

Renato Blat Migliorini¹ & Annkarin Aurélia Kimmelman e Silva²

Resumo - Foram realizadas pesquisas hidrogeológicas nas regiões metropolitanas de Cuiabá e Várzea Grande, coletadas informações e levantados dados importantes para análise da hidrogeologia da região. Os procedimentos adotados e os principais resultados obtidos podem ser resumidos como se segue.

Depois de uma detalhada revisão bibliográfica dos estudos sobre a geologia do Grupo Cuiabá, e dada a inexistência de trabalhos geológicos de detalhe e semi-detalhe, necessários para um melhor conhecimento dos fatores condicionantes do armazenamento e fluxo das águas subterrâneas, realizamos um Mapeamento Geológico local na escala 1:25.000, visando especialmente à caracterização litológica e ao arranjo estrutural do substrato metamórfico de baixo grau, dos metassedimentos que compõem o Grupo Cuiabá. Pudemos individualizar duas formações geológicas que constituem nossa proposta para o Grupo Cuiabá na área estudada: a Formação Miguel Sutil e a Formação Rio Coxipó. O sistema aquífero na região de Cuiabá e Várzea Grande é livre, heterogêneo e anisotrópico. A matriz rochosa é praticamente impermeável, sendo as fraturas e fissuras os condutos de movimentação mais fácil para as águas subterrâneas. As melhores condições aquíferas encontram-se na litofácies argilo-areno-conglomerática da Formação Miguel Sutil e na litofácies metadiamicritos com matriz arenosa da Formação Rio Coxipó.

A partir da análise visual da imagem SPOT SX Bandas 1,2,3, área 2, na escala 1:40.000, de informações das atividades potencialmente poluidoras complementadas por trabalhos de campo, foi possível elaborar um Mapa de Uso e Ocupação do Solo, com o enfoque voltado para as águas subterrâneas.

¹ 1. Professor do Depto. De Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso – Av. Fernando Corrêa da Costa, s/n. Coxipó, Cuiabá-MT. Telefone: (0xx 65) 615-8720, Fax: (0xx65) 615-8721.

² 2. Professora da Universidade Cruzeiro do Sul, Av. Doutor Ussiel Cirilo, 225 São Paulo-SP. (0xx11)613-75730, Fax: (0xx)613-75700.

Utilizando dados de precipitação mensal, temperatura média mensal e anual, estimativas de evapotranspiração potencial e real para determinar a água armazenada no solo, excesso e deficiência hídrica, foi possível estimar o volume de recarga profunda para a região da Baixada Cuiabana. O valor que encontramos: aproximadamente 1.603.504.000 m³/ano, indica apenas uma ordem de grandeza e o método utilizado somente é válido para aquíferos livres.

Foi cadastrada uma parcela significativa dos poços tubulares da região em um banco de dados e realizado, a partir dos relatórios técnicos, um estudo das características dos poços e do aquífero.

Foi realizado um estudo da qualidade físico-química e bacteriológica das águas subterrâneas encontradas nos poços da região, tendo sido devidamente cadastrados os dados obtidos no banco de dados. Em geral as águas subterrâneas são de boa qualidade, com baixas concentrações dos principais parâmetros físico-químicos estudados, porém os parâmetros bacteriológicos (coli totais e/ou fecais), apresentam valores elevados, decorrentes de falhas no saneamento básico da região, aliadas a inadequadas técnicas construtivas dos poços tubulares e ao meio fraturado. Foram detectados também, alguns casos de concentração elevada de ferro, decorrentes da lixiviação do solo laterítico, característico do Grupo Cuiabá e pela presença de piratas disseminadas tanto nos filitos como nos metadiamicitos.

Foi apresentado um Modelo Hidrogeológico para a região estudada.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL:

O trabalho teve como objetivo geral, proporcionar aos usuários de águas subterrâneas, com base nos dados obtidos na pesquisa, informações técnicas que os auxiliem na elaboração e desenvolvimento de seus projetos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Localizar as melhores condições aquíferas do Grupo Cuiabá na região de Cuiabá e Várzea Grande, a partir de um Mapeamento Geológico na escala 1:25.000, visando especialmente a caracterização litológica e o arranjo estrutural;

Contribuir para o estudo das águas subterrâneas a partir da confecção de um Mapa de Uso e Ocupação do Solo com enfoque voltado para os recursos hídricos subterrâneos e uma estimativa do volume de recarga profunda para a região;

Caracterizar a situação dos sistemas produtores de abastecimento e o saneamento básico da área estudada;

Estudar as características dos poços e do aquífero, a partir dos relatórios técnicos dos poços tubulares;

Avaliar a qualidade físico-química e bacteriológica das águas subterrâneas encontradas nos poços tubulares.

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

METODOLOGIA

Os dados obtidos para a elaboração da Carta de Uso e Ocupação do Solo, foram realizados a partir da análise visual da imagem SPOT XS Bandas 1,2,3, área 2, na escala 1:40.000, cedidas pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEMA), de informações das atividades potencialmente poluidoras, também cedidas pela FEMA e complementadas por trabalhos de campo.

Durante a análise desta imagem foram observados os padrões de distribuição espacial, tamanho, cores, tonalidades e textura, para se detectar as diferentes formas de uso do solo. Os resultados obtidos foram ampliados para apresentação final na escala de 1:25.000.

RESULTADOS

Os resultados deste estudo foram apresentados na carta “Uso e Ocupação do Solo na Região de Cuiabá e Várzea Grande.

Pelo exame desta carta, verifica-se a tendência de ocupação urbana em Cuiabá, para direção nordeste, região do Centro Político Administrativo e na direção sudeste, ao longo da Rodovia Federal BR 364, região do Distrito Industrial de Cuiabá.

