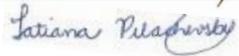


PROJETO BÁSICO AMBIENTAL UHE TELES PIRES

P.09 - PROGRAMA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Relatório Consolidado

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL PELO DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES DO PROGRAMA			
INTEGRANTES	CONSELHO DE CLASSE	CTF IBAMA	ASSINATURA
Luciana Cabral Nunes Geóloga, MSc.	CREA- 50629926484	5287039	
Afonso E. de Vasconcelos Lopes Geofísico, DSc.	-	5286995	
Tatiana Pilachevsky Geógrafa, MSc.	CREA- 5064021791	5531743	

LC
AF

Junho-2014

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	01
1.1 OBJETIVOS	02
2 METODOLOGIA	02
2.1 MÉTODOS DE CAMPO	02
2.2 INTALAÇÃO DOS PIEZÔMETROS	04
2.2.1 Sondagem	05
2.2.2 Ensaio de Infiltração	05
2.3 AMBIENTES AMOSTRAIS	06
2.3.1 Poços de monitoramento	06
2.3.2 Piezômetros	11
2.4 COLETAS DE AMOSTRAS DE ÁGUA	12
2.5 EXECUÇÃO DAS LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA	13
2.6 MODELAGEM DO SOERGIMENTO DO LENÇOL FREÁTICO	13
2.6.1 Condições de contorno	15
2.6.2 Condições de contorno temporais	18
2.6.3 Condições de contorno para o AHE Teles Pires	19
3 CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DA UHE TELES PIRES	20
3.1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	20
3.2 GEOLOGIA LOCAL	24
3.3 DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS DA BACIA DO RIO TELES PIRES	27
3.4 CARACTERIZAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1 VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS DE CAMPO	32
4.2 VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS DE LABORATÓRIO	36

4.3 COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA COM DADOS DO PROGRAMA HIDROSEDIMENTOLÓGICO	47
4.4 LEITURAS DOS NÍVEIS D'ÁGUA	48
4.4.1 Leituras de nível d'água nos piezômetros	49
4.5 MODELAGEM REGIONAL DO SOERGUMENTO DO LENÇOL FREÁTICO	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
REFERÊNCIAS	63

ANEXOS

ANEXO 1. RELATÓRIO PROGRAMA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
CONAGUA

ANEXO 2. INSTALAÇÃO DOS PIEZÔMETROS

ANEXO 3. RELATÓRIO DO PROGNÓSTICO DE ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO NO
AHE TELES PIRES

Handwritten initials

LISTA DE SIGLAS

AID – Área de Influência Direta

All – Área de Influência Indireta

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

COHID – Coordenação de Energia, Hidrelétricas e Transposições

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DILIC – Divisão de Licenciamento do IBAMA

EIA – Estudos de Impacto Ambiental

EPE – Empresa de Companhia Energética

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

NBR – Norma Brasileira

PBA – Plano Básico Ambiental

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

UHE – Usina Hidrelétrica

PZ – Poço Piezométrico

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório refere-se ao P-09 - Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas e visa apresentar um panorama geral do monitoramento e dos resultados alcançados durante o período de abril de 2012 a maio de 2014.

O Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas foi proposto no Estudo de Impacto Ambiental - EIA da Usina Hidrelétrica Teles Pires – UHE Teles Pires (EPE/LEME-CONCREMAT, 2010), tendo sido referendado como condição de validade da Licença Prévia Nº 386/2010, concedida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. O presente Programa também segue os itens h e i das exigências relativas aos Programas do Meio Físico do Ofício No1203/2010/DILIC/IBAMA de 13 de dezembro de 2010, além das recomendações apresentadas no item 9.6.1 do Parecer Técnico Nº111/2010/COHID/CGENE/DILIC/IBAMA, de 10 de dezembro de 2010.

No período em estudo foram avaliados pela empresa **CONAGUA AMBIENTAL** quatro (4) poços de monitoramento através de análises físico-químicas e microbiológicas, e 15 piezômetros, por meio de avaliação do nível da água, todos situados na área de influência da UHE Teles Pires, localizada no município de Paranaíta, no estado do Mato Grosso.

Para complementar foi realizada a caracterização geológico-geotécnica da área de entorno do reservatório da UHE Teles Pires e a modelagem do soerguimento do lençol freático decorrente do enchimento do reservatório. Essas atividades, juntamente com a consolidação das informações deste Programa Ambiental, foram realizadas pela empresa **VERACRUZ**.

Dessa forma, os resultados do Programa poderão fornecer dados e subsídios para a adoção de medidas preventivas, mitigadoras e/ou corretivas aos problemas surgidos na vegetação, na estabilidade geotécnica das encostas, além daqueles relacionados à quantidade e qualidade da água subterrânea.

As metas principais do Programa são as seguintes:

- Verificar as condições dos poços existentes para monitoramento da qualidade da água;
- Caracterizar a qualidade das águas subterrâneas por meio da determinação de parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos;
- Comparar os resultados dos parâmetros analisados com aqueles propostos pela Resolução CONAMA Nº 396/08 e Portaria Nº 2.914/11 do Ministério da Saúde, conforme enquadramento das águas subterrâneas e de acordo com usos preponderantes;
- Efetuar o monitoramento do nível do lençol freático antes, durante e após o enchimento do reservatório;
- Monitorar as variações sazonais da qualidade e nível das águas subterrâneas.

1.1 OBJETIVOS

O Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas tem por objetivo monitorar o nível freático dos aquíferos livres, de forma a avaliar as variações na borda do reservatório e a jusante deste, antes, durante e após o enchimento. São monitoradas também possíveis alterações nos padrões de qualidade das águas subterrâneas, notadamente em locais de utilização desse recurso pela população local.

2 METODOLOGIA

2.1 MÉTODOS DE CAMPO

Na AID e proximidades foram identificadas apenas cacimbas ou cisternas, implantadas por meio de escavação manual, com diâmetro entre 0,90 m e 1,20 m e profundidade média de 15 m. No **Quadro 1** são apresentadas informações acerca desses quatro (4) poços existentes na AID (área de influência direta) e proximidades, utilizados no presente estudo e apresentados no **ANEXO 1**.

Quadro 1. Localização dos pontos para monitoramento da qualidade da água sem necessidade de sondagem devido à utilização de poços existentes (PM 1 a PM 4).

PONTO	REFERÊNCIA EIA	COORDENADAS UTM e COORDENADAS GEOGRÁFICAS		OBSERVAÇÕES
PM 01	Poço 2 (EIA - AID)	538.163E (56° 39' 9" W)	8.925.444N (9° 43' 16" S)	Cisterna em lote do Assentamento Rural São Pedro, próximo à área de remanso do futuro reservatório na calha do rio Paranaíta, a cerca de 2,5 km da margem esquerda deste rio.
PM 02	Ponto 3 (EIA - AII)	530.725E (56°40'41" W)	8.946.507N (9°24'23" S)	Cisterna perfurada no saprólito, próximo à margem esquerda do rio Paranaíta.
PM 03	Fazenda Pontal do Paranaíta (sede), montante do Ponto 4 (EIAAII)	535.335E (56°40'71" W)	8.960.192N (9°24'41" S)	Próximo a aflente da margem esquerda do rio Teles Pires, na sede da Fazenda Pontal do Paranaíta.
PM 04	Balsa Cajueiro, jusante do Poço 1 (EIA -AID)	555.785E (56°29'53" W)	8.954.736N (9° 27'3 9" S)	Localizado próximo à balsa do Cajueiro, na margem esquerda do rio Teles Pires

Nas proximidades do reservatório estão localizados os 15 poços de observação simples, situados principalmente em aquíferos porosos rasos/freáticos que começaram a ser monitorados a partir de janeiro de 2013. Esses pontos de observação foram previamente escolhidos devido à sua localização em áreas com potencial de alta susceptibilidade à instabilização de encostas marginais do reservatório e áreas onde poderão ocorrer maiores elevações do nível d'água em função da topografia. No **Quadro 2** é apresentada a localização de todos os pontos de observação de nível d'água, identificados como PZ 01 a PZ 15.

Quadro 2. Localização dos pontos de monitoramento do nível d’água (PZ).

PZ	COORDENADAS UTM		OBSERVAÇÕES
PZ 01	540.486,8 E	8.925.552,1 N	Próximo ao poço existente – PM 01
PZ 02	538.766,4 E	8.937.401,2 N	Margem esquerda do rio Paranaíta
PZ 03	531.308,5 E	8.946.415,9 N	Próximo ao poço existente – PM 02
PZ 04	529.320,1 E	8.958.057,9 N	Próximo à foz do rio Paranaíta, na margem esquerda do rio Teles Pires
PZ 05	535.380,8 E	8.960.691,2 N	Próximo ao poço existente – PM 03 (Fazenda Pontal do Paranaíta)
PZ 06	524.765	8.967.915	Margem direita - Central de Concreto
PZ 07	542956,9 E	8963762,3 N	Margem direita do rio Teles Pires
PZ 08	551206,9 E	8959089,3 N	Margem direita do rio Teles Pires, entre ilhas Dinorá e Itá e próximo a áreas de garimpo
PZ 09	557.456	8.931.699	Estacionamento Escritório Paranaíta
PZ 10	547.848,3E	8.962.796,5N	Próximo a área de garimpo
PZ 11	548.868,1E	8.957.069,9N	Próximo a área de garimpo
PZ 12	556.157,1E	8.954.445,3N	Próximo a área de garimpo e poço existente – PM 04 (Fazenda Santo Agostinho)
PZ 13	562.222,3E	8.953.793,3N	Margem direita do rio Teles Pires, entre ilhas Leia e Lucia e próximo a áreas de garimpo
PZ 14	567.858,5E	8.953.528,6N	Próximo a áreas agrícolas
PZ 15	569.973,3E	8.947.831,9N	Próximo a área de garimpo

Esses pontos de monitoramento do nível d’água estão distribuídos ao longo de todo o eixo do reservatório, tanto ao longo do rio Teles Pires, do rio Paranaíta e afluentes, como a montante e jusante da barragem, a fim de avaliar o comportamento da superfície potenciométrica.

A **Figura 1** apresenta a localização e distribuição dos piezômetros ao longo da área monitorada na UHE Teles Pires.



Figura 1. Rede de monitoramento dos piezômetros na UHE Teles Pires. Fonte: Google®.

2.2 INSTALAÇÃO DOS PIEZÔMETROS

A determinação do nível do lençol freático por meio de piezômetros tem como principal vantagem o fato de ser de fácil montagem e de rápida execução. A confecção e a instalação de piezômetros requerem basicamente:

- revestimento PVC (nesta obra utilizou-se tubos com diâmetro de 2”);
- areia média lavada para a execução do filtro (pré-filtro);
- bentonita para a realização do selo;
- trado para a execução dos furos de sondagem.

Antes de iniciar a instalação do piezômetro, é necessário preparar o revestimento PVC utilizado para a montagem do poço. Já com seu comprimento estabelecido por prévios estudos da posição da linha freática com os filtros posicionados para a passagem de água, com as ranhuras apenas na parte inferior, na existência de mais de um aquífero subterrâneo separados por solo impermeável, o piezômetro marcará o nível d’água de acordo com o aquífero em que a sua ponteira for posicionada. Após a preparação do cano PVC, executa-se um furo de

sondagem até alcançar a profundidade desejada num diâmetro que possibilite a instalação do tubo. Atingida a profundidade, coloca-se na parte inferior do furo uma pequena camada de areia média lavada, apoiando sobre essa camada o tubo já montado. Com o tubo instalado dentro do furo, inicia-se o preenchimento entre o cano e a parede do furo. Primeiro, coloca-se uma camada de areia média lavada que servirá como pré-filtro. O preenchimento do furo prossegue com a execução do selo de bentonita, que terá espessura suficiente para estabilizar o cano instalado. Completa-se o furo com material de preenchimento, utilizando, para isso, o solo escavado.

2.2.1 Sondagem

Para execução dos furos de sondagens foi utilizado o método a Percussão, através de lavagem por trépano, conforme as normas e padrões brasileiros, estabelecidos pela NBR/ABNT, NBR 6484.

A sondagem a percussão (STP) é um ensaio de penetração padronizado, usado em geotécnica com o propósito de se obter índices de resistência à penetração do solo e também é comumente utilizado para execução de furos onde o terreno não permite o avanço com o Trado Manual. Os princípios gerais para a execução de sondagens a percussão são:

1. Todo equipamento e suas dimensões seguem especificações internacionais contidas na NBR-6484/90.
2. Para o revestimento utilizou-se tubo de 2 1/2", com indicação da profundidade em cada perfil individual de sondagem.
3. O processo da coleta de amostras do solo consiste da cravação de um amostrador padrão de 2" e 1 3/8" de diâmetros externo e interno, respectivamente, por meio de golpes de um martelo, com peso de 65 kg, caindo de uma altura de 75 cm.

