeira visão geral e indicação das potenciais fontes de contaminação a água subterrânea. De posse destas informações, os gestores de recursos hídricos e os gestores territoriais possuem mais subsídios para a avaliação das novas propostas de desenvolvimento urbano e as prioridades para o controle da contaminação e monitoramento da água subterrânea.

Por outro lado é importante salientar que em muitos casos as ações visando à ocupação de novas áreas e desenvolvimento de novos empreendimentos desconsideram a existência de produtos cartográficos relativos à vulnerabilidade dos aquíferos.

#### **4.1.2 Gestão Local**

A gestão local dos aquíferos alicerça-se nas ações de gerenciamento de detalhe dos reservatórios subterrâneos. A dinâmica desta gestão contempla o conjunto de atos indispensáveis ao bom uso dos recursos hídricos subterrâneos e considera a influência e o impacto de todas as interferências no aquífero.

As propostas e atividades apresentadas no nível de gerenciamento local valorizam a garantia da manutenção dos usos múltiplos da água subterrânea e a conservação das condições de sustentabilidade dos aquíferos, primordialmente no que tange as condições de vulnerabilidade a contaminação, a proteção do aquífero e ao uso racional da água subterrânea.

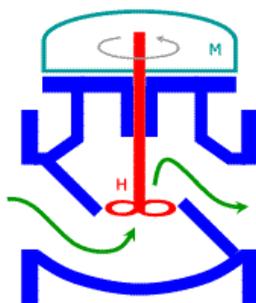
Os núcleos urbanos são as regiões voltadas para a implantação da gestão local dos aquíferos. Os polos demograficamente mais habitados constituem as áreas do aquífero com maior número de captações subterrâneas e elevada incidência de possíveis fontes poluidoras, esta última favorecida pela inexistência ou insuficiência de redes coletoras e de tratamento de efluentes.

##### *4.1.2.1 Hidrometragem*

A medição do consumo de água subterrânea por ponto de captação é a maneira mais eficiente para o controle quantitativo do uso desses recursos. A instalação de hidrômetros facilita o monitoramento das vazões exploradas dos poços, sua função é registrar os volumes de água que passam através da tubulação, acumulados ao longo do tempo.

O hidrômetro é um instrumento destinado à medição de vazão de líquidos que pode ser utilizado para controle de consumo da água subterrânea ou para a execução de testes de bombeamento em poços.

De acordo com Campos *et al.* (2005), os hidrômetros podem ser mecânicos ou digitais, são instrumentos de fácil instalação, de baixo custo e manuseio simples. Seu funcionamento consiste na passagem da água que faz girar uma haste (H) pela ação de um conjunto de pás na extremidade. A caixa de medição (M) possui um conjunto de engrenagens e ponteiros indicadores que, ao serem acionados pela haste, indicam o consumo acumulado, como mostra o esquema simplificado da Figura 4.2.



**Figura 4.2** - Esquema simplificado da estrutura e funcionamento de um hidrômetro.

A unidade de medida utilizada pelos hidrômetros para registrar o consumo de água é o metro cúbico ( $m^3$ ). O volume de água consumido durante um determinado período é calculado pela diferença entre as leituras inicial e final do monitoramento. Para obter a vazão, basta dividir a diferença entre as leituras pelo intervalo de tempo entre elas.

Além de controlar o volume de água consumido por unidade de captação, a instalação destes aparelhos mostra-se como uma ferramenta de gestão eficiente no controle do desperdício e do mau uso da água subterrânea.

A obrigatoriedade da instalação de hidrômetros em poços tubulares é uma prática que vem sendo regulamentada ao longo dos últimos anos pelos órgãos gestores dos recursos hídricos. Diversos estados brasileiros e o Distrito Federal regulamentaram a obrigatoriedade da instalação de hidrômetros em poços profundos.

No estado de Mato Grosso essa obrigatoriedade é determinada pelo artigo 28 da redação da lei 9.612 de 12 de setembro de 2011, que dispõe sobre a administração e conservação das águas subterrâneas de domínio do Estado. Desde o lançamento da lei o outorgado fica obrigado a equipar o poço tubular com instrumento de medição de vazão.

Para que a resposta dessa ação seja satisfatória é necessário que haja fiscalização intensiva na instalação e lacre dos hidrômetros, garantindo assim que o equipamento não seja retirado nem substituído sem o consentimento do órgão gestor.

As medições dos hidrômetros podem ser feitas pelo próprio outorgado (áreas rurais) ou pela distribuidora de água nas regiões urbanas. Assim, o usuário, bem como o órgão gestor, poderão ter um controle mais acurado acerca do volume explorado. Evitando o desperdício e mau uso da água subterrânea.

Ademais, o hidrômetro é um item necessário na implantação futura da cobrança pelo uso da água subterrânea, instrumento previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos e na Política Estadual. A funcionalidade do hidrômetro remete ao papel quantificador dos volumes consumidos e no controle da demanda outorgada para cada usuário, fatores essenciais no cômputo do valor a ser cobrado pelo uso da água. O conhecimento do volume consumido pelos diferentes usuários, também deve facilitar a redistribuição dos recursos em tempos de escassez ou de ampliação do número de usuários.

#### *4.1.2.2 Construção Adequada de Poços*

O processo de instalação de poços tubulares representa a maior intervenção na função filtro do aquífero. Diversos cuidados devem ser tomados durante a construção de um poço. No projeto deve-se buscar o aproveitamento da melhor vazão possível para o menor rebaixamento, a obtenção do menor custo econômico, a manutenção da boa qualidade da água e a certificação da boa produtividade do poço pelo maior período de tempo (Demetrio *et al.* 2008), sem, no entanto, causar danos ao aquífero.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT é o órgão responsável pela normatização técnica referente a construção de poços tubulares no Brasil. Atualmente existem dez normativas (Tabela 4.1) em vigor com referências as boas práticas para construção de poços.

A construção de um poço inicia-se com a perfuração do meio aquífero. Existem diversas técnicas para perfuração, porém as mais utilizadas são: percussiva a cabo, rotativa e roto-pneumática.

O poço deve, então, ser revestido com tubos cuja finalidade é sustentar as paredes do poço a fim de evitar desmoronamentos, bem como conectar as zonas aquíferas e isolando-as de possíveis contaminações.

O filtro é um revestimento perfurado que permite a entrada de água do aquífero para o poço. O seu comprimento é definido em função das características hidrogeológicas do aquífero e a abertura é dimensionada em função do material geológico. Filtro e revestimento devem ter o mesmo diâmetro e, são do mesmo material. O revestimento do tipo geomecânico (PVC) é o mais utilizado, pois, quando comparado com o revestimento metálico, possui alta resistência mecânica e química. Dentre os tipos conhecidos, os filtros de ranhura contínua

são os que apresentam melhor rendimento, uma vez que apresenta uma percentagem de área aberta bem maior que os demais (Feitosa *et al.* 2008).