Verifica-se, também, que as áreas de solos expostos (áreas garimpadas, cavas de extração de areia e cascalho), são as que apresentam maiores evidências de processos erosivos.

Observa-se que a maior parte das cidades de Cuiabá e Várzea Grande, são desprovidas de rede de esgoto e que, alguns bairros, embora possuam rede de esgoto, não possuem estação de tratamento, sendo os efluentes despejados no rio mais próximo.

GEOLOGIA LOCAL

INTRODUÇÃO

Nesta etapa do trabalho elaboramos um mapa geológico na escala 1:25.000 da área urbana e periurbana das cidades de Cuiabá e Várzea Grande, compreendendo aproximadamente 584 Km². A complexidade geológica do terreno e a falta de trabalhos geológicos de detalhe ou semi-detalhe que permitissem uma melhor compreensão dos fatores condicionantes que atuam no armazenamento e fluxo das águas subterrâneas, exigiram a elaboração desta carta geológica, centrada especialmente na caracterização litológica e no arranjo estrutural do substrato metamórfico de baixo grau, dos metassedimentos que compõem o Grupo Cuiabá.

Sob o ponto de vista geotectônico a área mapeada situa-se no Domínio Tectônico Interno da Faixa de Dobramentos Paraguai, implantada às margens do Cráton Amazônico, durante o Ciclo Orogênico Brasileiro no Neoproterozóico (Almeida, 1.984). As principais contribuições ao avanço do conhecimento geológico desta porção da Faixa Paraguai, são representadas pelo mapeamento geológico na escala 1: 50.000, realizada pelo Projeto Coxipó (Luz et al 1.980) e, os trabalhos de cunho regional desenvolvidos por Barros et al (1982), Almeida (1.984, 1.985), Alvarenga (1.990), Alvarenga e Trompette (1.993).

GRUPO CUIABÁ

Esta unidade litoestratigráfica, descrita inicialmente por Evans (1.984) como Cuyiaba Slates, constitui, juntamente com os granitóides do tipo São Vicente, o Domínio Tectônico Interno do Cinturão de Dobramentos Paraguai. Esta unidade, caracterizada como um expressivo conjunto metassedimentar, constituído por metarenitos, metargilitos, metadiamicritos, metarcósios, filitos sericíticos, filitos carbonosos, além de formações ferríferas, calcários e margas, apresenta-se universalmente metamorfisada na fácies xisto-verde (Luz et al 1.980).

Na área pesquisada verificamos que o Grupo Cuiabá expõe-se sob a forma de uma anticlinal invertida com caimento para NE, definindo uma estruturação onde os contatos entre os diversos litotipos, as foliações plano axiais ao dobramentos e as falhas relacionadas às dobras, desenham uma orientação preferencialmente N30° – 40°E. A seguir, são descritas as litofácies, ou conjuntos litológicos, que correspondem a nossa proposta para o Grupo Cuiabá na área estudada:

FORMAÇÃO MIGUEL SUTIL

Esta unidade corresponde a Subunidade 5 do Projeto Coxipó (Luz et al 1.980), aflora praticamente em toda a porção central e norte das cidades de Cuiabá e Várzea Grande, mais especificamente no núcleo da anticlinal invertida que descreve o arcabouço estrutural desta região.

Com base nas estruturas sedimentares e na constituição litológica dominante, pudemos individualizar dois conjuntos faciológicos que correspondem às unidades de mapeamento representadas no mapa geológico da área, e que, a seguir, descrevemos com mais detalhes.

LITOFÁCIES PELÍTICA COM LAMINAÇÃO PLANO-PARALELA

Corresponde a metargilitos ou filitos de cor cinza esverdeada a marrom avermelhada, normalmente sericíticos, são freqüentes as laminações plano-paralelas centimétricas a milimétricas, indicadoras de mudança na granulometria ou composição dos sedimentos. Os metapelitos maciços são mais raros e ocorrem intercalados aos níveis laminados. São comuns, intercalações de camadas tabulares de arenitos finos a médios, de cor branca com tons róseos, principalmente quartzosos, em contatos abruptos com os pelitos laminados ou maciços. A espessura máxima destes pacotes arenosos não ultrapassa os 20cm e sua forma tabular, contínua e as estratificações plano paralelas sugerem uma mudança na intensidade do fluxo subaquoso em uma ampla área de abrangência.

LITOFÁCIES ARGILO-ARENO-CONGLOMERÁTICA

Esta unidade de mapeamento corresponde a seqüências cíclicas (ritmitos) granodecrescentes, que descrevem arranjos lenticulares principalmente segundo a direção N30°-40°E. Este conjunto faciológico, formado por lentes métricas a quilométricas, faz contato do tipo abrupto e irregular com a litofácies pelítica, sendo comuns fragmentos de filitos desta, aparecerem com constituintes de seus níveis conglomeráticos basais.

Cada conjunto exposto desta litofácies constitui-se por seqüências cíclicas granodecrescentes, compostas na base, por metaconglomerados oligomíticos quartzosos, com seixos e grânulos dominados por quartzos leitosos levemente arredondados em uma matriz de areia grossa a microconglomerática, também quartzosa. Bandas finas e irregulares, de um material caulínico, definem uma foliação principal nestas rochas, e sugerem a atuação de dissolução por pressão seguida pela neocristalização dos feldspatos ao longo dos planos de foliação.

Na porção intermediária de cada ciclo, dominam os arenitos quartzosos, algo feldspáticos, que gradam de areias grossas a médias até as porções de areia fina ou silte arenoso.

As estratificações plano-paralelas são as estruturas reliquias mais comuns, associadas, obviamente, a gradação normal decrescente. Em contato abrupto com a porção psamítica intermediária, completam o ciclo de ritmitos, os filitos sericíticos, laminados ou maciços, de cor cinza chumbo, cuja espessura não ultrapassa a 1 (um) metro.