2.2.2 Ensaio de Infiltração

Este ensaio consta de dois reservatórios onde os níveis de água são mantidos constantes. Mantida a carga h , durante um certo tempo, a água percolada é colhida e o seu volume é medido. Conhecidas a vazão e as dimensões do corpo de prova (comprimento L e a área da seção transversal A), calcula-se o valor da permeabilidade, k , através da equação:

$$k = \frac{qL}{Aht}$$

Onde:

q - é a quantidade de água medida na proveta (cm^3);

L - é o comprimento da amostra medido no sentido do fluxo (cm);

A - área da seção transversal da amostra (cm^2);

h - diferença do nível entre o reservatório superior e o inferior (cm);

t - é o tempo medido entre o início e o fim do ensaio (s);

Os detalhes da instalação dos piezômetros, bem como a metodologia de sondagem e os ensaios de infiltração são apresentados no **ANEXO 2**.

2.3 AMBIENTES AMOSTRAIS

Seguem descrição e ilustrações dos 4 (quatro) poços já definidos como pontos de monitoramento da qualidade da água e identificados como PM, e alguns registros fotográficos da medição de NA nos piezômetros monitorados.

2.3.1 Poços de monitoramento

O ponto PM 01 corresponde a uma cisterna e localiza-se em lote do Assentamento Rural São Pedro, próximo à área de remanso do futuro reservatório, a cerca de 2,5 km da margem esquerda do rio Paranaíta. Apesar de estar localizado fora da AID do empreendimento e distante do reservatório, o monitoramento deste poço segue determinação (item i das determinações relativas aos Programas do Meio Físico) disposta no Ofício N° 1203/2010/DILIC/IBAMA, de 13 de dezembro de 2010. A retirada da água e medição de nível no poço PM01 estão apresentadas na **Figura 2**.

P. 09 – Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas



Figura 2. Poço de Monitoramento 01 (PM 01).

O ponto PM 02 localiza-se próximo à intersecção da MT 206 com o rio Paranaíta, em área da propriedade Estância Rio Paranaíta. A **Figura 3** ilustra a coleta realizada no poço PM02, no qual a água é retirada da mangueira ligada ao poço.

P. 09 – Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas



Figura 3. Poço de Monitoramento 02 (PM 02).

O ponto PM 03 localiza-se na sede da Fazenda Pontal do Paranaíta, próximo ao afluente da margem esquerda do rio Teles Pires. A **Figura 4** mostra os trabalhos de campo no poço PM03.

P. 09 – Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas



Figura 4. Poço de Monitoramento 03 (PM 03).

O ponto PM 04 localiza-se próximo à balsa do Cajueiro, na margem esquerda do rio Teles Pires. A **Figura 5** apresenta o registro de coletas realizadas no poço PM04.

P. 09 – Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas



Figura 5. Poço de Monitoramento 04 (PM 04).

2.3.2 Piezômetros

A seguir estão apresentados registros fotográficos das leituras de nível realizadas nos Piezômetros monitorados (**Figura 6**), identificados como PZ's:



Figura 6. Registro das leituras de nível realizadas nos piezômetros monitorados na UHE Teles Pires.

A **Figura 7** apresenta o registro fotográfico da estrada que dá acesso aos PM01, PZ01 e PZ02, que não puderam ser monitorados nas campanhas de março e abril de 2014, em virtude da quantidade de chuva que caiu na região nesse período.



Figura 7. Acesso interditado aos PM01, PZ01 e PZ02 nos meses de março e abril de 2014.

Ressalta-se que não foram realizadas campanhas de monitoramento do referido programa em setembro de 2013, em virtude da suspensão da Licença de Operação do empreendimento pelo IBAMA.

2.4 COLETAS DE AMOSTRAS DE ÁGUA – MONITORAMENTO QUADRIMESTRAL

O procedimento para a realização da coleta, armazenamento, transporte e análise das amostras de água seguiram as recomendações do *Standard Methods* 22ª edição, Norma ABNT/NBR 9897/87, segundo as diretrizes da IT. 05.102 que descreve o detalhamento do plano de amostragem para coleta da água.

As amostras permaneceram protegidas da luz solar e do calor durante seu transporte e manuseio considerando os requisitos específicos para preservação das amostras, conforme os parâmetros a serem determinados (**STRASKRABA & TUNDISI, 2008**).

As amostras de água foram preservadas, conservadas em caixas de isopor, geladeira de campo e transportadas para o laboratório em baixa temperatura. Todos os frascos foram refrigerados, inclusive os frascos de vidro com preservantes químicos onde permaneceram mantidos a 4°C.

Os frascos para acondicionamento de quaisquer amostras foram enviados para o campo com rótulo identificador, excluindo a possibilidade de troca de amostras e agilizando a operação de coleta.

Para garantir a integridade das amostras, o tempo decorrido entre a coleta e a análise não ultrapassou 24 horas, e para isso algumas análises foram realizadas em laboratório de campo.

As coletas de amostras para determinação do índice de bactérias coliformes termotolerantes foram realizadas em frascos estéreis.

Para análise da água foram, da mesma forma, adotados procedimentos padrões do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 22ª edição e outras referências aceitas na comunidade científica.

Para avaliação da qualidade da água, foi empregada a Resolução CONAMA Nº 396/08 e Portaria Nº 2914/11 do Ministério da Saúde, cujos dados estão explicados através de tabelas, análises estatísticas multivariadas e recursos gráficos.

A Resolução 396/08 dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e a Portaria 2914/11 dispõe sobre os padrões da potabilidade da água para consumo humano.

Foi instalado um laboratório de campo com todos os critérios de controle da qualidade e confiança para fidelizar os resultados das análises.

2.5 EXECUÇÃO DAS LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA

O nível d'água foi medido em todos os poços de monitoramento previamente indicados, através de um medidor *modelo HSNA-300*. Os trabalhos de campo foram acompanhados de procedimentos para o controle de qualidade cuja finalidade é identificar possíveis contaminações ambientais, no manuseio, na análise em campo, no transporte. Foram utilizados recursos de comparação a fim de validar os procedimentos de amostragem que são: branco de campo, branco de equipamento e branco de transporte.

É realizado em campo, mensalmente, em tempo real através de sonda multiparamétrica, o monitoramento mensal dos seguintes parâmetros: pH, turbidez, STD, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura da água.

2.6 MODELAGEM DO SOERGUMENTO DO LENÇOL FREÁTICO

O prognóstico de elevação dos níveis freáticos em função da formação do lago artificial foi realizada a partir da integração das informações geradas: (i) nas observações geológicas e geotécnicas baseadas nas informações obtidas na perfuração dos piezômetros PZ-01 à PZ-15; e (ii) nos dados de nível d'água medidos nos piezômetros PZ-01 à PZ-15 no ano de 2013, que compõem o Programa de Monitoramento do Lençol Freático do empreendimento.

Para realização da modelagem os dados foram inseridos no MODFLOW, que é um algoritmo do USGS (sigla inglesa do Serviço Geológico Americano), que é gratuito e com código fonte aberto, passível de modificações. O MODFLOW é um software não amigável, baseado em um método de integração numérica, onde os dados são inseridos com auxílio de arquivos do tipo TXT ou DAT, sendo que cada célula do modelo matemático deve ser definida desta forma. Na VERACRUZ utiliza-se o *software* proprietário denominado *Ground Water Vistas* (GWV), que é uma interface gráfica para facilitar a criação de modelos no MODFLOW e a execução do mesmo no *Windows*. O MODFLOW (e portanto o GWV) permite fazer simulações de fluxo de águas subterrâneas em meios porosos.

Os modelos foram gerados com o auxílio do Programa *Ground Water Vistas* versão 6 (Figura 8), utilizando-se a função de aquífero livre. Neste caso, o aquífero foi considerado como livre, homogêneo e isotrópico, com fluxo do tipo laminar e responde hidráulicamente ao modelo de **Neuman (1972, 1975)**. A superfície potenciométrica coincide com a superfície freática da água, e a pressão hidrostática é igual à atmosférica.

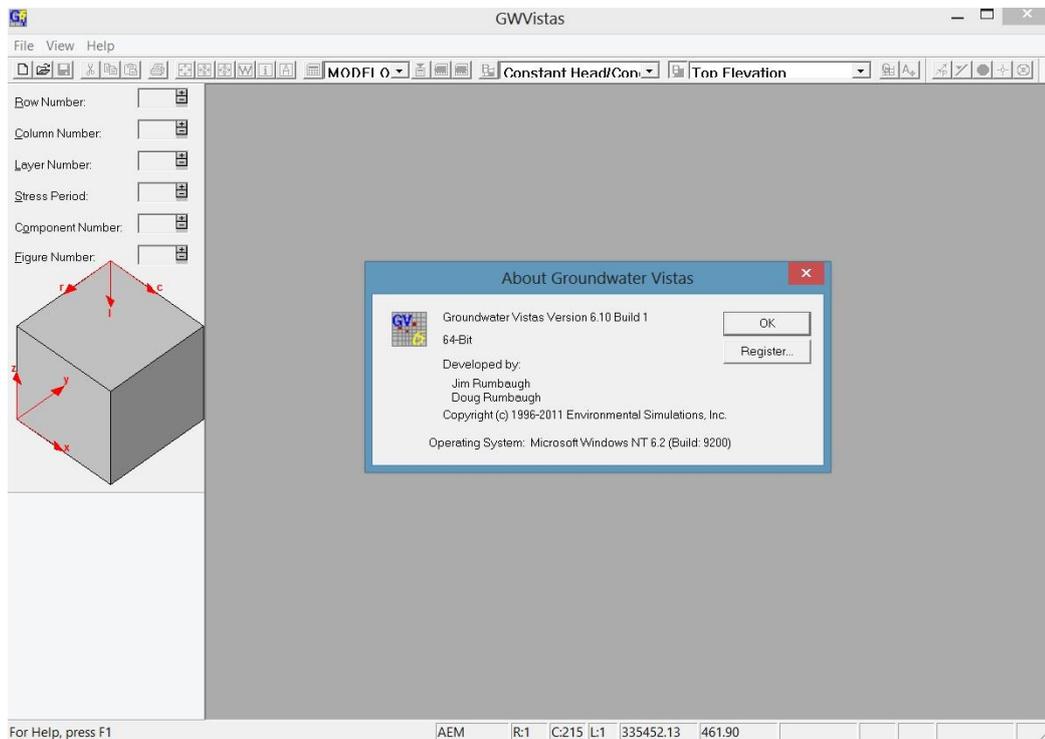


Figura 8. Entrada *software* *Ground Water Vistas* (GWVistas), o qual foi utilizado para configurar o modelo e executar a modelagem utilizando o algoritmo MODFLOW do Serviço Geológico Americano (USGS). A versão do GWVistas utilizada é a 6.10.

A equação utilizada pelo MODFLOW para simular aquíferos livres é dada por:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z h \frac{\partial h}{\partial z} \right) + Wh = S_y \frac{\partial h}{\partial t}$$

Em que S_y é a vazão específica e $|S_y|$ é adimensional e igual a 1. Note que a variável h é uma solução do tipo $h(x, y, z, t)$, ou seja, depende da posição do aquífero no espaço (x, y, z) e no tempo (t). O símbolo h está relacionado com a nomenclatura em inglês dada por *Hydraulic Head*, que representa o potencial hidráulico em cota absoluta ou relativa, e está associado ao nível estático observado nos piezômetros.

Note que trata-se de uma equação diferencial, que é solucionada de forma numérica (não-analítica) pelo MODFLOW. Para resolver esse tipo de equação diferencial, o MODFLOW faz, a grosso modo, uma integração numérica da equação dentro do seu domínio. Para exemplificar isso de forma simples, basta considerar a equação abaixo:

$$\frac{\partial h(x)}{\partial x} = x + 1$$

Neste caso, a solução é obtida de forma analítica com a integração da equação, conforme mostrado abaixo:

$$\int \frac{\partial h(x)}{\partial x} dx = \int (x + 1) dx \rightarrow h(x) = \frac{x^2}{2} + x + C$$

Em que C é uma constante a ser ajustada ao problema.

Essa integração pode ser feita de forma analítica, como mostrado acima, ou de forma numérica, como é feito pelo MODFLOW.

2.6.1 Condições de Contorno Espaciais

As condições de contorno determinam os limites e características da região analisada e constituem fatores fundamentais para o processo de modelagem. Os contornos do modelo representam as interfaces entre o domínio e as interferências relativas às condições externas e impostas sobre a área de interesse, evidenciando-se, dessa forma, a individualização de determinado problema.

Para resolver um problema tão complexo como o mostrado acima, a equação diferencial de fluxo de águas subterrâneas deve ser limitada a um domínio de interesse, que deve ser o menor possível para não necessitar de um empenho computacional muito grande, o qual pode consumir dias de processamento de dados. Por outro lado, no caso da maioria das hidrelétricas, esse espaço de modelagem pode ser muito grande, com contornos específicos e limitados apenas em locais onde há cidades importantes.

Os principais tipos de condições de contorno usados nas modelagens de lençol freático são: (i) fluxo nulo; (ii) contorno de potencial hidráulico conhecido (como rios e poços); e (iii) contorno onde o fluxo de água é controlado. Os dois primeiros tipos de contorno são utilizados

na modelagem do lençol freático do AHE Teles Pires, visto que o terceiro tipo é usado apenas para estudos de poluição de águas subterrâneas com tratamento a partir de poços que extraem a água contaminada para posterior tratamento, ou outro cenário onde o fluxo de água é de alguma forma controlado.