<b>Norma</b>	<b>Descrição</b>
ABNT NBR 12212:2006	Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea
ABNT NBR 12244:2006	Construção de poço tubular para captação de água subterrânea
ABNT NBR 13604:1996	Filtros e tubos de revestimentos em PVC para poços tubulares profundos - Especificação
ABNT NBR 13605:1996	Filtros e tubos de revestimento em PVC para poços tubulares profundos - Determinação dimensional - Método de ensaio
ABNT NBR 13606:1996	Tubos de revestimento em PVC para poços tubulares profundos - Determinação do módulo de elasticidade à flexão - Método de ensaio
ABNT NBR 13607:1996	Tubos de revestimento em PVC para poços tubulares profundos - Verificação da flexão ao impacto
ABNT NBR 13608:1996	Tubos de revestimento em PVC para poços tubulares profundos - Verificação do desempenho da junta roscável - Método de ensaio
ABNT NBR 13609:1996	Tubos de revestimento em PVC para poços tubulares profundos - Verificação da resistência à tração das juntas - Método de ensaio
ABNT NBR 15495-1:2007 Errata 1:2009	Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares Parte 1: Projeto e construção
ABNT NBR 15495-2:2008	Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares Parte 2: Desenvolvimento

**Tabela 4.1** - Normatização da Associação Brasileira de Normas Técnicas para construção de poço tubular e de monitoramento.

O dimensionamento do diâmetro dos filtros de um poço é consequência direta da vazão que se pretende bombear e das dimensões das ranhuras dos filtros, além da relação entre a profundidade do poço e seu nível dinâmico, uma vez que a seção de filtro não deve ser instalada entre os níveis estático e dinâmico.

O espaço anelar entre o revestimento/filtro e a perfuração deve ser preenchido com cascalho ou pedrisco, denominado pré-filtro, que garante a estabilidade do poço e permite uma maior abertura dos filtros. O pré-filtro tem o papel de estabilizar areias muito finas e bem selecionadas e permitir maior percentagem de área aberta das ranhuras do filtro. O material do pré-filtro deve ser o mais inerte possível para evitar alteração da qualidade da água, assim como o entupimento dos filtros.

A profundidade e o diâmetro do poço, bem como o revestimento e filtro, são definidos com base nas características do aquífero e no volume de água desejado. Cuidados com a instalação dos filtros são extremamente importantes para manter a qualidade da água a ser captada. Deve-se evitar a instalação de filtros por toda a extensão arenosa do perfil geológico (acima do NE ou do ND), situação esta, ainda muito comum em perfis construtivos dos poços no Brasil. As empresas de perfuração, como forma de aumentar a vazão do poço, usualmente instalam filtros tanto no aquífero freático quanto no aquífero profundo, o que potencialmente pode acarretar na contaminação da água captada, devido a mistura da água dos aquíferos, sobretudo pelo nível da qualidade das águas freáticas em área urbanas.

A cimentação promove a proteção sanitária do poço. Neste caso, para minimizar o risco de contaminação é importante o isolamento sanitário dos primeiros 10 ou 15 m do poço (Campos, 2004). Em certos casos pode ser necessário o isolamento de uma ou mais camadas do aquífero que forneçam águas indesejáveis. Para tal, utiliza-se material impermeável, como o cimento.

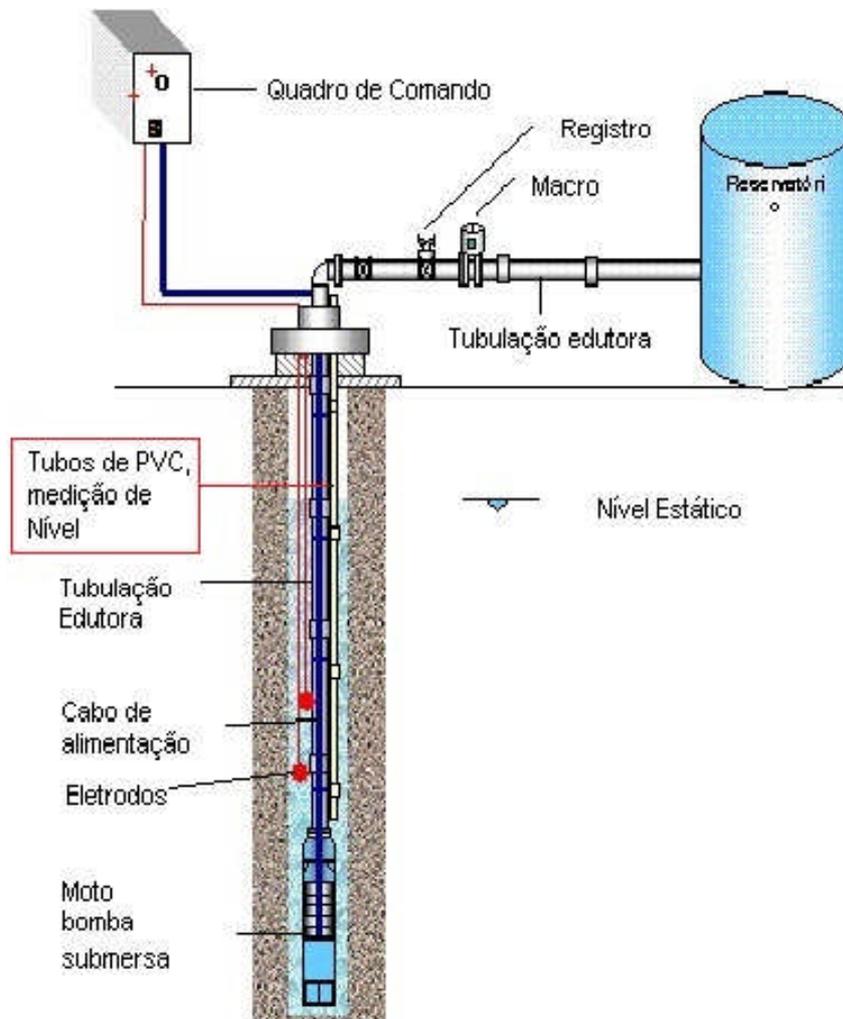
O desenvolvimento é a próxima etapa de construção do poço. Nesta fase aplicam-se técnicas que visam maximizar a capacidade de fornecimento de água do aquífero, com destaque para o pistoneio, *air lift*, bombeamento com diferentes taxas e uso de produtos químicos específicos. Em seguida, realiza-se a desinfecção do poço, com aplicação de produtos à base de cloro para eliminar bactérias patogênicas. Por fim é instalado sistema de bombeamento e o quadro de comando elétrico e realiza-se um ensaio de bombeamento completo para definir a vazão ideal a ser explorada, de forma que não prejudique o aquífero.

Ao se considerar as boas práticas para construção de poços, devem-se ponderar sobre os aspectos construtivos dos poços como facilitadores da gestão dos recursos hídricos subterrâneos. A este respeito deve-se tornar obrigatória a instalação de um tubo guia (Figura 4.3) para a medição dos níveis d'água, inclusive em poços produtores equipados com bombas submersíveis. Este tubo deve ser acoplado na tubulação edutora do poço de forma que os sistemas de medição de níveis possam ser inseridos neste tubo sem o risco de ficarem presos ao tubo edutor. O tubo guia deve ter entre  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{3}{4}$  de polegada de forma que o eletrodo do medidor manual ou o sistema de transdutor de pressão possam ser instalados.

O tubo guia deve ser instalado concomitantemente com a instalação da bomba. A projeção da profundidade de instalação do tubo deve considerar o nível dinâmico e a profundidade da bomba, esta iniciativa possibilita a descida do equipamento medidor de nível sem que haja risco de perda do aparelho. Outra alternativa que garante maior segurança nas medições de níveis, é lacrar a extremidade final do tubo guia e adaptar várias ranhuras do tubo, possibilitando a entrada d'água ao longo de sua extensão. Essa medida assegura a medição do nível e impede que o sensor do aparelho ultrapasse o limite do tubo e enrosque na bomba.

Adicionalmente as técnicas construtivas citadas, deve-se ter o controle da distância mínima de 30 metros de locação do poço das potenciais fontes poluidoras, como: fossas sépticas e negras (Campos, 2004).