Cada ciclo granodecrescente (conglomerado-arenito-argilito) apresenta espessura que varia entre 1 a 10 metros, e sua seção basal é definida por uma superfície irregular que sugere o processo de escavação e preenchimento, muito comuns às seqüências depositadas por correntes de turbidez em ambientes subaquosos. A estrutura interna de cada ciclo, em muitos casos, não apresenta a porção pelítica de topo, que pode ser o resultado da não deposição ou do processo de canibalismo das porções superiores de camadas mais antigas, pelos fluxos turbidíticos mais jovens. Esta possibilidade é reforçada pelo registro freqüente de intraclastos de filitos laminados e sericíticos, constituindo os conglomerados basais do ciclo turbidítico mais jovem.

FORMAÇÃO RIO COXIPÓ

Esta unidade, que corresponde a Subunidade 06 de Luz et al (1.980), sobrepõe-se à Formação Miguel Sutil através de contatos transicionais e tectônicos e aflora principalmente na porção sul das cidades de Cuiabá e Várzea Grande. Sob o ponto de vista do arranjo estrutural local, a sua exposição restringe-se ao flanco invertido da dobra anticlinal invertida com caimento para NE.

O mapeamento sistemático permitiu a individualização de duas associações litológicas principais: a dos metadiamicritos com matriz argilosa, maciços, com raras intercalações de areia fina a média e dos metadiamicritos, com matriz arenosa, intercalados a arenitos quartzosos grossos e médios, que passamos a descrever em detalhe.

METADIAMICTITOS COM MATRIZ ARGILOSA.

Este conjunto litológico predomina em volume e área de exposição, mantém contato por falhas inversas ou transicionais com a Formação Miguel Sutil e corresponde a metadiamicritos maciços, cinza esverdeado a amarelados, com matriz argilo-siltosa, micácea, em parte feldspática, que suporta fragmentos centimétricos a métricos, de

composição muito diversificada (granitos, xistos, quartzitos, anfibolitos, gnaisses, arenitos, filitos, quartzo, etc.) e formato prolato resultante do achatamento regional provocado pela deformação.

Uma marcante fissilidade, conferida principalmente pela foliação penetrativa do tipo xistosidade, caracteriza esses diamictitos de matriz argilo-siltosa.

Camadas tabulares e lentes de metarenitos quartzosos de granulação fina a média, de cor cinza esbranquiçada, com estratificação plano-paralela e maciços, ocorrem intercaladas aos metadiamictitos. Suas ocorrências são mais raras e estreitas, de 1 a 3 metros, em direção a porção sudoeste da área mapeada e, tornam-se mais comuns e espessas, acima de 50 metros, nas imediações da zona periclinal da anticlinal, setor NE da área estudada, onde definem um relevo de cristas alongadas segundo a direção nordeste.

METADIAMICTITOS COM MATRIZ ARENOSA

Esta associação litológica, que expõe-se apenas em raros cortes de estrada, ocorre principalmente na região do Parque Industrial e no Pascoal Ramos, em Cuiabá. O espesso manto laterítico desenvolvido nessa região impede o afloramento destes litotipos, dificultando a descrição das suas principais características.

Correspondem às porções de topo da Formação Rio Coxipó, e a geometria deste depósito ainda não foi caracterizada, embora haja indicações que sugerem um formato lenticular. A sua composição é dominada pelos metadiamictitos maciços, de matriz arenosa e mais raramente silto-argilosa, com clastos em maior quantidade do que observado nos metadiamictitos de matriz argilosa, e com dimensão e composição mais variadas. A matriz caracteriza-se como uma areia grossa a média, principalmente, de composição quartzosa. Os arenitos ocorrem sob a forma de camadas tabulares, de espessura variando entre 10 cm a 3 m, mostram contatos abruptos com os diamictitos, e são compostos preferencialmente por areias grossas a médias, quartzosas.

A RELAÇÃO ENTRE AS LITOLOGIAS E AS ESTRUTURAS GEOLÓGICAS, COM O CONTROLE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Procuramos a seguir estudar a contribuição entre as litologias e as estruturas geológicas, com o comportamento do armazenamento e circulação das águas subterrâneas.

FORMAÇÃO MIGUEL SUTIL

Nos metassedimentos da Formação Miguel Sutil nota-se uma diferença marcante na instalação de fraturas e veios de quartzo nas litofácies pelítica (com laminação plano paralela) e na litofácies argilo-areno-conglomerática, nas áreas urbanas de Cuiabá e Várzea Grande. Enquanto o primeiro apresenta uma baixa intensidade de fraturas e veios de quartzo, o segundo mostra-se extremamente diaclasado, com diferentes famílias de juntas e ricos veios de quartzo de várias gerações. Este quadro é resultado, principalmente, da diferença de comportamento mecânico das duas litofácies quando submetidos a ação dos esforços. Por um lado, enquanto a litofácies pelítica tende a apresentar um comportamento mais dúctil (foliação e dobras), por outro, a litofácies argilo-areno-conglomerática comporta-se de forma rúptil, ou seja, sofrem rupturas e deslocamentos das falhas. Como resultado, encontramos as melhores condições de armazenamento e circulação de água subterrânea na litofácies argilo-areno-conglomerática.

Um outro parâmetro que influencia a condutividade hidráulica refere-se à textura das rochas. A litofácies pelítica é rica em micas orientadas que definem sua foliação. Estas, por sua vez, dificultam a infiltração de água subterrânea. No entanto, a litofácies argilo-areno-conglomerática, especialmente as mais grosseiras, apresentam uma textura granular, o que resulta em uma maior porosidade e permeabilidade.