O contorno de fluxo nulo, na prática, pode ser definido como aquela localidade, adjacente ao aquífero, onde o fluxo de água é insignificante se comparado com o fluxo no aquífero principal, e é definido principalmente em altos topográficos.

O contorno de potencial conhecido se caracteriza pelo conhecimento do potencial hidráulico, podendo este variar ou permanecer constante ao longo do tempo. Como exemplo deste tipo de contorno destacam-se os grandes corpos d'água, como lagos, lagoas ou oceanos, que delimitam aquíferos, e ainda, consideram-se rios e canais de irrigação, cujos níveis de água podem ser considerados como fixos.

Por último, o contorno de fluxo-controlado está relacionado a fronteiras, através das quais um determinado volume de água é adicionado ao aquífero, a partir de um extrato geológico, em que propriedades desse material, como potencial hidráulico e a condutividade hidráulica, são conhecidas. Esse tipo de contorno é denominado também como contorno de recarga. A recarga da chuva e os poços de injeção, responsáveis pela entrada de água nos aquíferos, são considerados contornos do tipo fluxo-controlado, da mesma forma, a extração realizada através dos poços de bombeamento, também é considerada contorno de fluxo-controlado. Na hidráulica em geral, os poços de bombeamento são conhecidos como sumidouros, enquanto que as recargas e poços de injeção são designados de fontes. Também podem ser considerados como condição de contorno as chamadas fronteiras-móveis, caracterizadas pela variação no tempo, e para esse caso, pode-se destacar o nível do lençol freático em aquíferos livres, além da interface água doce/água salgada, contorno específico para aquíferos costeiros, que considera a diferença de densidades entre a água oriunda do aquífero, considerada doce, e a água salina.

Dentro do MODFLOW as condições de contorno são então divididas nos seguintes tipos:

Condição do Tipo I:

A carga em algum ponto do contorno é conhecida (**Figura 9**). Esse tipo de condição de contorno pode ser dada por:

- i. Espessura do lençol freático definida com dados de piezômetros (esta condição não é adotada no AHE Teles Pires pois os dados dos piezômetros são utilizados na aferição do modelo);
- ii. Cota de lâmina d'água de rios, que definem linhas de carga conhecidas.



Figura 9. Condição de contorno onde a carga hidráulica é conhecida e definida no modelo.

Condição do Tipo II:

O fluxo da água é conhecido em algum ponto: Esse tipo de condição de contorno é dado principalmente por altos topográficos e rios, sendo que no alto topográfico é conhecida a condição onde o fluxo é nulo, visto que o fluxo de água é dividido para os dois lados da elevação (e.g. **Figura 10**). A mesma condição de contorno é válida para o baixo topográfico onde haja rios, embora neste caso essa constatação seja menos evidente.



Figura 10. Condição de contorno espacial onde é definido fluxo nulo, ou seja, onde há divisão do fluxo de águas subterrâneas. No exemplo acima esta condição de contorno está associada a um alto topográfico.

Condição do Tipo III:

A forma como o fluxo de água ocorre depende da carga, e esta relação é conhecida. Desta forma, além das condições de contorno laterais, o modelo precisa ter uma condição de contorno em sua base. No caso do presente estudo essa condição de contorno de base é a de que o modelo está sob uma estrutura geológica impermeável, fazendo com que seja um limite de fluxo conhecido e igual a zero.

2.6.2 Condições de Contorno Temporais

Normalmente, a maioria dos aquíferos livres, principalmente nas margens de rios, tem sua espessura variando durante o ano conforme as estações climáticas de chuva e seca, e neste caso pode-se dizer se tratar de um problema com distribuição transiente ou transitória de carga hidráulica, requerendo a solução da equação abaixo, já citada anteriormente:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z h \frac{\partial h}{\partial z} \right) + Wh = S_y \frac{\partial h}{\partial t}$$

Por outro lado, tendo medidas nas várias estações climáticas, pode-se dizer que o aquífero tem uma distribuição estacionária de cargas dentro de cada estação climática, o que permite reduzir fazer a seguinte consideração:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

Neste caso, como o lado direito da equação fica com valor nulo, e pode-se eliminar o fator h comum a todas as partes do lado esquerdo da equação, permitindo reduzir a mesma a uma forma mais simples:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = 0$$

Considerando a ausência de fontes de águas e sumidouros, tem-se:

$$W = 0$$

O que permite simplificar a equação para:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0$$

Com relação ao lençol freático, o mesmo pode ser homogêneo ou heterogêneo, e na região não há evidência de que o mesmo seja heterogêneo, permitindo aproximar o modelo para um modelo homogêneo de lençol freático. Dentro desta questão, também deve-se questionar se a condutividade hidráulica no solo/rocha é isotrópica ou anisotrópica, o que iria requerer um grande número de medidas para fazer essa caracterização. Da mesma forma, não há evidência nos piezômetros que haja motivo para se acreditar que a condutividade hidráulica é anisotrópica, e por isso foi definido um modelo onde a condutividade hidráulica é isotrópica,

ou seja, é a mesma para fluxos de águas em diferentes direções, o que é comum na natureza. Essas duas premissas seriam imprecisas apenas em um local onde o solo tivesse origem em uma rocha foleada e que mantivesse sua estrutura anisotrópica após a formação do solo, o que não é o caso observado na região.

Desta forma, se a condutividade hidráulica K independe da direção do fluxo de água, a equação acima pode ser simplificada da seguinte forma:

$$K \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

Como K é um fator comum, a equação pode ser reduzida a uma forma ainda mais simples, dada por:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

A equação acima é suficiente para fazer a modelagem do lençol freático em um ambiente tridimensional, sendo a principal equação utilizada em ambientes geológicos de grandes dimensões, como o modelado no presente relatório, ou onde a malha de piezômetros é muito espaçada dentro do domínio modelado, como o é no presente estudo. Pesquisas teóricas onde um ambiente da ordem de 2 km² contam com um grande número de piezômetros (e.g. 50 piezômetros) é restrito a pesquisas acadêmicas, sendo condições específicas que justifiquem o uso de todos os parâmetros disponíveis nas modelagens com o MODFLOW.

2.6.3 Condições de Contorno para o AHE Teles Pires

No presente trabalho foram definidas as seguintes condições de contorno para delimitação da área e grid inicial:

- Os rios Teles Pires e Paranaíta foram utilizados como condição de contorno onde a carga hidráulica é conhecida e igual ao nível d'água desses rios hoje, e igual ao nível d'água no reservatório após o enchimento do mesmo. Em cada uma das células, que delimitam ambos os rios, a carga hidráulica foi definida célula a célula de acordo com a cota do reservatório e dos rios, definida pela topografia na lâmina d'água;
- Os altos topográficos no entorno da área de estudo foram usados para definir a condição de fluxo nulo, ou seja, igual a zero;
- A precipitação e a evapotranspiração obtidas na estação meteorológica da UHE Teles Pires nos dá informações de recarga do aquífero pela superfície. A precipitação adotada foi de 2.300 mm/ano, que equivale a 0,006301 m/dia, e a infiltração foi estimada em 10% desse valor;

- Os piezômetros incluídos nessa modelagem (PZ-01 a PZ-15) poderiam ser utilizados como locais onde o potencial hidráulico é conhecido, porém, optou-se em utilizá-los como parâmetros de comparação para avaliar a qualidade do modelo.

3 CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DA UHE TELES PIRES

A partir da instalação dos poços de monitoramento e das leituras efetuadas nos mesmos foi obtida a caracterização detalhada dos aspectos geológico-geotécnicos de interesse e hidrogeológicos da área, conforme previsto no PBA.

3.1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A área de estudo está inserida na porção sul do cráton Amazônico. Comportando-se como área estabilizada durante o Ciclo Brasileiro, o Cráton Amazônico compreende quase a totalidade das rochas arqueanas e proterozóicas expostas na Região Norte do Brasil. Este cráton foi dividido em duas províncias estruturais, separadas pela Bacia sedimentar Amazônica, denominadas: Província Rio Branco, a norte, e Província Tapajós, a sul (**Almeida et al., 1977**). Estudos recentes divergem sobre a evolução geológica do Cráton Amazônico gerando duas hipóteses. O primeiro, um modelo fixista de retrabalhamento de crosta antiga e o segundo, um modelo mobilista com eventos colisionais e de acreção crustal.

O modelo fixista de retrabalhamento crustal de **Gibbs & Barron (1983)**, adotado por **Amaral (1974, 1978 e 1984)**, **Santos & Loguercio (1984)** e **Issler & Lima, (1987)**, é baseado na ausência de episódios compressivos e orogênicos, considerando apenas a ocorrência de tectonismos distensivos com reativações da plataforma e consequente fraturamento, vulcanismo e granitogênese anorogênica. Com base em dados geofísicos e estruturais, **Hasui et al. (1984)** descreveram as principais feições tectônicas e descontinuidades do Cráton Amazônico, configurando-o em vários blocos crustais relacionados à evolução Arqueana. As bordas destes blocos são definidas por anomalias gravimétricas positivas, fortes variações nas respostas magnéticas e *trends* lineares de estruturas tectônicas. Nos núcleos destes blocos são comuns as ocorrências de granitóides e de sequências metavulcanossedimentares do tipo *greenstone belts*. Para estes autores o Cráton Amazônico forma um conjunto de massas continentais aglutinadas no Arqueano ou Paleoproterozóico geradas por processos geológicos desconhecidos que teriam posteriormente sido afetados por retrabalhamento crustal e rejuvenescimento isotópico.

O modelo mobilista proposto por **Cordani et al. (1979)**, **Tassinari (1981)**, **Cordani & Brito Neves (1982)**, **Teixeira et al. (1989)**, **Macambira et al. (1990)**, **Bittencourt (1992)**, **Tassinari (1996)** e **Santos et al. (2000)** baseia-se na existência de eventos tectônicos compressivos responsáveis pelo desenvolvimento de cinturões móveis bordejando um pequeno núcleo arqueano, com características cratônicas denominado Província Amazônia Central. Nesta linha **Tassinari et al. (1996)** e **Tassinari & Sato (1997)** subdividiram o Cráton Amazônico

em cinco unidades geotectônicas, com características próprias. **Santos et al. (2000)** integraram dados de campo e dados geocronológicos de U-Pb e Sm-Nd, dividindo-o em oito províncias tectônicas, algumas geradas por processos acrescionários e outras por reciclagem de crosta continental.

Esta hipótese fundamenta-se em crescentes e atualizados dados isotópicos que propõe uma evolução do Cráton Amazônico a partir de acreção juvenil e aglutinação de fragmentos crustais antigos (terrenos granito-*greenstone*) em torno dos quais se desenvolveram cinturões proterozóicos, envolvendo geração de crosta em arcos magmáticos ou formados sobre uma crosta preexistente. Esses domínios representariam fragmentos crustais, cinturões móveis e arcos magmáticos cuja interação e aglutinação teriam gerado uma grande massa cratônica desde o Paleoproterozóico fazendo parte do Continente Atlântica (2,0 –1,0 Ga) (**Rogers, 1995**). Assim, as informações convergem para uma hipótese mobilista, na qual é reconhecido o domínio orogênico denominado Arco Magmático Juruena de idade U-Pb 1,85 a 1,75 Ga, como parte de um arco colisional/acrescionário ao Continente Atlântica.

A presença de associações de alto grau metamórfico, relacionadas a uma descontinuidade gravimétrica, magmatismos colisional e pós-colisional, corroboram para a interpretação de um orógeno predominantemente colisional e acrescionário. As rochas supracrustais, orto e paraderivadas, pertencentes ao Complexo Bacaeri-Mogno, de idade isocrônica Sm/Nd de 2,24 Ga, com $\Sigma_{Nd} (T)$ de +2,5, representam um pequeno segmento crustal de fundo oceânico. A instalação de movimentos compressivos, inicialmente de SE-NW, rotacionando para SW-NE, força a movimentação desta placa oceânica, em direção a um segmento de crosta continental preexistente representada na área por remanescentes do Complexo Cuiú-Cuiú e pelas suítes Matupá e Flor da Serra que foram interpretadas como partes do Arco Magmático Cuiú-Cuiú e Parauari (**Santos, 2000**) ou como suítes pós-orogênicas de **Vasquez et al. (2002)**. Este modelo de subducção, onde as rochas supracrustais depositadas originalmente em margens de placa e de crosta oceânica foram transferidas a grande profundidade durante o processo colisional é suportado pelos dados geofísicos de gravimetria, que atestam sinais de espessamento crustal, nesta área. Como efeito foram gerados magmas híbridos e ascendentes nesta zona de subducção, resultado da interação de fontes mantélicas e crustais, responsáveis pela geração dos granitos do Arco Magmático Juruena, paralelamente dispostos na direção NW-SE. Dentro deste domínio orogênico, dois terrenos de relativa contemporaneidade, mas com posicionamento crustal diferenciado, foram edificadas: o terreno de crosta superior pluto-vulcânico e o terreno de crosta média inferior, em parte acrescionário e de médio a alto grau metamórfico.