É importante salientar que a qualidade construtiva dos poços interfere diretamente na gestão de um aquífero, uma vez que poços bem construídos diminuem o risco a contaminação das águas subterrâneas e auxiliam no processo de estudo do aquífero, fornecendo boas informações geológicas e hidrogeológicas do meio.



**Figura 4.3** - Desenho esquemático dos principais componentes de um poço tubular e a indicação da localização de instalação do tubo-guia (Fonte: adaptado de ABAS, 2004).

#### 4.1.2.3 Determinação da Vulnerabilidade pelo Método DRASTIC

No estudo de águas subterrâneas a vulnerabilidade é baseada nas características intrínsecas do aquífero. Para a determinação da vulnerabilidade é preciso conhecer o conjunto de características que determinam a susceptibilidade do aquífero à ação de uma eventual carga contaminante. De acordo com Foster & Hirata (1988) os fatores hidrogeológicos que caracterizam a susceptibilidade de um aquífero são a acessibilidade hidráulica da zona não saturada à penetração de contaminantes (advecção de contaminantes) e a capacidade de atenuação da camada que cobre a zona saturada, resultado da retenção ou reação físico-química de contaminantes (dispersão, retardação e degradação).

O método DRASTIC (Aller *et al.* 1987) é um sistema paramétrico de avaliação da vulnerabilidade, que inclui sete características hidrogeológicas, somadas de forma ponderada, onde: D - profundidade do topo do aquífero, R - recarga, A - material do aquífero, S - tipo de solo, T - declividade, I - influência da zona vadosa e C - condutividade hidráulica.

O DRASTIC permite encontrar um valor numérico para cada ponto da área de trabalho de acordo com a seguinte equação:

**Equação 4.3:**  $DRASTIC = (D_i \times D_p) + (R_i \times R_p) + (A_i \times A_p) + (S_i \times S_p) + (T_i \times T_p) + (I_i \times I_p) + (C_i \times C_p)$  (1)

Onde:  $i$  é valor atribuído ao parâmetro e  $p$  o seu peso. A cada um dos parâmetros atribui-se valores  $i$  que variam de 1 a 10, cujo valor se relaciona diretamente com o potencial de poluição e um peso  $p$  que varia de 1 a 5, refletindo sua importância relativa.

A vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas é tanto maior quanto maior for o índice DRASTIC.

Os resultados das ponderações do método de avaliação de vulnerabilidade DRASTIC podem ser apresentados em mapas, com zoneamento de áreas hidrogeológicas com maior ou menor sensibilidade ao potencial de contaminação, essas simulações são construídas principalmente para aquíferos livres.

No Brasil, poucos estudos dessa natureza foram realizados. Em Mato Grosso, Cutrim & Campos (2010) determinaram a vulnerabilidade do aquífero Furnas na região de Rondonópolis, porém não há registros de estudos com essa ênfase para o Sistema Aquífero Parecis. Como o SAP é caracterizado como um sistema aquífero intergranular e isotrópico, é essencial a realização de estudos da vulnerabilidade natural e dos ricos potenciais à contaminação provenientes dos efluentes gerados pela ocupação humana. Para a execução destes estudos é importante considerar os extremos de condutividade hidráulica da zona não saturada do aquífero.

Análises de vulnerabilidade DRASTIC podem servir como instrumento na definição de políticas públicas voltadas tanto para o planejamento do uso e ocupação do solo, como no direcionamento da expansão dos núcleos urbanos. E ainda auxiliar no gerenciamento dos recursos subterrâneos, dando suporte nas tomadas de decisões.

#### 4.1.2.4 Determinação das Reservas Explotáveis

A avaliação dos recursos subterrâneos é matéria de controvérsia no meio hidrogeológico. O maior empecilho está relacionado a dificuldade de identificar e determinar todos os parâmetros envolvidos na avaliação, devido a complexidade geológica dos reservatórios subterrâneos e a pouca compreensão das suas geometrias e a variação das propriedades hidrodinâmicas.

No sentido mais geral, as reservas de exploração são conhecidas pela expressão *safe yield*, termo que remete a condição de descarga segura, porém esta definição não é consenso entre os autores. Alguns consideram que esta conceituação é insustentável, pois não

leva em conta as interações com outros aquíferos, o efeito da exploração em longo prazo e todas as variáveis ambientais.

A reserva explorável, por sua vez, constitui o volume real de água que pode ser retirado do aquífero, sem causar danos ou prejuízos ambientais ao manancial, constituindo uma parcela da reserva permanente e a parcela da reserva renovável.

Para Zoby *et al.* (2004) a definição de disponibilidade de águas subterrâneas (ou reservas exploráveis) admite diferentes interpretações e está ligada às finalidades de planejamento e gerenciamento da bacia.

Para determinação da reserva explorável uma das etapas mais importantes no cálculo é a escolha das parcelas a serem consideradas das reservas permanentes. As proporções propostas devem refletir a situação das condições hidrogeológicas e de recarga cada aquífero, e ainda, avaliar a demanda de uso atual e futura do manancial. Para este cômputo podem-se admitir as seguintes variações: reserva explorável menor que a reserva renovável; reserva explorável igual a reserva renovável; e, reserva explorável maior que a reserva renovável, ou seja, a reserva explorável é igual a soma da reserva renovável mais uma porcentagem da reserva permanente (taxa de variação de 0 a 25%). A eleição dos índices de variação é embasada nos estudos existentes e no conhecimento técnico acerca do aquífero.

Gaspar (2006) determinou para o Sistema Aquífero Urucuia que toda a reserva reguladora é integrante da disponibilidade hídrica do SAU e considerou que 10% da reserva permanente compõem os valores da reserva explorável.

Para a determinação da reserva explorável do Sistema Aquífero Parecis é necessário a definição dos atributos do aquífero, o modelo conceitual do aquífero, principalmente no que se refere ao regime de recarga, importância dos aquíferos na regularização dos rios e condições gerais de circulação hídrica.

Em uma análise mais profunda é necessário determinar além de forma qualitativa, também quantitativamente, as condições do SAP, a área de abrangência das sub-bacias hidrogeológicas e suas propriedades físicas, dimensionais e hidráulicas, além das reservas permanente e renovável do aquífero.

Para o SAP propõem-se os valores de referência de no mínimo 8% e no máximo 12% da reserva permanente para compor a disponibilidade. Estes valores são coerentes com a natureza dos subsistemas que são livres ou com restrito grau de confinamento (semiconfinado).

#### 4.1.2.5 Determinação e Proteção de Áreas de Recarga

A recarga é o fluxo de água descendente que chega ao nível freático cujo volume colabora para o armazenamento do aquífero. Contribui para esta componente do ciclo hidrológico a infiltração da água da chuva e da neve, a infiltração das águas dos rios, de lagos e de outros aquíferos.

Em condições de não exploração do aquífero o valor anual médio da recarga deve ser igual a descarga natural do sistema. O volume que entra no sistema é a parcela que constitui os recursos hídricos renováveis.

Para Lerner *et al.* (1990) *apud* Ribeiro & Mendes (2010), existem três mecanismos de recarga, a recarga direta por infiltração da água da chuva, a recarga indireta através da zona não saturada e a recarga induzida por drenança entre camadas aquíferas, cursos de água, lagos, estuários.

No balanço hídrico do solo, a recarga é estimada a partir da seguinte equação:

$$\text{Equação 4.3: } R = P - E_s - ETR \pm \Delta S$$

Onde: R = recarga; P = precipitação;  $E_s$  = é o escoamento superficial; ETR = é a evapotranspiração real;  $\Delta S$  = variação do estoque de água no solo.