Não devemos esquecer também que a alteração da litofácies argilo-areno-conglomerática forma um solo arenoso muito propício à infiltração de águas pluviométricas, formando, desta maneira, excelentes áreas de recarga. Enquanto que, a alteração da litofácies pelítica forma um solo argiloso, laterizado e de pequena profundidade, que retém a infiltração das águas pluviométricas.

Os veios de quartzo desenvolvem-se principalmente nas litologias arenosas e conglomeráticas da Formação Miguel Sutil. São subverticais, perpendiculares as clivagens (S1 e S2) e auxiliam o processo de infiltração das águas subterrâneas nessas litologias.

Por estas razões a Litofácies Pelito-Areno-Conglomerática é a unidade que apresenta as melhores condições de armazenamento e circulação de águas subterrâneas dos metassedimentos da Formação Miguel Sutil.

FORMAÇÃO RIO COXIPÓ

Esta unidade esta representada na área por duas associações litológicas, os metadiamicritos de matriz argilosa com raras intercalações de areia fina a média e os

metadiamicctitos de matriz arenosa intercalados a arenitos médios a grossos. Pela análise litológica da Formação Rio Coxipó, observa-se que as melhores condições aquíferas estão localizadas na segunda associação, isto é, nos metadiamicctitos de matriz arenosa.

As principais superfícies de descontinuidades rochosas e os veios de quartzo do Grupo Cuiabá, na região estudada, relacionam-se às fases de dobramentos que afetaram a região.

Associado a primeira fase de dobramento, foi gerada a superfície de foliação, afetando todas as unidades com direção preferencial N40°–50°E e mergulho para 50° – 60°, principalmente para NW. Essas superfícies embora penetrativas, são fechadas e não facilitam a infiltração de água subterrânea.

Por outro lado às foliações S1 e S2 (clivagens de crenulação e disjuntivas), a primeira com direção N40°-50°E e mergulhos variáveis para SE e a outra é ortogonal a S1 e preferencialmente perpendiculares, são originadas por esforços cisalhantes, formando superfícies de descontinuidades ligeiramente abertas, o que facilita a percolação de água subterrânea. Essas superfícies de descontinuidades (clivagens) são melhor desenvolvidas nos metadiamicctitos e metargilitos, sendo provavelmente responsáveis pelas águas subterrâneas encontradas nestas litologias. É interessante observar que as intersecções dessas clivagens constituem setores mais propícios a infiltração e armazenamento da água subterrânea.

Os esforços trativos associados ao primeiro evento de dobramento (D1) são responsáveis pela implantação de fraturas trativas, conjugadas ou não, e veios de quartzo perpendiculares ao trend regional. Tal assembléia de fraturas e veios com atitude média N 40-50 W e mergulhos elevados (70-90), são concordantes a S3 e respondem pelo principal fraturamento regional. As diáclases ocorrem mais intensamente nos metadiamicctitos da Formação Rio Coxipó e nos metapelitos da Formação Miguel Sutil, enquanto os veios de quartzo são predominantes nos litofácies pelito-areno-conglomeráticos da Formação Miguel Sutil.

BALANÇO HÍDRICO

INTRODUÇÃO

O estudo do balanço hídrico teve como objetivo calcular a recarga subterrânea profunda para a região estudada.

O Rio Cuiabá pode ser dividido em 3 trechos que banham as seguintes localidades:

- 1) *Alto Cuiabá*: Rosário Oeste, Nobres, Nova Brasilândia, Campo Verde, Acorizal, Jangada e Chapada dos Guimarães;
- 2) *Médio Cuiabá*: Cuiabá, Várzea Grande, Nossa Senhora do Livramento e Santo Antônio do Leverger;
- 3) *Baixo Cuiabá*: Barão de Melgaço e Poconé.

METODOLOGIA

Embora o objetivo deste trabalho tenha sido estudar, prioritariamente, a área das Regiões Metropolitanas de Cuiabá e Várzea Grande, tornou-se necessário, para a caracterização do Balanço Hídrico, estudar também, como área de abrangência, o trecho Médio Cuiabá, região conhecida como “Baixada Cuiabana”, que compreende uma área deprimida entre a região dos planaltos da Província Serrana e o início da planície inundável (Pantanal).

É importante salientar que, os dados utilizados representam, apenas uma ordem de grandeza e não números absolutos. Este é um procedimento comum, em muitos estudos hidrológicos e hidrogeológicos.

Segundo a “Proposta de Enquadramento dos Principais Rios da Bacia do Rio Cuiabá” (1996), a área do trecho médio Cuiabá, da Bacia do Rio Cuiabá é de 14.096,00 Km².

As descargas médias mensais do trecho médio Cuiabá foram calculadas a partir dos dados coletados na Estação Rio Cuiabá-Porto / DNAEE – DNOS, no período de 1962 a 1983.

Os dados climatológicos utilizados no presente trabalho referem-se ao período de 1986 a 1998. Tais dados foram coletados na Estação Agroclimatológica Padre Ricardo Remetter. Esta Estação encontra-se localizada na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso, situada na área suburbana de Santo Antonio de Leverger – MT, a 3 km de sua área central.

O método utilizado foi desenvolvido por Thornthwaite (1955), que utiliza dados de precipitação mensal, temperatura média mensal e anual, e estimativas de evapotranspiração potencial e real, para determinar a água armazenada no solo, excesso e deficiência hídrica. Neste método, os valores da evapotranspiração potencial são obtidos pelo método de Thornthwaite (1948), que se baseia na temperatura do ar.

A capacidade de armazenamento de umidade no solo (CAD), é uma característica da vegetação e independe do tipo de solo (Tubellis & Nascimento, 1983). Para a região

estudada (Baixada Cuiabana), onde predomina a região do cerrado, foi utilizado o CAD de 150mm, já utilizado anteriormente por Campelo & Caseiro, 1989.