O terreno pluto-vulcânico consiste em um cinturão de rochas ígneas *sin* a pós-colisionais, que edificam o arco em si, são pouco deformadas e com metamorfismo incipiente, grande parte intrusiva em rochas pertencentes à crosta preexistente (Complexo Cuiú-Cuiú). Formam um conjunto de rochas de origem mantélica e híbrida, cuja evolução é demonstrada

pela sua natureza orogênica, edificada dentro de um arco pluto-vulcânico, por sua química primordial e pela geocronologia dos eventos. Iniciam com termos calcialcalinos, médio-K, metaluminosos, destacando série monzonítica, monzogranítica e granítica (Suítes Juruena e Paranaíta), reunindo granitos do tipo I oxidados, subvulcânicos, com idades U-Pb entre 1.848 Ma a 1.793 Ma. Rochas vulcânicas ácidas e intermediárias de natureza calcialcalina e cogenéticas são associadas espacial e temporalmente com às suítes Paranaíta e Juruena e estão representadas pela Suíte Colíder, de idade U-Pb de 1.801 Ma a 1.786 Ma. Em seu término evoluem para termos pós-colisionais com granitos calcialcalinos alto potássio e de tendência shoshonítica representado pelo Granito Nhandu, posicionadas nas porções mais maduras do Arco Magmático Juruena.

No terreno acrescionário de médio a alto grau metamórfico, desenvolvem-se unidades litoestratigráficas onde os efeitos da deformação progressiva são preponderantes. Nestas, imbricam, tectonicamente, rochas supracrustais orto e paraderivadas do Complexo Bacaeri-Mogno, como restos da crosta oceânica primordial não digerida. Terrenos ortognáissicos e migmatíticos, representados pelo Complexo Nova Monte Verde, gerados pela desidratação da placa subductada em fácies anfibolito médio a granulito, vinculam uma variedade de litotipos graníticos de arco e tipos pós-colisionais, *sin*-cinemáticos, de natureza calcialcalina com alto-K, metaluminosos a peraluminosos, representados pela Suíte Vitória e pelos granitos São Pedro, São Romão e Apiacás de idades U-Pb entre 1.785 Ma a 1.770 Ma. Em sua evolução são submetidos a metamorfismo de médio a alto grau, em regime deformacional dúctil caracterizado por megazonas de cisalhamento transcorrente de direção EW e NW-SE, dentro de um modelo de colisão oblíqua de alta temperatura, onde a principal característica é a formação de granitos calcialcalinos alto-K, peraluminosos e em menor proporção leucogranitos do tipo “S”.

Todos os eventos indicam que o processo deformacional é contínuo, interpretado desde seu início como subducção e consumo da placa Bacaeri-Mogno, por volta de 1.850 Ma, idade dos primeiros granitos Juruena, com seu fechamento e migmatização entre 1.790 Ma a 1.770 Ma. A fase pós-colisional é o período mais longo e extensivo, responsável pelo posicionamento de grande parte dos granitos com imbricações tectônicas e transcorrência associada. O Grupo São Marcelo-Cabeça, correspondente ao Grupo Roosevelt, 1.760 Ma, é representado por uma grande diversidade litológica, com vulcânicas ácidas a intermediárias intercaladas por metassedimentos rudáceos a químicos, deformadas e metamorfizadas em médio a baixo grau e interpretadas como uma sequência tipo bacia de “back-arc”, retaguarda de um provável arco a sudoeste, imbricado tectonicamente nos granitos acrescionários. Esta sequência é intrudida pela Suíte Nova Canaã, U-Pb, 1.743 ± 4 Ma, e correlacionada ao granito deformado Aripuanã, 1.755 Ma, com afinidade calcialcalina, alto-K, peraluminosa, associada às falhas direcionais, refletindo o ajuste dos blocos crustais acrescionados sob um regime de esforços transtrativos, cada vez mais atenuados até o final do estágio orogênico típico.

Marcando a fase terminal desse fragmento crustal, formam-se bacias deposicionais controladas por megazonas transcorrentes EW a NW/SE, depositando as coberturas sedimentares siliciclásticas, psamopelíticas e pelito-carbonáticas. A estruturação da bacia e sua sedimentação constituem provas da instabilidade tectônica da área, com a reativação das feições estruturais herdadas da evolução de seu embasamento, propiciando o desenvolvimento de bacias do tipo *strike slip* ou *pull-apart* representadas pela Formação Dardanelos relacionadas às zonas transtracionadas. O Fanerozóico acha-se representado pelos diques de diabásio jurássicos (180 Ma) tipo Cururu. Recobrimo as unidades mais antigas ocorrem as coberturas detríticas/lateríticas terciárias e aluvionares quaternárias, que completam o quadro geológico da Província Juruena.

A Bacia do Rio Teles Pires (**Figura 11**) é formada por dois domínios crustais distintos denominados de: (i) Domínio Acrescionário Deformado e (ii) Domínio Granito-Vulcânico. O primeiro é formado por rochas supracrustais e corpos plutônicos submetidos a metamorfismo de médio a alto grau seguido de deformação dúctil acentuada. Encontrada na porção oeste-sudoeste da área, incluindo as seguintes unidades: Complexos Nova Monte Verde e Bacaeri-Mogno, Sequência Metavulcanossedimentar São Marcelo-Cabeça, Granitóides São Pedro e São Romão e Tonalito Vitória. O segundo é formado por um cinturão de rochas plutônicas e vulcânicas, pouco deformadas, de caráter calcialcalino, com composições dioríticas a graníticas, que foram classificadas como granitos tipo I oxidado (Paranaíta, Nhandu, Flor da Serra, Matupá, Juruena, Colíder) e granitos tipo S (Apiacás). As suítes foram intrudidas em gnaisses polideformados, localmente migmatizados, expostos em afloramentos restritos, e que são correlacionados aos gnaisses do Complexo Cuiú- Cuiú da região do Tapajós. Esse domínio teve uma evolução ligada ao desenvolvimento de um arco magmático paleoproterozóico, gerado por subducção de placa litosférica oceânica sob crosta continental, em regime compressivo.

P. 09 – Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas

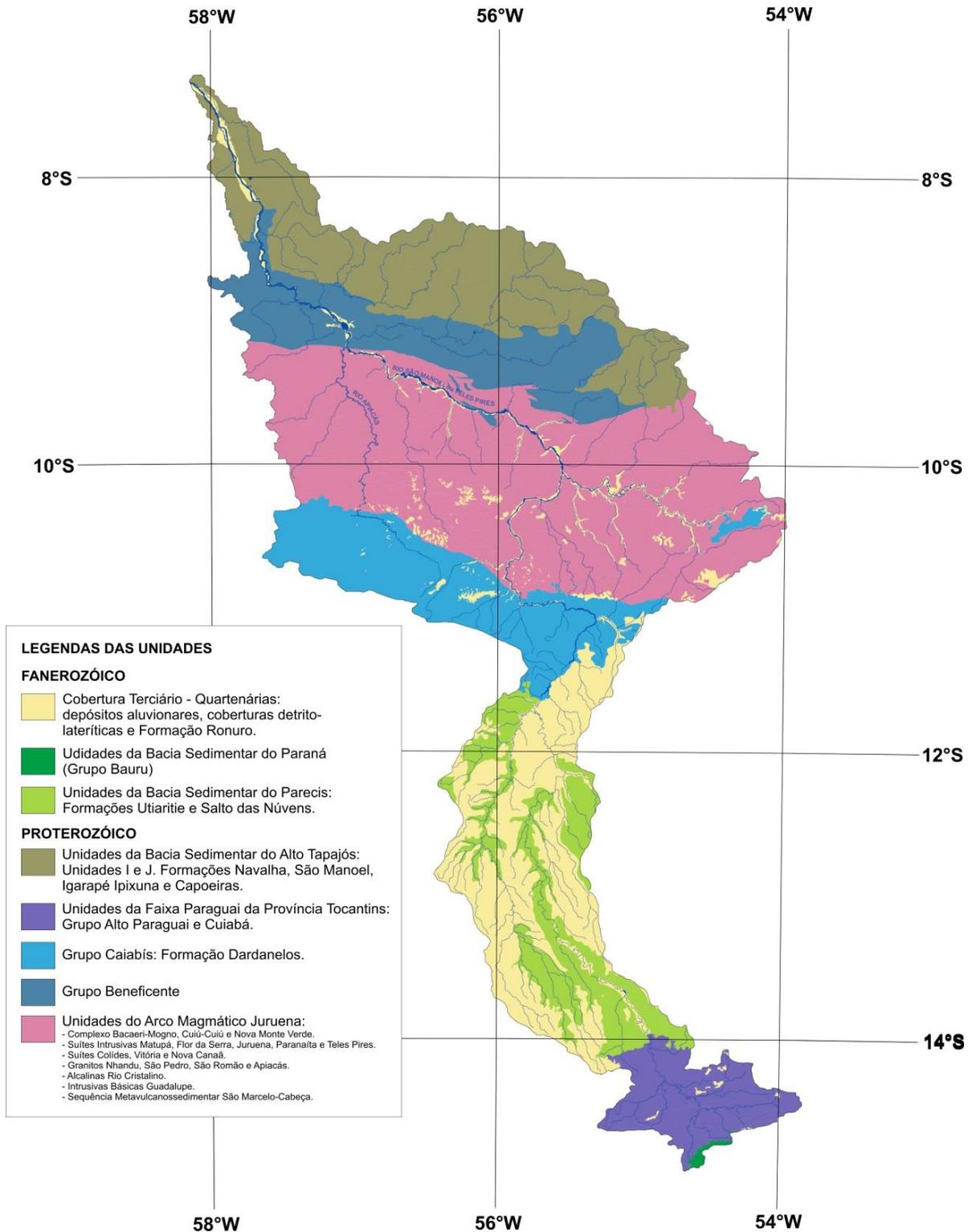


Figura 11. Mapa Geológico da Bacia do Rio Teles Pires.

3.2 GEOLOGIA LOCAL

As unidades cartografadas são descritas abaixo:

(i) Domínio Acrescionário Deformado:

Complexo Nova Monte Verde: Ortognaisses tonalíticos a graníticos, migmatitos e rochas supracrustais representadas por granada-biotita gnaisses, sillimanita gnaisses, rochas calcissilicáticas e anfibolitos. Datação U-Pb em migmatito indica idade de 1774 ± 28 Ma.

Complexo Bacaeri-Mogno: Reúne rochas supracrustais metamorfisadas em médio a alto grau, incluindo anfibolitos, BIF's, metachert com hiperstênio, granada e tremolita gnaise, granada-sillimanita-cordierita-biotita gnaise, cianita-sillimanita-granada gnaise e kinzigito, além de corpos de metagabronoritos e metapiroxenitos. Os anfibolitos desta unidade têm idade Sm-Nd isocrônica de cerca de 2.24 Ga, com $\Sigma Nd(T)$ de +2.5 e são interpretados preliminarmente como restos de uma sequência oceânica preservada em meio às rochas mais jovens.

Sequência Metavulcanossedimentar São Marcelo/Cabeça: Clorita-quartzo xisto, quartzo-sericita-granada xisto, grafita-sericita xisto, biotita-muscovita xisto, metachert, metaconglomerado, metatufos e metavulcânicas ácidas. Xistos milonitizados datados (U-Pb) mostram idade de 1859 ± 5 Ma.

Granito São Pedro: Granito deformado, alongado na direção NW-SE a EW. Inclui biotita-granada granito porfirítico, hornblenda-biotita granito e granada granito, geralmente com enclaves de quartzo diorito, quartzo monzonito e hornblendito. A idade U-Pb SHRIMP é de 1,78 Ga e as idades Sm-Nd estão entre 2,06 e 2,14 Ga.

Granito São Romão: Granito fino, deformado, caracterizado por biotita monzogranito porfirítico, microgranito com magnetita e granada-biotita granito. Mostra idade Sm-Nd com cerca de 2,10 Ga.

Tonalito Vitória: Compreende rochas quartzo-feldspáticas ricas em hornblenda e às vezes ortopiroxênio, pouco deformadas, com composição tonalítica, diorítica e enderbítica. São intrusivas nas rochas dos complexos Mogno e Nova Monte Verde. Valores de TDM estão entre 2,17 Ga e 2,26 Ga. Idades U/Pb em zircão (SHRIMP) de 1.770 ± 9 , 1.785 ± 8 e 1.775 ± 10 Ma foram obtidas para amostras de tonalitos e enderbito.

(ii) Domínio Granito-Vulcânico:

Suíte Intrusiva Flor da Serra: Inclui gabros, gabrodioritos e monzonitos calcialcalinos, pouco fracionados.

Suíte Intrusiva Matupá: Engloba biotita granito, monzonito e monzogranito porfiríticos, contendo às vezes hornblenda e/ou clinopiroxênio. Datação Pb-Pb em zircão indicou idade de 1.872 ± 12 Ma (Moura, 1998). Idades U-Pb convencionais são: 1.817 ± 57 , 1.823 ± 35 , $1.848 \pm$

17 e 1.894 ± 6 (JICA/MMA 2000). Idades modelo para as suítes Matupá e Flor da Serra são de 2,34 e 2,35 Ga, respectivamente, sugerindo contaminação com crosta mais antiga.

Suíte Intrusiva Juruena: Constitui uma série magmática expandida, calcioalcalina, tardi-tectônica, formada por biotita granito, porfirítico a equigranular, secundado por biotita monzonito, quartzo diorito, granodiorito e tonalito. Localmente apresenta estreitas zonas de cisalhamento rúptil a rúptil-dúctil (largura centimétrica a métrica) com direção preferencial EW a NW-SE.