As áreas de recarga são relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre. Para a delimitação das áreas estratégicas de proteção e recarga dos aquíferos é necessário conhecer o funcionamento hidráulico do aquífero, os mecanismos de recarga e descarga, o sentido do fluxo subterrâneo, suas relações e conexões hidráulicas com outros aquíferos, a vulnerabilidade a poluição e os principais usos.

Em regra geral as áreas de recarga ocorrem em regiões topograficamente mais elevadas com baixa declividade. O Planalto do Parecis foi subdividido por Ross & Santos (1982) em duas feições geomorfológicas, o Planalto Dissecado do Parecis e a Chapada do Parecis. O primeiro constituiu uma porção composta por uma sucessão de relevos dissecados com grande variação de declividade, e a segunda, caracteriza-se por uma compartimentação elevada, com baixa declividade, predominando o padrão de relevo plano a suave ondulado.

A Chapada do Parecis é constituída em superfície por uma vasta camada de latossolos. Estes solos são responsáveis por controlar a recarga natural direta do Sistema Aquífero Parecis, de maneira direta, o domínio hidrogeológico da região da chapada é considerado a principal grande área de recarga do SAP.

Há que se considerar em uma análise mais detalhada da recarga da região as pequenas mudanças de declividade no terreno da chapada e as variações faciológicas das rochas do Grupo Parecis, por vezes enriquecidas em areia e/ou argila, o que pode denotar um comportamento heterogêneo na recarga natural. Neste caso, é importante a determinação de

zonas preferenciais e estratégias de proteção e recarga do aquífero. Para isso se faz relevante o conhecimento das condições de infiltração de toda a Chapada do Parecis, as características dos latossolos, a vulnerabilidade a contaminação do sistema, as variações do substrato rochoso e a hipsometria da região.

A determinação das áreas de recarga e proteção do SAP é necessária para a formulação de diretrizes de gestão do aquífero, tanto no que tange a manutenção do potencial hídrico do aquífero quanto na proteção aos contaminantes. Além da gestão dos recursos hídricos o conhecimento das zonas preferenciais de recarga compreende um fator ponderador nas avaliações do planejamento territorial e na formulação do zoneamento sócio-ecológico-econômico do Estado.

#### 4.1.2.6 Recarga Artificial de Aquíferos

O processo decorrente da impermeabilização das coberturas de solos é a causa primordial da diminuição da infiltração natural e do aumento progressivo do escoamento superficial.

A recarga natural dos aquíferos se dá a partir da infiltração da água de precipitação pluvial, através da zona vadosa do aquífero, até alcançar sua zona de transição e ocupar a porção saturada do domínio rochoso. A expansão urbana causa a impermeabilização de grandes áreas (ruas, passeios, coberturas de residências, etc) o que causa uma drástica redução da infiltração natural e aumento do fluxo superficial total (*run off*), resultando na diminuição da recarga natural dos aquíferos (Campos, 2004).

Visando minimizar os impactos da impermeabilização dos terrenos sobre a recarga natural, é recomendável a execução de algumas práticas de recarga artificial de aquíferos. A recarga artificial consiste de qualquer processo que induza infiltração ou injeção de água nos aquíferos, podendo ser realizada através de caixas ou barragens de infiltração, espalhamento de água sobre o solo, sulcos paralelos às curvas de nível, poços de injeção, etc (Fetter, 1994).

Dois metodologias para a recarga são comumente utilizadas com o uso de várias técnicas. O método superficial direto utiliza-se de bacias de inundação e da modificação do curso da água na calha do rio. O método de recarga subsuperficial direto injeta água por meio de poços de injeção na zona saturada e vadosa do aquífero, além de buracos e aberturas naturais.

De acordo com Campos (2004), as práticas de recarga artificial são bastante utilizadas ao redor do mundo com objetivos variados, como exemplo na região de Fresno, Califórnia (Salo *et al.* 1986), visando minimizar contaminação de aquíferos; Las Vegas Valley, Nevada (Katzer & Brothers 1989), objetivando aumentar a água disponível para

abastecimento público; Filadélfia, Paraguai (Godoy *et al.* 1994), com o intuito de aumentar o volume de água para irrigação; Orange County, Califórnia (Matthews, 1991), para recarregar aquíferos com água de rio; Alemanha, para a regularização da temperatura e pH, a partir de águas tratadas com origem variada; Karany, República Checa (Knezek & Kubala 1994), para viabilizar o abastecimento público da Cidade de Praga; e Norte de Londres, Inglaterra (O'Shea 1994), para gestão de áreas semi-áridas.

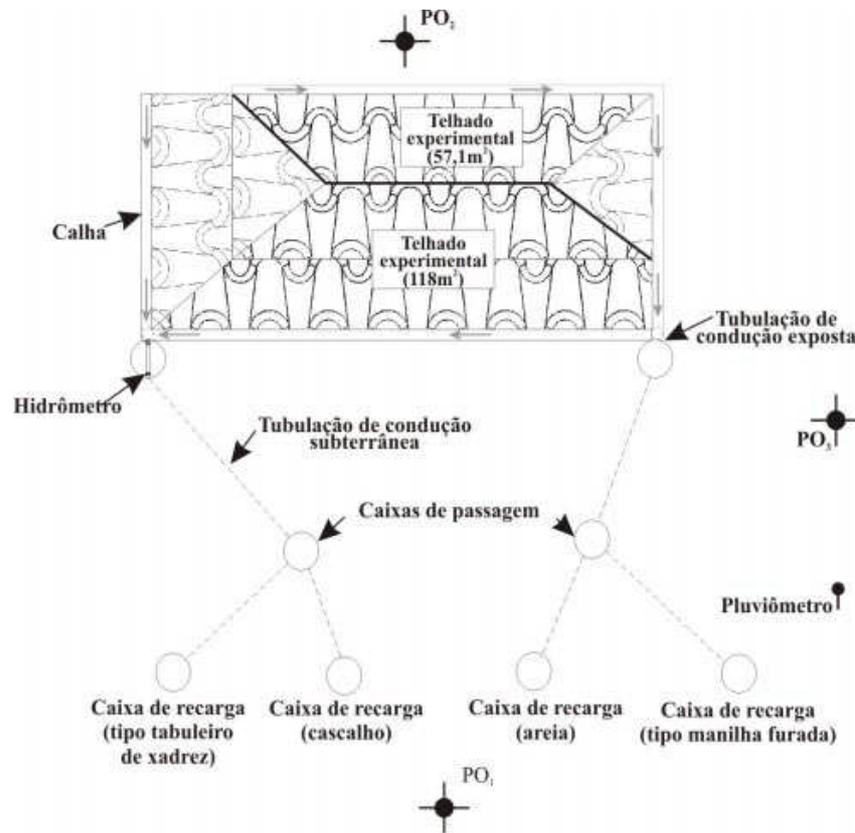
No Brasil, trabalhos mais recentes como Cadamuro (2002) e Almeida (2011) objetivaram avaliar a aplicabilidade de técnicas de recarga na região do Distrito Federal e em Caldas Novas/GO, respectivamente.