RESULTADO

Lembrando que este tipo de calculo nos indica apenas uma ordem de grandeza, e que é valido apenas para aquíferos livres, o estudo feito sugere que o volume de recarga profunda para a região da Baixada Cuiabana é de aproximadamente 1.603.504.000m³/ano.

POÇOS TUBULARES: ESTUDO DOS RELATÓRIOS TÉCNICOS

Nesta parte do trabalho apresentamos um estudo dos relatórios técnicos dos poços tubulares.

METODOLOGIA

Num primeiro momento deste estudo, foram realizadas várias visitas às Firms Perfuradoras de Poços Tubulares Profundos com o propósito de adquirir os relatórios técnicos.

Num segundo momento deste estudo, apresentamos um Banco de Dados (Programa ACCESS 2.0), realizado a partir dos relatórios técnicos dos poços tubulares profundos, contendo as seguintes informações:

- a) **Identificação dos poços tubulares profundos:** código do poço, município, bairro, local, proprietário, companhia perfuradora, ano de perfuração, observações;
- b) **Perfil geológico;**
- c) **Análises físico-químicas, químicas e bacteriológicas:** código do poço, data da coleta e análise, turbidez, cor, pH, alcalinidade (OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^-), CO_2 livre, dureza (total, permanente, temporária), nitrogênio amoniacal, nitrogênio de nitrito, fosfato, ferro, cálcio, cloreto, oxigênio consumido, coliforme total, coliforme fecal;
- d) **Características do aquífero e dos poços tubulares profundos:** código do poço, condição do aquífero, litologia, nível estático, nível dinâmico, rebaixamento, vazão, vazão específica e os parâmetros hidráulicos (transmissividade do condutor hidráulico, abertura média das fraturas, condutividade hidráulica, permeabilidade e porosidade do condutor hidráulico).
- e) **Características construtivas e coordenadas geográficas dos poços tubulares profundos:** código do poço, altitude, coordenadas geográficas (longitude e latitude), profundidade do poço, revestimento, diâmetro de perfuração.

Todos os poços tubulares profundos cadastrados foram plotados em um mapa das regiões metropolitanas de Cuiabá e Várzea Grande.

Nos poços que possuíam testes de bombeamento, os parâmetros hidráulicos do aquífero, ou melhor dizendo, do condutor hidráulico (conjunto poço-blocos-fendas associados), foram interpretados a partir do modelo de dimensão fractal para aquífero fissural proposto por Manoel Filho, 1996. Isto porque, os dados dos testes de bombeamento dos poços das regiões de Cuiabá e Várzea Grande encontrados nos arquivos das companhias perfuradoras, revelaram, na sua maior parte, que as vazões bombeadas não são constantes, chegando a apresentar diferenças muito grande entre a descarga inicial e a final do bombeamento, o que é comum ocorrer em poços perfurados em rochas fraturadas.

O tratamento e a interpretação dos dados obtidos através dos ensaios de bombeamento em meio fraturado pelo método de dimensão fractal podem ser feitos usando qualquer programa de análise matemática que inclua gráficos, polinômios, funções de estatística e métodos de ajuste de curvas (Manoel Filho, 1996). Neste trabalho foi utilizado o programa científico da Microsoft EXCEL 97.

RESULTADOS

Dos 400 poços tubulares profundos, construídos em 1964, 1968, e de 1973 a 1997 registrados no Banco de Dados e plotados em mapa, foram obtidos os seguintes resultados:

Os poços perfurados na região de Cuiabá e Várzea Grande são de pequeno porte, com profundidades em torno de 120 metros. São poços revestidos com tubos metálicos ou de plástico nas partes superiores, onde são encontradas rochas alteradas a semi alteradas, e sem revestimento nas partes mais profundas onde as rochas são duras e consolidadas. Nos poços onde o manto de alteração é mais espesso e contém água subterrânea, normalmente são colocados filtros acoplados aos revestimento para aumentar a produtividade dos poços. Poços totalmente revestidos são raros.

A profundidade do nível de saturação (nível estático), em sua grande maioria (88%), é inferior ou igual a 15 metros, o que indica águas subterrâneas pouco profundas.

O nível dinâmico dos poços apresentou uma grande oscilação, 89% das medidas entre 20 e 90 metros. Por esta razão, a oscilação do rebaixamento também foi grande, 86% oscilou entre 10 e 80 metros.

A vazão dos poços comportou-se de forma muito heterogênea, a grande maioria (70%), apresentou vazão menor ou igual a $15\text{m}^3/\text{h}$. Porém, a vazão média foi de $14\text{m}^3/\text{h}$,

para rebaixamento médio de 46m. Da mesma maneira, a capacidade específica também se comportou de forma heterogênea, onde 65% são inferiores ou iguais a $0,5\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$. Tal comportamento já era esperado, visto que o aquífero é fissurado, onde predomina o caráter aleatório do fraturamento e sua conseqüente imprevisibilidade. Devemos ressaltar que esses parâmetros foram calculados a partir de ensaios de bombeamento, servindo para fixar uma ordem de grandeza, porém, devemos manter algumas restrições. As observações de rebaixamento e recuperação dos níveis d'água foram feitas no próprio poço, os ensaios de bombeamento foram realizados com ar comprimido, o aquífero é fissurado, o que muitas vezes, não permite manter uma vazão constante durante todo o ensaio.