Suíte Intrusiva Paranaíta: Reúne granitos tipo I oxidados, calcialcalinos, porfiríticos, com destaque para biotita granitos, monzogranitos, hornblenda-biotita monzonitos, de cor cinza rosada a cinza arroxeadada, às vezes portadores de quartzo azulado e enclaves de diorito. Apresentam estreita associação espacial com os terrenos vulcânicos/subvulcânicos da Suíte Colíder. Esta unidade é portadora de mineralizações auríferas. Mostra acentuada assinatura magnética, reflexo das altas concentrações de magnetita. Dados U-Pb convencionais indicam idades de 1.801 ± 8 , 1.803 ± 16 Ma, 1.816 ± 57 e 1.819 ± 16 Ma (JICA/MMAJ, 2000) e 1.793 ± 6 Ma e idades Sm/Nd de 2,01Ga Santos (2000).

Granito Nhandu: Reúne granitos calcialcalinos de alto potássio, granitos tipo I oxidados, representados por magnetita-biotita granito vermelho, com enclaves de quartzo diorito. Dispõe-se na forma de batólitos e/ou stocks passando gradativamente nas bordas para granito fino porfirítico e granito subvulcânico, granófiro e aegirina granito.

Intrusivas Básicas Guadalupe: Grupo de corpos básicos, formados por gabro, diabásio, microgabro, hornblendito e diorito pórfiro, na forma de diques/stocks cortando os granitos Matupá, ou como megaenclaves nos granitos da Suíte Paranaíta, exibindo estruturas de mistura de magmas. Apresentam idades TDM entre 2,13 e 2,19 Ga.

Suíte Vulcânica/Subvulcânica Colíder: Predominam microgranitos, micromonzonitos, riolitos, riodacitos e andesitos, calcialcalinos. Idades U-Pb (SHRIMP) de 1.786 ± 17 Ma indicam que essas rochas apresentam idades semelhantes às das suítes Paranaíta e Nhandu e são mais jovens que as vulcânicas do Grupo Iriri típico (idades Pb-Pb entre 1.877 e 2.001 Ma; Lamarão *et al.* 1999 e Vasquez, 1998).

Granito Apiacás: Inclui granitos peraluminosos, leucogranitos, granada biotita granitos e biotita granitos com textura porfirítica.

Alcalina Rio Cristalino: Constitui um corpo quartzo sienito e riebeckita-aegirina sienito, intrusivo nas vulcânicas Colíder e em contato tectônico com os sedimentos do Grupo Beneficente. Essa intrusão tem idade U-Pb de 1.806 ± 3 Ma (Santos, 2000).

Suíte Intrusiva Teles Pires: Granitos pós-orogênicos, dispostos em stocks e batólitos subcirculares a elipsoidais. A fácies mais típica é representada por granito porfirítico vermelho, localmente com textura rapakivi, com fluorita. É intrusivo nas vulcânicas Colíder e nos

granitóides da Suíte Juruena. Idades U-Pb com cerca de 1.757 ± 16 Ma (Santos, 2000) e apresenta TDM de 2,10 Ga.

Grupo Beneficente: Sequência marinha de sedimentos detríticos representados por arenitos, arcóseos, siltitos e argilitos vermelhos, com intercalações locais de conglomerados polimíticos. Pode ser encontrado em uma faixa de direção WNW-ESE na porção norte da área onde as camadas apresentam mergulho para NNE. Encontra-se em contato normal ou por falha (transcorrência) com os granitos e rochas vulcânicas da Suíte Colíder.

Formação Dardanelos: É a parte basal do Grupo Caiabís, constituindo uma sequência de arenitos vermelhos às vezes arcoseanos, com estratificações cruzadas e plano paralelas, siltitos e argilitos avermelhados, conglomerados polimíticos basais e intraformacionais.

Essas unidades compreendem em uma megaestrutura de “HORST e GRABEN”, formada a sul, pelo Graben dos Caiabís, constituído pela serra dos Caiabís, nascente do rio Teles Pires, na porção central existe o Alto Estrutural ou Horst Juruena Teles Pires e ao norte o Graben do Cachimbo, constituído pela serra do Cachimbo. Como visto na **Figura 11**, que representa o mapa da geologia regional da bacia do Teles Pires (Dardenne & Schobbenhaus, 2001), o Alto Estrutural Juruena Teles Pires é separado a sul do Graben do Caiabís por um sistema de falhas normais denominado de lineamento Apiacás e a norte do Graben do Cachimbo por um sistema de falhas normais denominado de lineamento São João da Barra ou Teles Pires.

3.3 DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS DA BACIA DO RIO TELES PIRES

Para a elaboração dos estudos hidrogeológicos foram levantados dados básicos necessários ao conhecimento da situação atual de formas de captação de água subterrânea. Os dados levantados mostraram que a área da bacia do rio Teles Pires é constituída essencialmente por rochas sedimentares das bacias do rio Parecis, Alto Tapajós e do Cachimbo, por rochas do embasamento do cráton Amazônico e Província Tocantins, e por coberturas sedimentares cenozoicas. A **Figura 12** mostra o mapa hidrogeológico da bacia do rio Teles Pires.

Os domínios hidrogeológicos foram divididos da seguinte maneira:

Domínio 1: Formações Cenozóicas (aquífero poroso)

Subdomínio 1A1: que corresponde aos aluviões recentes e antigos, quaternários, com favorabilidade hidrogeológica variável, no geral estreitos e/ou de pequena espessura. As águas, em geral, são predominantemente de boa qualidade química.

Subdomínio 1Id: corresponde às formações cenozóicas indiferenciadas, quaternárias-terciárias, de baixa favorabilidade hidrogeológica e que incluem depósitos de areia, silte, argila, cascalho, indiferenciados. Na área da AHE Teles Pires, a unidade mapeada que corresponde a esse domínio são os depósitos cenozóicos de areia silte e argila da Fm. Iriri.

Subdomínio 1Rn: corresponde a sedimentos pouco consolidados de idade tércio-quadernário, com alta à média favorabilidade hidrogeológica, que incluem areias, siltes, cascalhos, argilas e lateritas.

Domínio 2:

Bacias Sedimentares (aquífero poroso): este domínio litológico inclui uma predominância de arenitos de granulometria variável, muitas vezes selecionadas a bimodais, além de conglomerados, argilitos e siltitos, com alta a média favorabilidade hidrogeológica. Constituem, em geral, aquíferos de altas vazões com produções entre 100 a 200 m³/h. A água é de boa qualidade química.

Domínio 3:

Poroso/fissural (aquífero misto): envolve pacotes sedimentares, sem ou com muito baixo grau de metamorfismo, onde ocorrem litologias essencialmente arenosas com pelitos e carbonatos, uma litificação acentuada, forte compactação, e fraturamento acentuado que lhe confere além do comportamento aquífero granular com porosidade primária baixa/média, um comportamento fissural acentuado (porosidade secundária de fendas e fraturas).

P. 09 – Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas

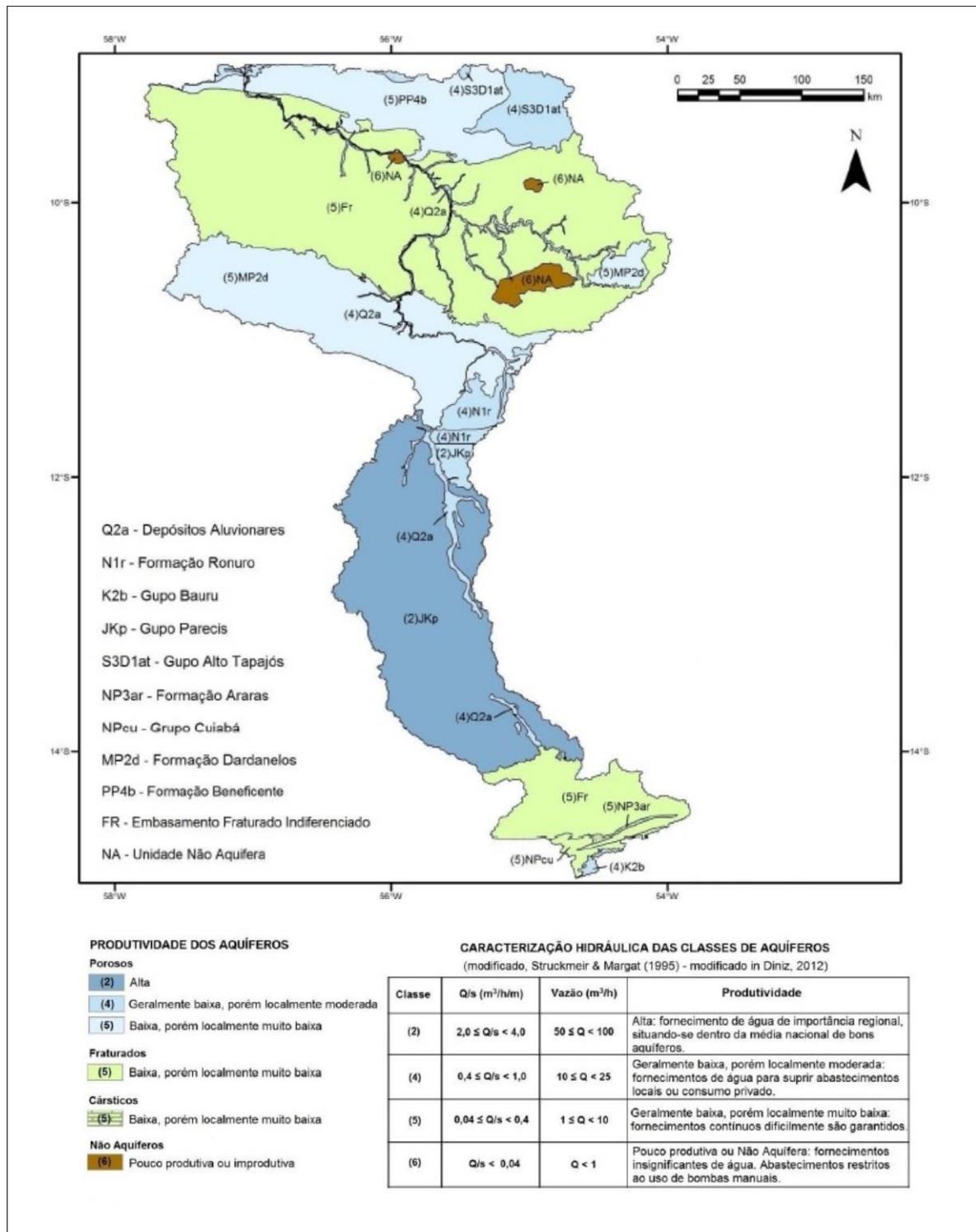


Figura 12. Mapa hidrogeológico da Bacia do Rio Teles Pires.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO

Conforme foi descrito na seção de domínios hidrogeológicos da bacia do rio Teles Pires, o aquífero em estudo foi caracterizado como do tipo Domínio 1 que é representado por Formações Cenozóicas que constituem em pacotes de sedimentos inconsolidados de espessura variável, constituídos de material predominantemente arenítico e siltico com condutividades hidráulicas baixas.

Para a caracterização do lençol freático no programa MODFLOW foi utilizada a função de aquífero livre, que é um aquífero exposto em toda a sua extensão à superfície, ou seja, à zona de recarga, limitado apenas na base por uma camada impermeável. A base do aquífero é representada por unidades pouco permeáveis representadas por siltitos e argilitos predominantemente e por arenitos permeáveis da Formação Iriri.

Neste caso, o aquífero foi considerado como livre, homogêneo e isotrópico, com fluxo do tipo laminar e responde hidráulicamente ao modelo de **Neuman (1972, 1975)**. A superfície potenciométrica coincide com a superfície freática da água e a pressão hidrostática é igual à atmosférica.

O enquadramento de porções do sistema aquífero neste modelo de fluxo foi facilmente alcançado pelas descrições de afloramentos e amostras obtidas da perfuração de poços (**Quadro 3**). Os dados hidrodinâmicos também corroboram o modelo proposto. Em tais áreas o relevo é suavemente ondulado e os solos silticos e argilosos são predominantes. Portanto, a recarga superficial é baixíssima, havendo escoamento de grande parte da chuva para as drenagens que seguem para o rio Teles Pires.

P. 09 – Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas

Quadro 3. Localização dos piezômetros, suas descrições litológicas e características físicas. São incluídas as condutividades hidráulicas (K) medidas nos ensaios e as descrições litológicas observadas.