A proposta de recarga artificial apresentada neste trabalho baseia-se nos resultados obtidos por Cadamuro (2002) e Cadamuro & Campos (2005) com o uso do sistema de recarga indireta em latossolos do DF. A técnica consiste na captação de água de chuva em telhados residenciais e comerciais de condomínios horizontais, com posterior condução dessa água até caixas de infiltração (Figura 4.4) no latossolo. As caixas de recarga, preenchidas com material permeável (materiais com elevada condutividade hidráulica) induzem a infiltração. Com relação ao tipo de caixa de infiltração mais adequado à aplicação dessa técnica, a caixa preenchida por cascalho (Figura 4.5) respondeu melhor às intensas injeções de água. Caixas preenchidas com cascalho ou areia e sem revestimento possuem toda a área cilíndrica da parede e o fundo da caixa, como superfície de infiltração. Nessas caixas, a infiltração radial é bem mais rápida do que em caixas com revestimento e sem preenchimento. Todavia, o tipo do material utilizado no preenchimento deve ser inerte, possuir bom arredondamento, boa esfericidade e porosidade efetiva maior que 40%, o que garante o melhor escape do ar acumulado na porosidade do material.

Quanto ao risco geotécnico relacionado à implantação desse sistema ele pode ser minimizado por meio da perfuração de um furo de trado com 100 mm de diâmetro, no centro da caixa de infiltração, a partir dos 2,5 m já perfurados, o qual deverá ultrapassar prováveis barreiras hidráulicas.

A implantação de sistemas de recarga artificial como o proposto por Cadamuro (2002) tem boa relação custo/benefício, uma vez que a instalação das caixas de cascalho é de baixo custo e fácil construção, quando comparadas a outras técnicas.

Com o advento da expansão urbana e o processo de impermeabilização do solo a infiltração natural no SAP ficou comprometida ao longo do tempo. A Chapada dos Parecis, considerada área de recarga natural do Sistema Aquífero Parecis, esta sendo cada vez mais ocupada por áreas urbanas. As construções provocam a impermeabilização do solo e reduzem a infiltração das águas, o que compromete a recarga.



**Figura 4.4** - Esquema do sistema de recarga indireta com captação da água pluviométrica e injeção em caixas de infiltração (Fonte: Cadamuro & Campos, 2005).



**Figura 4.5** - Caixa de infiltração preenchida por cascalho (Fonte: Cadamuro, 2002).

Alguns municípios como Sinop, Sorriso e Nova Mutum possuem seu sistema de abastecimento humano baseado na captação de água subterrânea através de poços tubulares. Ainda não há registros de sobreexploração do Sistema Aquífero Parecis, porém a adoção de práticas como a recarga artificial pode minimizar os impactos antrópicos e restabelecer parte do sistema natural de infiltração.

A recuperação do aquífero, utilizando técnicas de recarga artificial como a descrita por Cadamuro (2002) ganha espaço nos programas de gestão de águas subterrâneas e é uma alternativa para aumentar a disponibilidade onde a situação encontra-se mais crítica.

No Distrito Federal a ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal estuda regulamentar a recarga artificial e prevê-la no decreto que estabelece critérios para obtenção da outorga de água subterrânea.

A recarga artificial como ferramenta de gestão de aquíferos deve ser avaliada como um artifício de planejamento e prevenção para a manutenção da sustentabilidade dos aquíferos. Sua aplicação pode ser voltada inicialmente para os usuários que promovem as maiores modificações na permeabilidade natural do solo, além daqueles que exploram grandes volumes de água subterrânea.

A prerrogativa para regulamentação recarga artificial dos aquíferos em Mato Grosso é do corpo técnico constituente do Conselho Estadual de Recursos Hídricos e está prevista no artigo 41 da Lei Estadual 9.612/2011, mas atualmente não há registros de discussões acerca das possíveis técnicas de recarga a serem empregadas nos aquíferos do Estado.

## CAPÍTULO V

### CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

O Sistema Aquífero Parecis representa um manancial subterrâneo de dimensões regionais, isotrópico, explorado por poços rasos e profundos, constituído essencialmente por uma sucessão de arenitos, com intercalações de níveis pelíticos e conglomerados pertencentes ao Grupo Parecis.

Associadas às drenagens que cortam a Bacia dos Parecis, ocorrem sedimentos aluvionares (areias e cascalhos) que foram agrupados genericamente em um conjunto de reservatórios denominado de Sistema Aquífero Aluvionar. Estes reservatórios desempenham a função reguladora dos mananciais superficiais, contribuindo com a manutenção da perenidade das drenagens.

A zona não saturada do SAP é constituída por uma espessa camada (espessura que varia de 0 a 50 metros) formada por latossolos e sedimentos inconsolidados. Os principais usos antrópicos desenvolvidos sobre as coberturas são a pecuária e agricultura.

Os latossolos variam texturalmente de arenosos a muito argilosos. São solos bastante profundos que atingem em até 20 metros de espessura. Os perfis de intemperismo descritos no Grupo Parecis foram caracterizados em três classes de solos: Latossolo Amarelo distrófico, Latossolo Vermelho distrófico, Latossolo Vermelho Amarelo distrófico.

As coberturas inconsolidadas recobrem parte das rochas do Grupo Parecis e afloram principalmente na porção leste da bacia, são constituídas por sedimentos arenosos, siltosos e areno-siltosos, além de couraças lateríticas. São sedimentos provenientes do retrabalhamento das rochas da porção cretácea da Bacia dos Parecis.

As coberturas de solos e sedimentos inconsolidados são responsáveis pelo controle do processo de infiltração da água da chuva e recarga do Sistema Aquífero Parecis. A partir da análise dos valores de condutividade hidráulica foi possível determinar que a recarga do SAP ocorre preferencialmente nas áreas em que os sistemas são livres, pois a presença dos aquitardes limita a recarga, a partir de perdas pelo fluxo interno.

A intensidade e o tempo de recarga do SAP esta relacionada à presença ou não de horizontes mais ricos na fração areia, como também em menores proporções a existência de horizontes enriquecidos em argila. Entretanto, outros fatores como a restrita declividade do terreno e o tipo de uso do solo são também determinantes no processo de recarga nesta região.

A condutividade hidráulica destes solos varia em superfície na ordem de grandeza de  $10^{-4}$  a  $10^{-6}$  m/s, enquanto que em profundidade a variação é de  $10^{-6}$  a  $10^{-8}$  m/s.

Os valores obtidos em superfície são considerados altos para valores de K e refletem a estruturação granular comum no horizonte A dos solos. Os valores mais reduzidos são decorrentes da degradação dos solos pelo processo de impermeabilização. Em profundidade, observou-se um comportamento homogêneo e de magnitude baixa da moda de  $K_v$  ( $10^{-7}$  m/s) para todas as classes de latossolo. As pequenas variações de K estão relacionadas à:

- Variação da condutividade hidráulica ( $10^{-6}$  m/s) nos primeiros 50 centímetros no latossolo vermelho, determinado pela predominância da fração areia;
- Valores na ordem de  $10^{-8}$  m/s na profundidade de 200 centímetros no latossolo amarelo, valores menores de K em virtude da textura muito argilosa desta classe de solo.

Os valores de condutividade hidráulica corroboram as observações de campo que indicam que o aumento da fração argilosa é decorrente da maior quantidade de fácies pelíticas de ambientes lacustres e de planícies de inundação fluviais. No Grupo Parecis os ambientes de baixa energia são mais comuns em direção ao topo desta unidade.

No Sistema Aquífero Parecis foram identificados dois subtipos aquíferos os quais foram determinados de Subsistema Livre e Subsistema Confinado. A subdivisão do sistema aquífero foi fundamentada nas relações dos parâmetros hidrodinâmicos e nas características dos perfis litológicos dos poços tubulares inventariados. A classificação dos subsistemas é de caráter qualitativo e preliminar, e deve ser detalhada à medida que forem ampliadas as bases de informações de subsuperfície.