Com relação a produtividade de aquífero, torna-se necessário esclarecer que embora a produtividade de aquífero seja um indicador interessante, não permite concluir com segurança pois a capacidade específica de poços é um parâmetro temporal. Deve-se levar este fato em conta em qualquer inferência ou conclusão sobre estes resultados. Isto posto, o Grupo Cuiabá, na região de Cuiabá e Várzea Grande, possui produtividade de aquífero mais freqüente (54,7%) classificada como fraca a média, ou seja, as capacidades específicas permanecem no intervalo de 0,1 a $1\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$. Abaixo e acima desta faixa, existem 30% de poços com produtividade muito fraca, 12,9% de poços com produtividade média a elevada e 2,4% de poços com produtividade elevada.

Os parâmetros hidráulicos calculados a partir do modelo de dimensão fractal desenvolvido por Manoel Filho (1996), apresentaram variação muito grande no Grupo Cuiabá. Os testes revelaram que as transmissividades das fraturas variaram de $10^{-7}\text{m}^2/\text{s}$ a $10^{-3}\text{m}^2/\text{s}$, as aberturas médias das fraturas variaram de 0,07mm a 1,25mm, a condutividade hidráulica das fraturas variou de 0,051m/s a 0,084m/s, os valores de permeabilidade variaram de $0,008\text{m}^2/\text{s}$ a $2,6\text{m}^2/\text{s}$ e a porosidade variou de 0,000046% a 0,00098%.

A profundidade do manto de alteração é muito variável, desde a completa ausência até profundidades maiores de 100m. Porém, a grande maioria (90%) dos poços possui manto de alteração com profundidade menor de 50m. A média é de 20m, a moda de 20m e a mediana de 26m.

Verificou-se pelos Mapas Potenciométricos, que as águas subterrâneas fluem das regiões de topografia mais alta para as áreas de topografia mais baixa. Observou-se, também, que a principal área de recarga tem direção N 40-50 E, concordante com o *trend* regional e que, aparentemente, coincide com a zona de charneira da antiforme invertida.

QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E BACTERIOLÓGICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Parte dos dados fornecidos a seguir foram obtidos junto ao Laboratório da Estação de Tratamento de Água da Companhia de Saneamento do Estado de Mato Grosso (SANEMAT) e parte através de análises realizadas nos Laboratórios do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso (Laboratório de Análise Físico-Químicas e Laboratório de Microbiologia Sanitária).

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados os valores máximos permissíveis para o consumo humano (VMP) da Portaria N.º 36 / GM de janeiro de 1990 como norma padrão da potabilidade de águas destinadas ao consumo humano. Para os parâmetros que não estão limitados nesta portaria, (alcalinidades de OH, CO₃, HCO₃, O₂ consumido e N amoniacal) foram utilizados os VMP do Decreto Estadual N.º 12.486, de 20/10/79 (NTA 60).

Todos os parâmetros medidos foram analisados segundo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1985.

PROCEDIMENTOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA AS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS:

- a) A análise da turbidez foi efetuada em um turbidímetro B 250 da MICRONAL, Indústria Brasileira na SANEMAT e por um turbidímetro AP 1000 II da POLILAB na UFMT;
- b) Para a análise da cor foi efetuada a leitura no equipamento Água Tester da HELLIGE, Indústria Brasileira na SANEMAT e pelo Aqua Nessler NA 1000 da POLILAB na UFMT;
- c) Para a análise do pH foi efetuada a leitura diretamente no pH-metro da MICRONAL, Indústria Brasileira na SANEMAT e pelo pH-metro DIGIMED DM 20 na UFMT;

O mesmo método foi utilizado para as medidas abaixo:

- d) Para medir a alcalinidade foi utilizado a titulação com H₂SO₄, 0,02 N;
- e) O CO₂ livre foi determinado graficamente; com base nos valores da alcalinidade total e pH;
- f) Para medir a dureza (total, permanente e temporária), foi utilizado o Método de titulação com EDTA, 0,01 N;

- g) Para medir o nitrogênio amoniacal foi utilizado o método de Nessler. O equipamento utilizado foi: Água Tester da HELLIGE, Indústria Brasileira;
- h) Para medir o nitrogênio de nitrito foi utilizado o Método da Sulfanilamida. O equipamento utilizado foi um Espectrofotômetro B 280 da MICRONAL, Indústria Brasileira;
- i) O ferro foi determinado pelo Método da Fenantrolina. O equipamento utilizado foi um Espectrofotômetro B 280 da MICRONAL, Indústria Brasileira;
- j) O cálcio foi determinado pelo Método EDTA (titulação com EDTA 0,01 N);
- k) O cloreto foi determinado pelo Método de MHOR (titulação com AgNO_3 0,0141 N);
- l) O oxigênio consumido foi determinado pelo Método da Oxidação com Permanganato de Potássio (titulação com permanganato de potássio 0.0125 N).

PROCEDIMENTOS PARA AS ANÁLISES BACTERIOLÓGICAS:

Os coliformes fecais e coliformes totais foram detectados pelas análises bacteriológicas. As metodologias utilizadas foram a técnica dos tubos múltiplos na SANEMAT e a técnica da membrana filtrante na UFMT.

Os equipamentos utilizados foram:

- Sistema de filtração Millipore (UFMT);
- Autoclave (temperatura de 121°C , pressão de vapor de 15 libras por polegada quadrada) da SOC. FABBE Ltda, modelo 105 (SANEMAT);
- Estufa de esterilização e secagem (170 a 180°C) da FANEM Ltda;
- Incubadora bacteriológica (35°C);
- Banho-maria com agitação ($44,5^\circ \text{C}$) da ÉTICA;
- Destilador de água da PERMUTION;
- Medidor de pH (precisão de 0,1 unidade de pH) da MICRONAL;

RESULTADOS

Dos resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas das águas subterrâneas de 188 poços, verificou-se que, 106 poços (56%) estão fora dos Valores Máximos Permissíveis para o Consumo Humano (VMP) e 82 poços (44%) mostram-se potáveis de acordo com a Portaria Nº 36, de 19 de Janeiro de 1990. Os parâmetros que mais se encontraram fora do VMP foram: coliformes (totais e fecais), ferro, cor e turbidez.