ID	COORDENADAS UTM		PROF (m)	TRECHO ENSAIADO	K (cm/s)	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	CLASSIFICAÇÃO ESTRATIGRÁFICA
	NORTE	LESTE					
PZ-01	8.925.651	539.908	12	0-2,00 2,00-4,00 4,00-6,00 6,00-8,00 8,00-10,00 10,00-12,00 12,00-14,00	3,363 E-5 4,423 E-4 ----- ----- 3,213 E-5 3,482 E-5 4,635 E-5	H1 - solo arenoso de coloração amarelo (0 a 2,4), H2 - solo siltiloso contendo concreções de cor variegada (2,4 a 5,7), H3 - solo de coloração amarelo de granulometria grossa arenoso (5,7 a 12).	Fm. Iriri
PZ-02	8.937.466	538.727	12	0-2,00 2,00-4,00 4,00-6,00 6,00-8,00 8,00-10,00 10,00-12,00 12,00-14,00	2,719 E-5 ----- ----- 5,947 E-5 3,098 E-5 5,108 E-5 4,635 E-5	H1 - solo argiloso de coloração marrom (0 a 2,40), H2 - areia de coloração amarela granulometria grossa (2,40 a 5,70), H3 - areia de coloração amarela granulometria fina (5,7 a 12)	Fm. Iriri
PZ-03	8.946.508	530.634	12	0-2,00 2,00-4,00 4,00-6,00 6,00-8,00 8,00-10,00 10,00-12,00	----- ----- ----- 1,909 E-5 6,136 E-5 1,791 E-4	H1 - solo argiloso de coloração avermelhada e granulometria grossa (0,00 a 12,00)	Fm. Iriri
PZ-04	8.946.508	529.548	8,5	0-2,00 2,00-4,00 4,00-6,00 6,00-8,00	3,050 E-5 2,601 E-5 9,813 E-4 -----	H1 - solo argiloso de coloração avermelhada (0 a 5,45), H2 - solo argilo-siltiloso de coloração variegada (5,45 a 6,45), H3 - areia grossa de cor variegada (6,45 a 8,5)	Fm. Iriri
PZ-05	8.960.703	534.923	14	0-2,00 2,00-4,00 4,00-6,00 6,00-8,00 8,00-10,00 10,00-12,00 12,00-14,00	4,695 E-5 ----- ----- ----- ----- ----- -----	H1 - silte argiloso de coloração variegada e granulometria média (0 a 7), H2 - areia argilosa de coloração variegada, pouco compacta (7 a 15,45)	Fm. Iriri
PZ-06	8.967.915	524.765	---	-----	-----	Não nos foi passada informações a respeito desse piezômetro	---
PZ-07	8.964.017	543.390	12	0-2,00 2,00-4,00 4,00-6,00 6,00-8,00 8,00-10,00 10,00-12,00 12,00-14,00	3,209 E-5 2,483 E-3 1,762 E-5 2,105 E-5 2,483 E-4 2,376 E-4 1,371 E-4	H1 - solo argiloso de coloração amarela (0 a 12)	Fm. Iriri
PZ-08	8.959.851	551.485	15	0-2,00 2,00-4,00 4,00-6,00 6,00-8,00 8,00-10,00 10,00-12,00 12,00-14,00	2,897 E-4 ----- 1,166 E-2 2,589 E-5 2,944 E-5 4,221 E-5 9,518 E-5	H1 - solo argiloso de coloração amarela (0 a 12)	Fm. Iriri
PZ-09	8.931.699	557.456	12	-----	-----	H1 - solo argiloso de coloração amarela (0 a 12)	Fm. Iriri
PZ-10	8.962.894	548.213	15	0-2,00 2,00-4,00 4,00-6,00 6,00-8,00 8,00-10,00 10,00-12,00 12,00-14,00	1,342 E-4 ----- 2,057 E-5 2,471 E-5 3,346 E-5 5,238 E-5 3,642 E-5	H1 - solo argiloso de coloração amarela (0 a 2), solo silte arenoso de coloração variegada (2 a 15)	Fm. Iriri
PZ-11	8.956.595	548.185	15	0-2,00 2,00-4,00 4,00-6,00 6,00-8,00 8,00-10,00 10,00-12,00 12,00-14,00	5,734 E-5 3,463 E-4 4,966 E-4 2,199 E-4 1,407 E-4 ----- -----	H1 - solo argiloso de coloração amarela (0 a 15).	Fm. Iriri
PZ-12	8.954.867	555.687	9	0-2,00 2,00-4,00 4,00-6,00 6,00-8,00 8,00-10,00 10,00-12,00 12,00-14,00	4,866 E-4 2,999 E-4 3,665 E-3 3,322 E-5 ----- ----- -----	H1 - solo argiloso de coloração amarela (0 a 9).	Fm. Iriri

P. 09 – Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas

Quadro 3 – (continuação...)

ID	COORDENADAS		PROF (m)	TRECHO ENSAIADO	K (cm/s)	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	CLASSIFICAÇÃO ESTRATIGRÁFICA
	NORTE	LESTE					
PZ-13	8.953.793,3	561.660	12	0-2,00 2,00-4,00 4,00-6,00 6,00-8,00 8,00-10,00 10,00-12,00 12,00-14,00	4,966 E-5 3,334 E-5 ----- ----- ----- ----- -----	H1 – solo argiloso de coloração amarela (0 a 5), H2 – areia de granulometria grossa de cor variegada (5 a 12).	Fm. Iriiri
PZ-14	8.954.211	565.172	13,5	0-2,00 2,00-4,00 4,00-6,00 6,00-8,00 8,00-10,00 10,00-12,00 12,00-14,00	3,003 E-5 ----- 2,057 E-4 2,424 E-4 7,744 E-5 2,193 E-4 9,340 E-5	H1 – solo argiloso de coloração amarela (0 a 13,5).	Fm. Iriiri
PZ-15	8.947.304	570.467	9	0-2,00 2,00-4,00 4,00-6,00 6,00-8,00 8,00-10,00 10,00-12,00 12,00-14,00	3,363 E-4 9,258 E-5 7,011 E-5 1,101 E-5 2,004 E-5 2,418 E-4 2,368 E-4	H1 – solo arenoso de coloração cinza e granulometria fina (0 a 4,5), solo arenoso de coloração cinza e granulometria grossa (4,5 a 9).	Fm. Iriiri

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS DE CAMPO

As tabelas a seguir apresentam dados registrados em campo obtidos nos meses de abril de 2012 a abril de 2014. Os resultados que não atenderam as conformidades das legislações estão destacados em vermelho.

A água subterrânea, ao lixiviar os solos e as rochas, enriquece-se em sais minerais em solução, provenientes da dissolução dos seus minerais. Estas reações são favorecidas pelas baixas velocidades de circulação das águas subterrâneas, maiores pressões e temperaturas a que estão submetidas e facilidades de dissolver CO₂ ao percolar o solo não saturado. Por isso, as águas subterrâneas em geral têm concentrações de sais superiores às das águas superficiais (FEITOSA & FILHO, 2000).

A condutividade apresenta-se mais elevada no PM03, seguido do PM04. A Portaria 2914/2011 estipula que até 1.000 mg/L de sólidos totais dissolvidos a água pode ser utilizada para consumo humano. Como a condutividade tem relação direta com os sólidos dissolvidos, o ponto PM03 apresentou maior condutividade e conseqüentemente maior quantidade de sólidos, como observado na **Tabela 1**

Tabela 1. Valores de sólidos totais dissolvidos e condutividade obtidos em campo nos PM (Poços de Monitoramento).

	SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS				CONDUTIVIDADE			
	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04
abr/12	11	6	21	20	16	9	33	134,2
mai/12	8	9	23	160	13	14	35	25
ago/12	16	8	25	15	24	13	39	23
set/12	8	9	-	13	13	14	-	23
out/12	9	8	34	16	14	13	52	24
nov/12	12	9	30	15	19	14	46	23
dez/12	9	9	25	18	13	14	38	27
jan/13	10	8	20	23	15	12	30	35
fev/13	11	8	27	37	17	13	42	56
mar/13	8	8	20	30	16	12	31	46
abr/13	11	9	27	31	17	13	41	48
mai/13	10	9	26	8	19	13	40	12
jun/13	10	10	35	17	15	15	54	26
jul/13	10	18	70	25	16	28	108	38
ago/13	10	12	36	18	16	19	55	28
out/13	8	9	34	13	12	12	52	20
nov/13	12	9	38	18	18	15	59	28
dez/13	7,6	7,37	20,4	9,49	13,8	13,4	37,1	17,3
jan/14	10	9	27	15	16	15	42	20
fev/14	10	10	22	24	15	15	33	37
mar/14	-	11	28	32	-	17	42	49
abr/14	12	11	25	26,4	19	17	39	42,6

O pH registrado nos poços monitorados apresenta-se ácido em todas as campanhas. De acordo **FEITOSA & FILHO (2000)**, a maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5. Nenhum dos pontos atendeu a legislação para potabilidade da água que recomenda de 6,0 a 9,5 de pH, considerando que para esse parâmetro existe apenas uma recomendação da Portaria 2914/11, e não uma exigência como os demais parâmetros. Sendo assim, as águas atendem ao CONAMA 396/08, no qual não há limites para pH.

De acordo com **CORREIA (2008)** as águas subterrâneas geralmente não apresentam problemas devido ao excesso de turbidez, e em alguns casos, águas ricas em íons Fe, podem apresentar uma elevação de sua turbidez quando entram em contato com o oxigênio do ar. A turbidez registrada em todo o monitoramento mostrou-se de baixa a moderada, com exceção do PM03, no qual a turbidez é sempre elevada, e não atende ao preconizado na legislação, sendo que o valor máximo permitido na legislação para consumo humano é de 5 NTU. A **Tabela 2** apresenta os resultados de pH e turbidez na UHE Teles Pires.

P. 09 – Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas

Tabela 2. Valores de pH e turbidez obtidos em campo nos PM (Poços de Monitoramento).

	pH				TURBIDEZ			
	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04
abr/12	5,83	5,96	7,11	6,09	2,6	26,1	19,3	9,3
mai/12	7,34	5,42	6,57	5,78	1,6	4,55	8,1	0,94
ago/12	5,47	5,44	6,35	5,42	1,34	4,96	28,2	0,8
set/12	5,07	4,29	-	4,49	5,63	1,66	-	12,4
out/12	4,97	4,49	5,62	4,71	6,64	4,3	41,9	7,1
nov/12	5,07	4,8	5,56	4,86	0,5	1,79	20,8	29,3
dez/12	4,84	4,88	5,69	4,83	0,14	2,76	48,2	6,34
jan/13	4,76	4,95	5,52	4,73	0,83	3,96	26,6	0,87
fev/13	5,14	5,35	6,01	5,14	1	2,19	47,5	1,13
mar/13	4,88	4,89	5,51	5,08	4,31	1,56	98,8	4,42
abr/13	4,69	3,63	5,56	4,94	0,49	1,84	70,9	0,97
mai/13	4,96	4,68	5,5	5,27	1	1,42	42,5	1,11
jun/13	5,03	5,2	5,88	5,15	0,88	0,5	13,8	10
jul/13	4,56	5,3	5,61	5,11	0,55	2,38	10,6	0,69
ago/13	5,27	5,22	5,48	6,3	3,5	0,74	22,9	1,69
out/13	4,66	4	5,92	5,82	1	1	6,26	1
nov/13	3,84	3,87	5,77	4,96	1	2,66	3,81	3
dez/13	5,38	5,45	6,04	5,53	4,86	1,18	4,47	1,58
jan/14	5,5	5,7	5,5	4,48	1	1	15,5	0,7
fev/14	4,21	5,2	5,39	4,79	1	1	14,4	1
mar/14	-	4,56	5,62	3,17	-	2,31	30,1	4,58
abr/14	4,74	5,17	5,7	5,88	0,7	1,25	57,4	0,67

O nitrato é um dos íons mais encontrados em águas naturais, geralmente ocorrendo em baixos teores nas águas superficiais, mas podendo atingir altas concentrações em águas profundas, de acordo com **ALABURDA & NISHIHARA (1998)**. Nas amostras monitoradas nos poços, durante todo o monitoramento, o nitrato atendeu a legislação.

O nitrito em abril de 2014 apresentou um valor acima do permitido pela Portaria 2914/2011 apenas no PM04 (2,9 mg/L), o que pode ter relação com as chuvas fortes que caíram na região nesse período. As chuvas podem dissolver substâncias e arrastá-las para os aquíferos.

De acordo com **ALABURDA & NISHIHARA (1998)** o nitrito, quando presente na água de consumo humano, tem um efeito mais rápido e pronunciado do que o nitrato, e se for ingerido diretamente pode ocasionar problemas relacionados ao metabolismo da hemoglobina do sangue, e o nitrito, juntamente com outros compostos nitrogenados são indicadores de contaminação do aquífero e de possíveis condições higiênico-sanitárias insatisfatórias. A **Tabela 3** registra os valores de nitrato e nitrito medidos nos poços de monitoramento.

P. 09 – Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas

Tabela 3. Valores de nitrato e nitrito obtidos em campo nos PM (Poços de Monitoramento).