O aquífero livre é caracterizado por perfis litológicos homogêneos, constituído principalmente por areias e arenitos com textura fina, média e grossa, com colorações variadas. Os parâmetros hidrodinâmicos médios deste aquífero são: condutividade hidráulica de  $3,5 \times 10^{-2}$  m/s, transmissividade  $3,3 \text{ m}^2/\text{s}$ , coeficiente de armazenamento de  $3,33 \times 10^{-1}$ , vazão de  $50 \text{ m}^3/\text{h}$ , profundidade do nível estático de 17 metros e espessura da camada saturada de 93 metros (determinada com base em banco de dados de poços parcialmente penetrantes).

No subtipo confinado, o confinamento é provocado pelas camadas de arenitos silicificados, níveis pelíticos e, por horizontes laterizados. O grau de confinamento neste subsistema é bastante variável, desde situações de semi-confinamento com S em torno de  $10^{-2}$  e  $10^{-3}$  até coeficientes menores variando entre  $10^{-4}$  e  $10^{-7}$ . Estes valores indicam a presença de aquíferos semiconfinados com e sem drenança a partir dos aquitardes até aquíferos totalmente confiados. Os parâmetros hidrodinâmicos médios estimados para este subsistema são: condutividade hidráulica de  $1,3 \times 10^{-2}$  m/s; transmissividade de  $5,6 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ ; coeficiente de armazenamento de  $1,17 \times 10^{-2}$ ; nível estático de 15 metros; vazão média de 23

$\text{m}^3/\text{h}$ ; e, espessura média da camada saturada de 80 metros. Este valor de espessura saturada foi determinado com base em dados de poços parcialmente penetrantes. Dados de poços mais profundos e obtidos a partir de estudos geofísicos são necessários para se determinar com maior precisão as espessuras não apenas do Sistema Confinado, como de todo o SAP.

A delimitação da área do SAP contou com um cadastro de poços tubulares localizados principalmente na porção centro-norte e oeste da Bacia dos Parecis. Dentre os poços cadastrados no SIAGAS e na SEMA, as informações dos poços que basearam este estudo foram as que apresentaram o maior número de elementos confiáveis para determinação dos parâmetros, portanto, são os dados considerados como os de maior nível de consistência. Assim sendo, o adensamento de informações de subsuperfície deverão melhorar as estimativas aqui apresentadas, sobretudo nas inferências propostas para a região leste da bacia.

A extensão do SAP, de maneira simplificada e qualitativa, pode ser delimitada considerando a área com cerca de  $200.000 \text{ km}^2$ , onde os limites definidos são coincidentes com a extensão das rochas do Grupo Parecis. Um segundo limite foi definido a partir da soma da área definida com a área inferida, esta poligonal considera os sedimentos inconsolidados na porção leste da Bacia, e tem aproximadamente  $300.000 \text{ km}^2$ . Silva *et al.* (2003) designaram estas coberturas de Formação Ronuro, anteriormente associada a Formação Araguaia, mas admitiram que estas coberturas incluem parte do Grupo Parecis. Como unidade litoestratigráfica estes sedimentos foram analisados neste trabalho como uma única unidade hidrogeológica ou sistema aquífero, sendo que, as coberturas inconsolidadas desempenham a função da zona vadosa dos aquíferos.

As reservas hídricas do SAP foram delineadas sob duas perspectivas distintas, uma com valores mais conservadores (denominadas de reservas mínimas) e outra com valores menos conservadores (compondo as reservas máximas). A reserva permanente do Sistema Aquífero Parecis soma um volume que totaliza  $2,88 \times 10^{12} \text{ m}^3$  (com uso de dados mais conservadores) e de  $1,125 \times 10^{13} \text{ m}^3$  (considerando parâmetros menos conservadores), enquanto que a reserva renovável seria de  $2,4 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{ano}$  (limite definido) e  $9 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{ano}$  (limite definido+inferido). Para a reserva explorável, considerando a soma da reserva renovável e parte da reserva permanente, os valores somaram  $2,544 \times 10^{11} \text{ m}^3$  para a contabilidade de 8% da reserva permanente e de  $1,7775 \times 10^{12} \text{ m}^3$  para o cálculo considerando 12% da reserva permanente.

Com o intuito de melhor entender os parâmetros dimensionais, hidráulicos e a dinâmica da recarga do sistema aquífero ainda será necessária a realização de novos estudos hidrogeológicos, inclusive com manutenção de experimentos com a instalação de

tensiômetros, de poços de monitoramento, medição contínua dos níveis d'água, técnicas de geofísica e testes de bombeamento com a leitura do rebaixamento em poços de observação.

Ante a caracterização do Sistema Aquífero e as ponderações elencadas para o detalhamento das estimativas, sugere-se a adoção de medidas no campo da gestão de recursos hídricos subterrâneos, de maneira a preservar a qualidade das águas subterrâneas, otimizar o uso destes recursos e melhorar a incertezas quanto a análise da potencialidade do aquífero. As sugestões apresentadas são:

- Ações Regionais - planejamento macro: revisão dos critérios de outorga; determinação das reservas permanentes e renováveis; conhecimento dos aquíferos; determinação da vulnerabilidade GOD.
- Ações Locais - planejamento de detalhe com ênfase as áreas urbanas: hidrometragem; construção adequada de poços; determinação da vulnerabilidade pelo método DRASTIC; determinação das reservas exploráveis; determinação e proteção de área de recarga; aplicação de técnicas de recarga artificial e uso de critérios técnicos para a definição das vazões de outorga.

As propostas para a gestão dos mananciais subterrâneos buscaram expressar os problemas de gerenciamento de recursos hídricos existentes no aquífero e atuar no ordenamento destes problemas. As ferramentas de gerenciamento citadas são consideradas exequíveis no âmbito da gestão e podem ser incluídas nos planos de recursos hídricos e planos/programas de governo como diretrizes de planejamento na administração destes recursos.

## CAPÍTULO VI

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas 2004. Orientações para utilização de águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Disponível em <http://www.abas.org/arquivos/aguasf.pdf>. Acessado em 20 nov 2012.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas 2013. Normas Técnicas. Disponível em <http://www.abntcatalogo.com.br/normagrid.aspx>. Acessado em 12 fev 2013.
- ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 1996. *Ensaio de permeabilidade em solos – Orientações para sua execução no campo*. São Paulo, Boletim nº 4 , 35 pp.
- Aller L., Bennett T., Lehr J.H., Petty R.J., Hackett G. 1987. DRASTIC. *A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings*. Washington. Environmental Protection Agency Report 600/2-87-035.
- Almeida F.F.M. 1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma sul-americana. *Rev.Bras.Geoc.*, **13**(3)139-158.
- Almeida L. de 2011. Estudo da aplicabilidade de técnicas de recarga artificial de aquíferos para sustentabilidade das águas termiais da região de Caldas Novas-GO. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 159 p.
- ANA – Agência Nacional de Águas 2007. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. Brasília, ANA, Caderno de Recursos Hídricos, Volume 5, 126 p.
- ANA – Agência Nacional de Águas 2007. Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos. Fiscalização do uso de recursos hídricos. Brasília, ANA, Caderno de Recursos Hídricos, Volume 4, 168 p.
- ANA – Agência Nacional de Águas 2009. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Relatório Técnico. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/download.aspx>. Acessado em 25 out 2011.
- AQUIFER TEST PRO 2011. Version 2011.1: Pumping test and slug test data analyses software. Schlumberger, Water Service.
- Arraes T.M. & Campos J.E.C 2007. Proposição de critérios para avaliação e delimitação de bacias hidrogeológicas. *Rev. Bras. Geoc.*, **37**(1): 81-89.
- Atas das reuniões do Conselho de Recursos Hídricos de Mato Grosso. Disponível em <http://www.sema.mt.gov.br>. Acessado em 20 de jun de 2012.
- Bahia R.B.C. 2007. Evolução tectonosedimentar da Bacia dos Parecis. Tese de Doutorado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 149 p.