Com relação às análises físico-químicas, a turbidez, a cor e o ferro, encontraram-se, em várias amostras, com concentrações superiores aos Valores Máximos Permissíveis ao Consumo Humano. No geral, grande parte das amostras apresentou concentração

elevada de Fe, embora abaixo dos Valores Máximos Permitidos ao Consumo Humano. Este fator deve-se ao solo laterítico típico do Grupo Cuiabá e da ocorrência de piratas disseminadas tanto nos filitos como nos metadiamicritos Sabemos que o ferro proporciona gosto, turbidez e cor à água e é essencial ao homem em baixas concentrações. Assim, os valores elevados da cor e turbidez podem ser explicados pela alta concentração de ferro nessas águas e pelos poços mal desenvolvidos.

Com relação às análises bacteriológicas, de acordo com a mesma Portaria, 53 amostras não se mostraram potáveis. Isto se deve aos problemas de saneamento básico da região, a inadequadas técnicas construtivas dos poços tubulares profundos e ao meio fissurado

Também devemos ressaltar que, quando as bactérias e vírus são transportados com a água subterrânea no meio poroso, elas são removidas por filtração e adsorção, sendo assim, relativamente imóveis em meio poroso, penetrando pequenas distâncias. Porém, no meio fraturado, que é o caso do Grupo Cuiabá, as distâncias alcançadas podem ser muito grandes. Esse problema é muito preocupante, haja visto a situação do saneamento básico na região, onde encontramos córregos funcionando como canais de esgoto “*in natura*” e grande quantidade de fossas sépticas.

RESUMINDO:

Em geral, as águas subterrâneas do Grupo Cuiabá na região estudada são de boa qualidade, com baixas concentrações dos principais parâmetros físico-químicos estudados, porém os parâmetros bacteriológicos apresentam valores elevados.

Os resultados das análises físico-químicas denotam teores elevados de Ferro (Fe^{+2}), cor e turbidez nas águas subterrâneas. As concentrações elevadas de ferro são decorrentes da lixiviação do solo laterítico e das piratas disseminadas tanto nos filitos como nos metadiamicritos. As concentrações elevadas de cor e turbidez podem ser explicadas pela alta concentração de ferro nestas águas aliadas aos poços mal construídos.

Embora encontram-se poços com concentrações relativamente altas de alcalinidade de bicarbonato, somente 9,3% estavam acima dos Valores Máximos Permissíveis para o Consumo Humano.

As análises bacteriológicas das águas subterrâneas mostram elevada concentração de coliformes totais e fecais, devido aos problemas de saneamento básico da região (grande quantidade de fossas sépticas, sumidouros e córregos contaminados), aliadas ao meio fraturado e as inadequadas técnicas construtivas dos poços tubulares profundos.

MODELO HIDROGEOLÓGICO

O sistema aquífero na região de Cuiabá e Várzea Grande é do tipo livre heterogêneo e anisotrópico, com intensa variação lateral e em profundidade. A matriz do corpo rochoso é caracterizada pela inexistência e/ou presença reduzida de espaços intergranulares. A água subterrânea encontra-se, preferencialmente, nas descontinuidades das rochas como fraturas, fissuras, diáclases e outras, isto é, nas porosidades secundárias. A trama e intensidade destas descontinuidades definem o potencial do aquífero. As rochas com este tipo de armazenamento e circulação de águas subterrâneas em hidrogeologia são conhecidas como aquíferos fissurais.

Na área estudada, os valores de condutividade hidráulica variam muito de um lugar para outro, assumindo comportamento aleatório. Há variações extremas de litologia e estrutura. Dessa maneira, o caráter aleatório das fraturas, associadas às zonas produtoras de água subterrânea localizadas em pontos preferenciais, proporcionam ao Grupo Cuiabá a ocorrência de zonas aquíferas.

De uma forma geral, pode-se separar dois domínios hidrogeológicos. Um é o domínio da Formação Miguel Sutil, que ocupa praticamente toda a porção central e norte das cidades de Cuiabá e Várzea Grande. O outro domínio é o da Formação Rio Coxipó, que ocupa principalmente a porção sul da região estudada. No primeiro domínio, a litofácies argilo-areno-conglomerática apresenta as melhores condições aquíferas e, no segundo domínio, os metadiamiclitos com matriz arenosa apresentam as melhores condições aquíferas. Convém destacar que outras áreas podem apresentar, também, poços com elevadas vazões, uma vez que este aquífero é muito anisotrópico e heterogêneo e a produtividade dos poços esta muito relacionada às condições locais da permeabilidade do manto de alteração e do tipo e grau de fraturamento.

A produtividade das zonas aquíferas dependerá das características do manto de alteração e do grau de fraturamento das rochas. As melhores situações são aquelas com um manto de alteração predominantemente arenoso, com grande espessura, sobreposto a rochas com elevado grau de fraturamento. Situações intermediárias e em diferentes proporções poderão ser encontradas na área de estudo.

Infelizmente não há informações sobre a profundidade dos fraturamentos das rochas (entradas d'águas principais). As informações sobre a profundidade dos fraturamentos seriam importantes para a definição da profundidade dos poços tubulares perfurados no Grupo Cuiabá.

A principal zona de recarga na região coincide com as áreas de afloramento da litofácies argilo-areno-conglomerática na Formação Miguel Sutil e a segunda com os Metadiamicctitos de matriz arenosa, na Formação Rio Coxipó. Neste, as melhores áreas de recarga, encontram-se nos solos Podzólico Vermelho-Amarelo de textura média arenosa, conhecidos na região como areia de goma. As descargas são realizadas através de fraturas e falhas geológicas existentes na região. Por estas estruturas, as águas migram para áreas de topografia mais baixa, dando origem a pequenos córregos e áreas alagadiças, muito comuns na região.