	NITRATO				NITRITO			
	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04
abr/12	0,4	0,3	0,05	0,15	0,001	0,01	0,028	0,116
ago/12	0,01	0,01	0,01	0,14	0,001	0,001	0,001	0,001
dez/12	0,02	0,04	0,03	0,01	0,003	0,001	0,015	0,002
abr/13	0,001	0,001	1,347	0,001	0,01	0,01	0,05	0,16
ago/13	0,01	0,01	0,04	0,09	0,001	0,001	0,786	0,013
dez/13	0,01	0,01	0,05	0,01	0,001	0,001	0,021	0,001
abr/14	0,2	0,3	0,05	2,9	0,2	0,3	0,05	2,9

Os coliformes termotolerantes são um grupo de bactérias indicadoras de organismos originários predominantemente do trato intestinal humano e de outros animais (**VON SPERLING, 1996**). A presença dessas bactérias na água pode ser um indicativo da presença de organismos patogênicos. Do total de amostras analisadas, 62,3% apresentaram contaminação. A maior contaminação por coliformes termotolerantes foi registrada nos poços PM02 e PM03, conforme o **Tabela 4** e a **Figura 13. SILVA & ARAÚJO (2003)** encontraram 90,8% de contaminação em amostras de água subterrânea utilizada para consumo humano em duas áreas urbanas na cidade de feira de Santana (BA).

Vários fatores podem ser responsáveis pela contaminação da água de poços, como a falta de manutenção do reservatório, localização do poço, lançamento de esgotos sanitários, ou mesmo pela ação de precipitações pluviométricas, afetando a qualidade das águas. A Portaria do Ministério da Saúde 2914/11 recomenda ausência (<1,0) desses organismos na água para consumo humano.

Tabela 4. Valores de coliformes termotolerantes.

Campanhas	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04
abr/12	0	2	47,8	0
mai/12	1	13	7,5	47
ago/12	0	0	0	0
dez/12	0	42,9	200	40,6
abr/13	0	831	200	0
ago/13	0	200	200	0
dez/13	0	75	73,8	31
abr/14	3,1	2	9,9	12,4

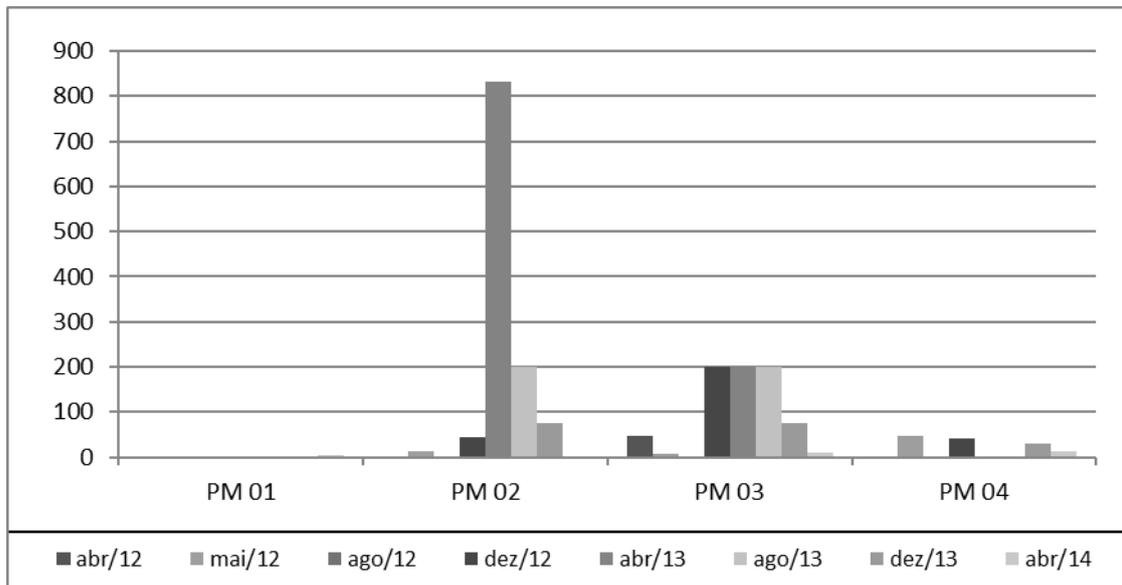


Figura 13. Registro de coliformes termotolerantes nos Poços de monitoramento da UHE Teles Pires.

4.2. VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS DE LABORATÓRIO

A Tabela 5 a seguir apresenta todos os resultados das análises realizadas em laboratório durante o período de estudos. Os resultados que não atenderam a legislação estão destacados em vermelho.

Tabela 5. Resultados obtidos através das análises de laboratório da água da UHE Teles Pires.

PARÂMETROS	CAMPANHAS	PONTOS				Legislações (VMP)	
		PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	396/08	2914/11
Alumínio total (mg/L)	Abril/2012	0,511	0,142	1,551	0,086	0,2	0,2
	Agosto/2012	0,258	0,153	1,263	0,046		
	Dezembro/2012	0,423	0,497	0,437	0,463		
	Abril/2013	1,294	1,194	0,461	0,083		
	Agosto/2013	2,098	0,087	7,689	7,677		
	Dezembro/2013	1,104	0,123	0,579	0,085		
	Abril/2014	1,02	0,011	0,026	0,016		
Arsênio Total (mg/L)	Abril/2012	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01
	Agosto/2012	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
	Dezembro/2012	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
	Abril/2013	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
	Agosto/2013	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
	Dezembro/2013	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
	Abril/2014	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01		
Cádmio Total (mg/L)	Abril/2012	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,005	0,005
	Agosto/2012	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001		
	Dezembro/2012	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001		
	Abril/2013	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001		
	Agosto/2013	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001		

P. 09 – Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas

PARÂMETROS	CAMPANHAS	PONTOS				Legislações (VMP)	
		PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	396/08	2914/11
	Dezembro/2013	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001		
	Abril/2014	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001		
Cálcio Total (mg/L)	Abril/2012	2,596	3,221	6,903	4,916	NR	NR
	Agosto/2012	4,94	11,24	9,381	10,93		
	Dezembro/2012	29,58	30,27	22,95	32,19		
	Abril/2013	20,16	19,19	13,67	12,35		
	Agosto/2013	48,24	0,553	10,53	10,88		
	Dezembro/2013	9,962	14,3	16,28	11,57		
	Abril/2014	5,2	<0,05	3,20	4,0		
Cromo Total (mg/L)	Abril/2012	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,05	0,05
	Agosto/2012	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005		
	Dezembro/2012	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005		
	Abril/2013	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005		
	Agosto/2013	0,009	0,007	0,005	< 0,005		
	Dezembro/2013	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005		
	Abril/2014	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005		
Chumbo Total (mg/L)	Abril/2012	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,01	0,01
	Agosto/2012	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005		
	Dezembro/2012	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005		
	Abril/2013	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005		
	Agosto/2013	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005		
	Dezembro/2013	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005		

P. 09 – Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas

PARÂMETROS	CAMPANHAS	PONTOS				Legislações (VMP)	
		PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	396/08	2914/11
	Abril/2014	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005		
Cloreto Total (mg/L)	Abril/2012	3	3	2	3	250,0	250,0
	Agosto/2012	9,2	9,2	8,8	9,2		
	Dezembro/2012	7,56	8,82	6,3	8,82		
	Abril/2013	13,4	15,2	11,7	14,7		
	Agosto/2013	7,5	9,0	9,5	6,5		
	Dezembro/2013	9	10,5	9	6,6		
	Abril/2014	15,5	11,0	10,5	11,5		
Cobalto Total (mg/L)	Abril/2012	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	NR	NR
	Agosto/2012	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006		
	Dezembro/2012	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006		
	Abril/2013	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006		
	Agosto/2013	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006		
	Dezembro/2013	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006		
	Abril/2014	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006		
Cobre total (mg/L)	Abril/2012	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	2,0	2,0
	Agosto/2012	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003		
	Dezembro/2012	<0,003	<0,003	<0,003	0,004		
	Abril/2013	<0,003	0,013	<0,003	<0,003		
	Agosto/2013	0,027	0,006	0,03	0,029		
	Dezembro/2013	0,012	0,013	0,012	0,011		
	Abril/2014	<0,003	0,005	0,007	0,008		

P. 09 – Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas

PARÂMETROS	CAMPANHAS	PONTOS				Legislações (VMP)	
		PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	396/08	2914/11
Dureza Total (mg/L)	Abril/2012	4	2	8	6	NR	500,0
	Agosto/2012	10	10	18	18		
	Dezembro/2012	8	6	6	14		
	Abril/2013	10,0	10,0	16,0	20,0		
	Agosto/2013	7,2	3,6	9,0	12,6		
	Dezembro/2013	20	23,5	33,3	16		
	Abril/2014	2,0	2,0	18,0	14,0		
Ferro total (mg/L)	Abril/2012	0,359	0,193	0,584	0,176	0,3	0,3
	Agosto/2012	0,180	0,237	0,270	0,035		
	Dezembro/2012	0,065	0,111	0,398	0,078		
	Abril/2013	2,942	2,745	0,334	0,053		
	Agosto/2013	0,367	0,027	0,340	0,169		
	Dezembro/2013	0,467	0,201	0,351	0,059		
	Abril/2014	<0,001	0,35	0,22	0,02		
Manganês Total (mg/L)	Abril/2012	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	0,1	0,1
	Agosto/2012	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007		
	Dezembro/2012	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007		
	Abril/2013	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007		
	Agosto/2013	0,079	0,009	0,142	0,149		
	Dezembro/2013	0,046	0,064	0,061	0,045		
	Abril/2014	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007		
	Abril/2012	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,001	0,001

P. 09 – Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas

PARÂMETROS	CAMPANHAS	PONTOS				Legislações (VMP)	
		PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	396/08	2914/11
Mercúrio Total (mg/L)	Agosto/2012	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001		
	Dezembro/2012	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001		
	Abril/2013	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001		
	Agosto/2013	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001		
	Dezembro/2013	0,004	0,005	0,003	0,005		
Níquel Total (mg/L)	Abril/2012	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	0,02	0,07
	Agosto/2012	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009		
	Dezembro/2012	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009		
	Agosto/2013	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009		
	Dezembro/2013	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009		
	Abril/2014	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009		
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Abril/2012	< 0,56	< 0,56	< 0,56	< 0,56	NR	NR
	Agosto/2012	< 0,56	< 0,56	< 0,56	< 0,56		
	Dezembro/2012	< 0,56	< 0,56	< 0,56	< 0,56		
	Abril/2013	< 0,56	< 0,56	< 0,56	< 0,56		
	Agosto/2013	< 0,56	< 0,56	< 0,56	< 0,56		
	Dezembro/2013	< 0,56	< 0,56	1,26	< 0,56		
	Abril/2014	< 0,56	< 0,56	< 0,56	< 0,56		
	Abril/2012	< 0,56	< 0,56	< 0,56	< 0,56	NR	NR
	Agosto/2012	< 0,56	< 0,56	< 0,56	< 0,56		
	Dezembro/2012	< 0,56	< 0,56	< 0,56	< 0,56		

P. 09 – Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas

PARÂMETROS	CAMPANHAS	PONTOS				Legislações (VMP)	
		PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	396/08	2914/11
Nitrogênio kjeldahl total (mg/L)	Abril/2013	< 0,56	< 0,56	1,397	< 0,56		
	Agosto/2013	< 0,56	< 0,56	0,826	0,103		
	Dezembro/2013	< 0,56	< 0,56	1,331	< 0,56		
	Abril/2014	< 0,56	< 0,56	1,397	< 0,56		
Potássio Total (mg/L)	Abril/2012	1,457	1,152	6,122	1,412	NR	NR
	Agosto/2012	0,421	0,315	2,476	0,329		
	Dezembro/2012	0,055	0,045	0,164	0,051		
	Abril/2013	0,024	0,017	0,052	0,015		
	Agosto/2013	2,316	0,892	8,978	2,407		
	Dezembro/2013	1,777	0,99	3,802	0,991		
	Abril/2014	1,56	0,852	3,226	1,018		
Sódio Total (mg/L)	Abril/2012	4,336	5,708	8,877	6,801	200,0	200,0
	Agosto/2012	2,974	4,62	14,15	5,263		
	Dezembro/2012	19,71	21,06	13,19	21,18		
	Abril/2013	2,513	2,343	3,533	3,351		
	Agosto/2013	19,59	1,508	26,78	20,52		
	Dezembro/2013	3,34	5,498	4,999	4,017		
	Abril/2014	3,32	6,004	5,237	4,730		
	Abril/2012	35	48	91	41	NR	NR
	Agosto/2012	6	9	40	20		
	Dezembro/2012	33	56	47	48		
	Abril/2013	18,0	21,0	2184,0	42,0		

P. 09 – Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas

PARÂMETROS	CAMPANHAS	PONTOS				Legislações (VMP)	
		PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	396/08	2914/11
Sólidos Totais (mg/L)	Agosto/2013	29,0	31,0	26,0	54,0		
	Dezembro/2013	58	43	113	33		
	Abril/2014	24,0	28,0	51,0	55,0		
Sulfato total (mg/L)	Abril/2012	< 0,11	< 0,01	3	< 0,11	250,0	250,0
	Agosto/2012	< 0,11	< 0,11	1	< 0,11		
	Dezembro/2012	< 0,11	< 0,11	1	< 0,11		
	Abril/2013	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,11		
	Agosto/2013	1,0	< 0,11	6,0	< 0,11		
	Dezembro/2013	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,11		
	Abril/2014	< 0,11	2,0	< 0,11	< 0,11		

Os elementos alumínio e ferro apareceram-se desde o início do monitoramento com valores acima do permitido pela legislação em várias campanhas.