- Bahia R.B.C., Martins-Neto M.A., Barbosa M.S.C., Pedreira A.J. 2007. Análise da evolução tectonossedimentar da Bacia dos Parecis através de métodos potenciais. *Rev.Bras.Geoc.*,**37**(4): 639-649.
- Barros A.M., Da Silva R.H., Cardoso O.R.F.A., Freire F.A., Souza Júnior J.J. De, Rivetti M., Da Luz D.S., Palmeira R.C. De B., Tassinari, C.C.G. 1982. Geologia. *In: Brasil. Folha Cuiabá, SD. 21, Projeto Radambrasil, Levantamento de Recursos Naturais.* Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro, p.: 25-192.
- Bernardo, S. 1986. *Manual de irrigação.* Viçosa: UFV, 596 p.
- Bomfim L.F.C. 2006. Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil 1:2.500.000. Projeto SIG de disponibilidade hídrica do Brasil. Salvador, CPRM, CD-ROM.
- Bomfim L.F.C. 2010. Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil em ambiente SIG: concepção e metodologia. *In: Cong. Bras. Aguas Subterrâneas, 16, Resumos, p. 16.*
- Braga L.F. & Siqueira L.P. 1996. *Three Dimensional Modelling of the Basement Topography Beneath Parecis Basin, Brazil, Constrained by Spectral Estimates of Depth to Magnetic Sources.* *In: Latin American Petroleum Congress, 5, Rio de Janeiro, CONEXPO-ARPEL, p.8.*
- Brasil/MC/SNIS 2005. Diagnóstico das Condições de Saneamento nas Sedes dos Municípios do Estado do Mato Grosso inseridas na Bacia Hidrográfica do Rio Xingu. Goiânia, Relatório Final, Volume 14.
- Brasil. 2011. Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/legislação>. Acessado em 25 jun 2011.
- Cadamuro A.L.M. 2002. Proposta, avaliação e aplicabilidade de técnicas de recarga artificial em aquíferos fraturados para condomínios residenciais do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 130p.
- Cadamuro A.L.M. & Campos J.E.G. 2005. Recarga artificial de aquíferos fraturados no Distrito Federal: uma ferramenta para a gestão dos recursos hídricos. *Rev. Bras. Geoc.*, **35**(1): 89-98.
- Campos J.E.G. & Freitas-Silva F.H. 1998. Hidrogeologia do Distrito Federal. *In: Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Parte I. Vol II. IEMA-SEMATEC/ Universidade de Brasília. (Inédito). 66p.*
- Campos J.E.G. 2004. Hidrogeologia do Distrito Federal. *Rev. Bras. Geoc.*, **34**(1): 41-48.
- Campos J.E.G.; Della-Giustina M.E.S., Barbosa F.N., Machado J.M., Arraes T.M. 2005. Propostas para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos em condomínios horizontais do Distrito Federal. 3º Prêmio Ouro Azul. Correio Brasiliense/ Estado de Minas / Furnas. 20 p.
- Comelli C. 2011. Estudos preliminares sobre a hidrogeologia e hidroquímica da zona urbana de Sinop – MT. Dissertação de Mestrado, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, 111 p.

- Corrêa J.A. & Couto E.A. 1972. *Projeto aluviões diamantíferos de Mato Grosso*. Goiânia, DNPM/CPRM, Relatório Final, Volume 2.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil 2012. *Relatório Diagnóstico: Aquíferos Ronuro, Salto das Nuvens e Utiariti no Estado de Mato Grosso – Bacia Sedimentar dos Parecis*. Belo Horizonte, CPRM, Volume 9, 55 p.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil 2013. Siagas. Disponível em [http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar\\_mapa.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php). Acessado em 02 dez 2012.
- Cutrim A.O., Ruiz A.S., Liporoni L.M., Medeiros F.A. De, Barroso U.C., Nascimento A.L. 2007. Sondagem Elétrica Vertical em Pesquisa Hidrogeológica na Bacia do Parecis, MT. *Rev. Bras. Geoc.* **25**(2).
- Cutrim A.O. & Campos J.E.G 2010. Aplicação dos métodos DRASTIC e POSH para a determinação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis-MT. *Rev. Bras. Rec. Hidr.*, **15**(2) 127-142.
- Demetrio J.G.A., Manoel Filho J., Lins N.T. de 1998. Projeto e Construção de Poços. *In: Feitosa F.A.C., Manoel Filho J., Feitosa E.C., Demetrio J.G.A. (eds) Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações*. CPRM- Serviço Geológico do Brasil, 3, p: 429-457.
- DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral 1983. *Mapa hidrogeológico do Brasil*. Escala 1:5.000.000. Brasília, DNPM/CPRM.
- DSG – DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO 1980. Brasília (DF): SC.21-Z-D-VI. Folha Santa Carmem, Mapa Topográfico, escala 1:1.000.000.
- DSG – DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO 1980. Brasília (DF): SC.21-Z-C-VI. Folha Sinop, Mapa Topográfico, escala 1:1.000.000.
- EARTH MANUAL. 1974. *A Water Resources Technical Publication - A guide to the use of soils as foundations and as construction materials for hydraulic structures*, 2 ed. Washington D.C, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 810 pp.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA ALGODÃO 2006(a). Sistemas de Produção: Cultivo do Algodão Irrigado. Disponível em [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrigado\\_2ed/solos.html](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrigado_2ed/solos.html). Acessado em: 18 Jul 2012.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA SOLOS 2006(b). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Embrapa Solos/Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 306 pp.
- Feitosa F.A.C., Manoel Filho J., Feitosa E.C., Demetrio J.G.A. (Eds.) 2008. *Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações*. CPRM- Serviço Geológico do Brasil, 3, LABHID, p:179-206.