As zonas aquíferas do Grupo Cuiabá na região estudada, apresentam grau de vulnerabilidade geralmente alta à poluição das águas subterrâneas. O manto de alteração aliado às fraturas das rochas apresentam-se normalmente vulneráveis à infiltração de poluentes, principalmente por coliformes. Nas áreas onde a espessura da zona não saturada é maior, o aquífero tem maior poder de auto depuração e nas áreas onde o nível d'água é raso, a vulnerabilidade à contaminação aumenta.

CONCLUSÕES

As zonas aquíferas da região de Cuiabá e Várzea Grande são livres, heterogêneas e anisotrópicas.

Na Formação Miguel Sutil, as melhores condições de armazenamento e circulação de água subterrânea localiza-se na Litofácies argilo-areno-conglomerática. Na formação Rio Coxipó, as melhores condições aquíferas localizam-se nos Metadiamicctitos de matriz arenosa. Verificou-se pelos Mapas Potenciométricos que as águas subterrâneas tendem a fluir das regiões de topografia mais alta para as regiões de topografia mais baixa. Observou-se, também, que a principal área de recarga tem direção N 40-5- E, concordante com o *trend* regional e que, aparentemente, coincide com a zona de charneira da antiforme invertida.

A situação sanitária da região estudada é precária, apresentando muitas falhas que podem provocar a contaminação das águas subterrâneas e superficiais.

As águas subterrâneas do Grupo Cuiabá na região estudada são normalmente de boa qualidade, com baixas concentrações dos principais parâmetros físico-químicos estudados, porém os parâmetros bacteriológicos apresentam concentrações elevadas. Os resultados das análises físico-químicas mostraram teores acima dos Valores Máximos Permissíveis para o Consumo Humano de Ferro (Fe^{+3}), cor e turbidez nas águas subterrâneas. As concentrações elevadas de ferro são decorrentes da lixiviação do solo laterítico e da ocorrência de piratas disseminadas tanto nos filitos como nos

metadiamicititos. As concentrações elevadas de cor e turbidez podem ser explicadas pela alta concentração de ferro nestas águas, aliados aos poços mal construídos. As análises bacteriológicas das águas subterrâneas mostram elevada concentração de coliformes totais e fecais, devido aos problemas de saneamento básico da região (grande quantidade de fossas sépticas, sumidouros e córregos contaminados), aliados ao meio fraturado e às inadequadas técnicas construtivas dos poços tubulares profundos. Embora encontra-se poços com concentrações relativamente altas de alcalinidade de bicarbonato, somente 9,3% estavam acima dos Valores Máximos Permissíveis para o Consumo Humano.

Lembrando que o cálculo utilizado para a recarga profunda da região nos indica apenas uma ordem de grandeza, e que é válido apenas para aquíferos livres, o estudo feito sugere que o volume de recarga profunda para a região da Baixada Cuiabana é de aproximadamente $1,6 \times 10^9 \text{ m}^3 / \text{ano}$.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F. F. M. de. (1984) A Província Tocantins - Setor Sudeste. In: ALMEIDA, F. F. M. de. Y. Coords. *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo, Edgard Blücher, p.265 - 281.
- ALMEIDA, F. F. M. de. (1985) Alguns Problemas das relações geológicas entre o cráton amazônico e as faixas de dobramentos marginais a leste. *Anais do 2º. Simpósio de Geologia do Centro-Oeste*. Goiânia, Ata. NCO / SBG, 1985, p. 03 - 14.
- ALVARENGA, C. J. S. de. CATHELINÉAU, M. & DUBESSY, J. (1990) Chronology and orientation of N₂ - CH₄ CO₂ - H₂O, and H₂O - Rich fluid-inclusion trails in intrametamorphic quartz veins from the Cuiabá gold district, Brazil. *Mineralogical Magazine*. vol. 54, p. 245 -255, June, .
- ALVARENGA, C. J. S. de. & TROMPETTE, R. (1993) Evolução Tectônica Brasileira da Faixa Paraguai: a estruturação da Região de Cuiabá. *Revista Brasileira de Geociências*. v. 23, p. 18-30.
- BARROS, A. M.; SILVA, R. M.; CARDOSO, O. R. F.A.; FREIRE, F. A.; SOUZA, J. J. Jr.; RIVETTI, M.; LUZ, D. S.; PALMEIRA, R. C. B.; TASSINARI, C. C. G. (1982) Geologia, In: *Radambrasil*, Folha SD-21 Cuiabá, Rio de Janeiro, MME – SG, (Levantamento de Recursos Naturais), Vol. 26, p. 25 – 192.
- EVANS, J. W. (1894) *The Geology of Mato Grosso (Particularly the region drained by the upper Paraguay)*; Quart. Journal Soc. London, Londres, 50 (2): 85 - 104, .

- FEMA – PNMA (1996) – *Proposta de Enquadramento dos Principais Corpos D'Água da Bacia do Rio Cuiabá*.
- LUZ, J. da S.; OLIVEIRA, A. M.; SOUZA, J. O.; MOTTA, J. F. M.; TANNO, L. C.; CARMO, L. S. do & SOUZA, N. B. (1980). *Projeto Coxipó*. Goiânia, DNPM/CPRM, v. 1. 136 p. (Relatório Final).
- MANOEL FILHO, J. (1996). *Desenvolvimento e Aplicação de Modelo de Dimensão Fractal para Análise de Testes de Produção de Poços em Meio Fissural*. São Paulo, 197 p. (Tese de Doutorado / Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. (1985). APHA, AWWA, WPCF, 16 th ed., Port City Press, Baltimore, 770p.