- Feitosa E.C. & Feitosa F.A.C. 2008. Metodologia Básica de Pesquisa de Água Subterrânea. *In: Feitosa F.A.C., Manoel Filho J., Feitosa E.C., Demetrio J.G.A. (eds.) Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações.* CPRM- Serviço Geológico do Brasil, 3, p: 179-206.
- Feitosa E.C., Manoel Filho J., Costa W.D., Feitosa F.A.C., Demetrio J.G.A., França H.P.M. de 2008. Avaliação de Recursos Hídricos Subterrâneos. *In: Feitosa F.A.C., Manoel Filho J., Feitosa E.C., Demetrio J.G.A. (eds.) Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações.* CPRM- Serviço Geológico do Brasil, 3, p: 661-669.
- Fetter C.W. 1994. Applied Hydrogeology. Person Education International. New Jersey, 691 pp.
- Fiori, J.P.O. 2010. Avaliação de métodos de campo para a determinação de condutividade hidráulica em meios saturados e não saturados. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 107p.
- Foster S.S.D. & Hirata R. 1988. Groundwater pollution risk assessment a methodology using available data. Lima, WHOPAHO/HPE-CEPIS, Technical Manual.
- Foster S., Hirata R., Gomes D., D'Elia M., Paris M. 2006. *Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais.* Banco Mundial, Washington, 114 pp.
- França H.P.M. 2008. Eficiência hidráulica dos poços. *In: Feitosa F.A.C., Manoel Filho J., Feitosa E.C., Demetrio J.G.A. (eds.) Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações.* CPRM- Serviço Geológico do Brasil, 3, p: 599-616.
- Freeze R.A. & Cherry J.A. 1996. *Groundwater.* Prentice Hall, New York, 604 pp.
- Gaspar M.T.P. 2006. Sistema Aquífero Urucua: caracterização regional e propostas de gestão. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 148 p.
- Gaspar M.T.P. & Campos J.E.G. 2007. O Sistema Aquífero Urucua. *Rev.Bras.Geoc.*, **37**(4): 216-226.
- Ghignone J.I. 1980. Relatório da operação ou missão s/nº, de integração das folhas SD. 21 e SD. 22. Salvador, Projeto RADAMBRASIL, Relatório interno RADAMBRASIL, 4 p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2008. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/defaulttabpdf\\_abast\\_agua.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/defaulttabpdf_abast_agua.shtm). Acessado em 28 de out 2011.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2011. O Brasil município por município. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em 28 de out 2011.
- Isotta C.A.L., Carneiro J.M., Kato H.T., Barros R.J.L. 1978. *Projeto Província Estanífera de Rondônia - Relatório Final.* Porto Velho, Volume I, CPRM/DNPM, 407 p.
- Kux H.J.H., Brasil A.E., Franco M. de S.M. 1979. Geomorfologia. *In: Brasil. Folha Guaporé, SD. 20, Projeto Radambrasil, Levantamento de Recursos Naturais.* Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro, p.: 257-400.

- Lacerda Filho J.V., Abreu Filho W.A., Valente C.R., Oliveira C.C., Albuquerque M.C. 2004. *Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso* – Texto explicativo dos mapas geológicos e de recurso minerais do Estado de Mato Grosso - Escala 1:1.000.000. Goiânia, CPRM/SICME-MT, Volume I, 200 p.
- Mato Grosso 1997. Lei nº 6.945 de 05 de Novembro de 1997. Disponível em: <http://www.al.mt.gov.br>. Acessado em 25 jun. 2011.
- Mato Grosso 2004. Lei nº 8.097 de 24 de Março de 2004. Disponível em <http://www.al.mt.gov.br>. Acessado em 25 jun. 2011.
- Mato Grosso 2008. *Zoneamento Socioeconômico Ecológico de Mato Grosso - ZSEE*. Cuiabá, Secretaria de Estado de Planejamento/IOMAT, 302 p.
- Mato Grosso 2009. Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso. Disponível em <http://www.sema.mt.gov.br>. Acessado em 01 mar 2012.
- Mato Grosso 2011. Lei nº 9.612 de 12 de Setembro de 2011. Disponível em <http://www.al.mt.gov.br>. Acessado em 03 nov. 2011.
- Mato Grosso 2011. Resolução nº 44 de 11 de Outubro de 2011. Disponível em [www.sema.mt.gov.br](http://www.sema.mt.gov.br). Acessado em 03 nov. 2011
- Melo N.P. & Franco M.S.M. 1980. *Geologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra, Folha Juruena, SC. 21, Projeto Radambrasil, Levantamento de Recursos Naturais*. Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro, 456 pp.
- Migliorini R.B., Barros M.S.A., Apoetia L.F.M, Silva J.J.F. 2006. Diagnóstico preliminar das principais Províncias Hidrogeológicas do Estado de Mato Grosso: Uma proposta de mapa hidrogeológico de reconhecimento. In: Fernandes C.J & Viana R.R. (eds.) *Recursos Hídricos de Mato Grosso*. Coletânea Geológica de Mato Grosso, 3, EdUFMT, p.:37- 49.
- Montes-Lauar C.R., Pacca I.G., Melfi A.J., Piccirillo E.M., Bellieni G., Petrine R., Rizzieri R. 1994. *The Anari and Tapirapuã Jurassic formations, western Brazil: paleomagnetism, geochemistry and geochronology*. Earth and Planetary Science Letters, **128**:357-371.
- Oliveira E.P. de. 1915. *Geologia: reconhecimento geológico do noroeste de Mato Grosso, Expedição Científica Roosevelt-Rondon*. Rio de Janeiro, Brasil-Comissão de linhas telegráficas e estratégicas de Mato Grosso, Anexo 1, 82 p.
- Oliveira V.A., Amaral Filho Z.P., Vieira P.C. 1982. Pedologia. In: Brasil. Folha Cuiabá, SD. 21, Projeto Radambrasil, *Levantamento de Recursos Naturais*. Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro, p.: 257-400.
- Oliveira L.A. & Campos J.E.G. 2004. Parâmetros hidrogeológicos do Sistema Aquífero Bauru na região de Araguari/MG: fundamentos para a gestão do sistema de abastecimento de água. *Rev.Bras.Geoc.*, **34**(2): 213-218.
- Padilha A.V. 1974. *Projeto Centro-Oeste de Mato Grosso*. Relatório Final. Volume I. DNPM/CPRM, Goiânia.

- Pedreira A.J. & Bahia R.B.C. 2004. *Estratigrafia e Evolução da Bacia dos Parecis – Região Amazônica, Brasil* – Integração e síntese de dados dos projetos Alto Guaporé, Serra Azul, Serra do Roncador, Centro-Oeste de Mato Grosso e Sudeste de Rondônia. CPRM/MME, 52 p.
- Ribeiro Filho W. 1975. *Projeto Serra Azul – Reconhecimento Geológico*. Relatório Final. Goiânia, DNPM/CPRM, Volume I.
- Ribeiro L. & Mendes M.P. 2010. *Definições e critério de delimitação para as várias tipologias de área integrantes da REN*. Instituto Superior Técnico, 142 p.
- Ross J.L.S. & Santos L. M. 1982. Geomorfologia. *In: Brasil. Folha Cuiabá, SD. 21, Projeto RADAMBRASIL, Levantamento de Recursos Naturais*. Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro, p.: 193-256.
- Schobbenhaus Filho C. & Campos D.A. 1984. A evolução da plataforma Sul-Americana no Brasil e suas principais concentrações minerais. *In: Schobbenhaus Filho C., Campos D.A., Derze G.R., Asmus H.E. (eds.) Geologia do Brasil: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:250.000*. DNPM- Brasília, p.: 9-49.
- Silva C.H, Simões L.S.A., Ruiz A.S. 2003. Mineralizações de ouro em veios de quartzo no garimpo do Abdala, Baixada Cuiabana. *In: SBG, Simp. Geol. do Centro-Oeste, 8, Boletim de Resumos, p.72-73*.
- Silva A.J.P., Lopes R. C., Vasconcelos A.M., Bahia R.B.C. 2003. Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores. *In: Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H. 2003.(eds) Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Brasília, p. 55-85.
- Siqueira L.P. 1989. *Bacia dos Parecis*. Boletim de Geociências da Petrobrás. Rio de Janeiro, 3, 16 p.
- Siqueira L.P., Teixeira L.B. 1993. Bacia do Parecis: Nova Fronteira Exploratória da Petrobrás. *In: SBGeof., Cong. Inter. Soc. Brasileira de Geofísica, 1, Resumos Expandidos, p. 168-173*.
- Weska R.K. 2006. Uma síntese do cretáceo superior Mato-grossense. *UNESP, Geociências, 25(1): 71-81*.
- Zoby J.L.G., Matos B.A., Conejo J.G.L 2004. Disponibilidade de águas subterrâneas na bacia do Rio São Francisco. *In: XIII Cong. Bras. Águas Subterrâneas, 21 p*.