O valor máximo permitido para o alumínio nas legislações é de 0,2 mg/L (**Figura 14**). É comum, nesta região, aparecer concentrações de alumínio na água, corroborando as informações apresentadas no EIA/RIMA. A toxicidade aguda por alumínio é baixa se comparada aos metais pesados, porém existem estudos que correlacionam o nível de alumínio das águas de abastecimento ao aumento de casos de demência tipo Alzheimer (**CETESB, 2001, apud TERRELL, 2007**). Segundo **TERRELL (2007)** de uma maneira geral, é possível relacionar o alumínio com as condições de pH ácido, que facilitam o desprendimento de íons livres e a sua dissolução nas águas subterrâneas.

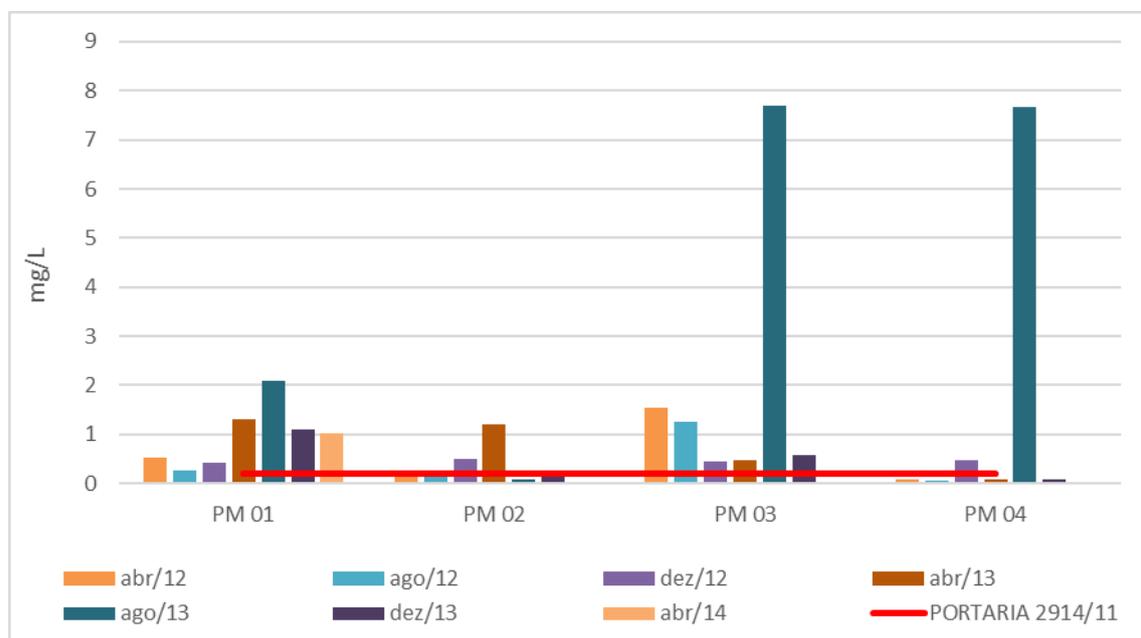


Figura 14. Valores de alumínio nos poços da UHE Teles Pires.

O ferro apresentou valor superior ao recomendado pela legislação nos poços PM01, PM02 e PM03 em algumas campanhas (**Figura 15**). Apesar de o organismo humano necessitar de 19 mg/L de ferro/dia, os padrões de potabilidade exigem que uma água de abastecimento público para consumo humano, não ultrapasse 0,3 mg/litro de ferro. Este limite foi estabelecido em função de problemas estéticos relacionados a presença desse metal na água e do sabor ruim – sabor de ferrugem, que o ferro lhe confere, fazendo o consumidor recusá-la (**NASCIMENTO et al, 2008**). A presença de ferro em águas naturais é devida às interações da água com o solo (**BARROS, 2001**). O ferro é um constituinte natural do solo e das rochas. Em águas subterrâneas, o ferro provém dos solos e dos minerais com os quais a água entra em contato (**MADEIRA, 2003**).

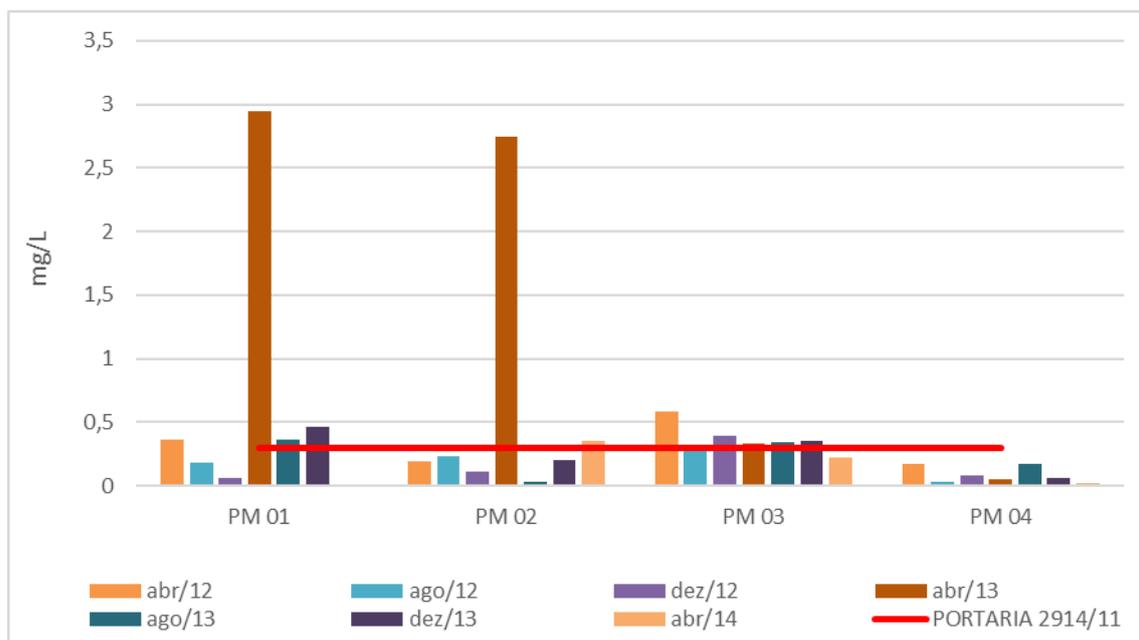


Figura 15. Valores de ferro nos poços da UHE Teles Pires.

O mercúrio foi registrado nos poços em dezembro de 2013 acima do permitido pela legislação, porém, em abril já não houve registro desse elemento, o que pode ser algum tipo de fonte difusa. O mercúrio é relativamente incomum na crosta terrestre e a sua liberação ocorre por processos naturais (erosão e atividade vulcânica) e mineração. As atividades antropogênicas são as principais fontes de contaminação do ambiente. Uma vez liberado, o mercúrio permanece no ambiente, onde assume diversas formas químicas. As emissões para o ar ocorrem principalmente na forma de mercúrio elementar, que é muito estável e pode permanecer na atmosfera por muito tempo, possibilitando seu transporte a longas distâncias (CETESB, 2012). O Quadro 4 a seguir apresenta os resultados das análises realizadas em relação aos parâmetros orgânicos.

Quadro 4. Resultados dos Parâmetros Orgânicos obtidos nos poços de monitoramento em todas as campanhas.

PARAMETROS	CAMPANHAS	PONTOS				LEGISLAÇÕES VMP		UNID
		PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	396/08	2914/11	
Benzeno *	Abril/2012	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	5,0	5,0	µg/L
	Agosto/2012	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004			
	Dezembro/2012	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004			
	Abril/2013	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004			
	Agosto/2013	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004			
	Dezembro/2013	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004			
	Abril/2014	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004			
Etilbenzeno *	Abril/2012	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	200,0	0,2	µg/L
	Agosto/2012	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2			
	Dezembro/2012	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2			
	Abril/2013	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2			
	Agosto/2013	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2			
	Dezembro/2013	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2			
	Abril/2014	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2			
Tolueno *	Abril/2012	< 0,17	< 0,17	< 0,17	< 0,17	170,0	0,17	µg/L
	Agosto/2012	< 0,17	< 0,17	< 0,17	< 0,17			
	Dezembro/2012	< 0,17	< 0,17	< 0,17	< 0,17			
	Abril/2013	< 0,17	< 0,17	< 0,17	< 0,17			
	Agosto/2013	< 0,17	< 0,17	< 0,17	< 0,17			
	Dezembro/2013	< 0,17	< 0,17	< 0,17	< 0,17			
	Abril/2014	< 0,17	< 0,17	< 0,17	< 0,17			
Xileno *	Abril/2012	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	300,0	300,0	µg/L
	Agosto/2012	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002			
	Dezembro/2012	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002			
	Abril/2013	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002			
	Agosto/2013	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002			
	Dezembro/2013	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002			
	Abril/2014	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002			
Aldicarbe **	Abril/2012	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	10,0	10,0	µg/L
	Agosto/2012	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0			
	Dezembro/2012	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0			
	Abril/2013	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0			
	Agosto/2013	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0			
	Dezembro/2013	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0			
	Abril/2014	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0			
Carbofurano **	Abril/2012	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	7,0	7,0	µg/L
	Agosto/2012	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0			
	Dezembro/2012	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0			
	Abril/2013	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0			
	Agosto/2013	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0			
	Dezembro/2013	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0			

PARAMETROS	CAMPANHAS	PONTOS				LEGISLAÇÕES VMP		UNID
		PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	396/08	2914/11	
	Abril/2014	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0			
Pentaclorofenol **	Abril/2012	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	9,0	9,0	µg/L
	Agosto/2012	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002			
	Dezembro/2012	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002			
	Abril/2013	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002			
	Agosto/2013	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002			
	Dezembro/2013	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002			
	Abril/2014	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002			

*BTEX; **Inseticidas.

Durante todo o monitoramento, não foram detectados os compostos BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno), que são provenientes de derivados de petróleo. Os inseticidas Carbamatos (Aldicarbe e Carbofurano) e Organoclorados (Pentaclorofenol) estiveram abaixo do limite de detecção do método. Portanto, não foi detectada nenhuma contaminação das águas subterrâneas por essas substâncias orgânicas durante o período de estudo.

4.3 COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA COM DADOS DO PROGRAMA HIDROSEDIMENTOLÓGICO

De acordo com dados do P.11- Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico da UHE Teles Pires, as maiores precipitações na região ocorrem nos meses de outubro a abril e o período de estiagem se estende de maio a setembro, sendo que nos meses junho a agosto a precipitação é praticamente igual a zero, conforme pode-se verificar na **Figura 16**.

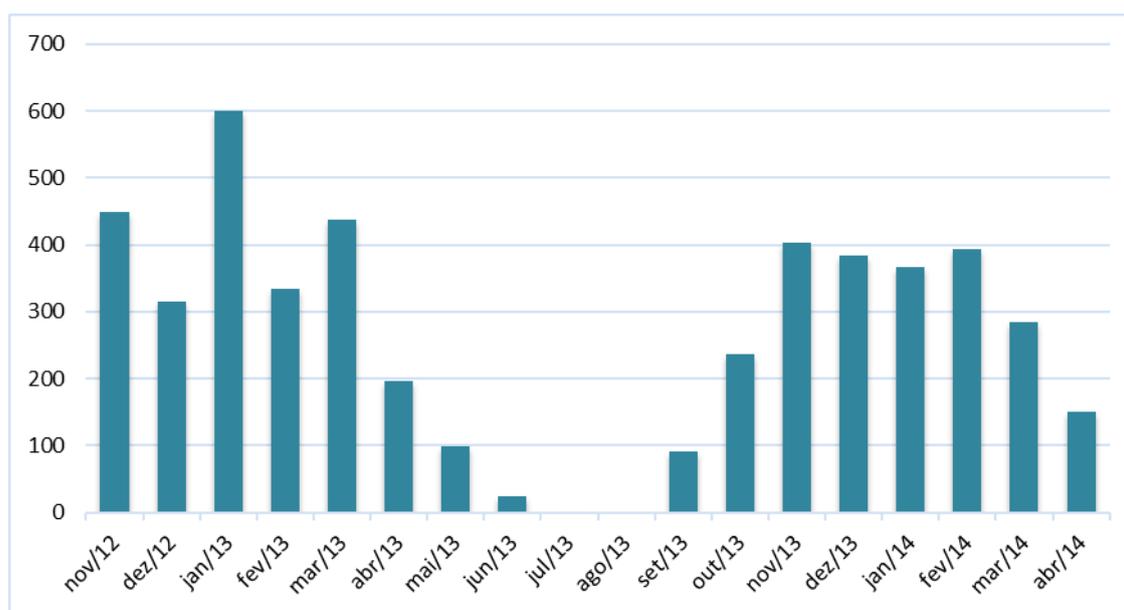


Figura 16. Índices pluviométricos na UHE Teles Pires do período entre novembro de 2012 e abril de 2014.

A infiltração da água no solo está sujeita a diversos fatores, como o tipo de solo (permeabilidade), o relevo, a umidade do solo, a temperatura do solo que pode favorecer a evaporação diminuindo a infiltração, o tipo de chuva (intensidade e duração).

No geral, as informações acima corroboram com os registros dos níveis de água subterrânea, os quais apresentam decréscimo nos meses de menor precipitação (agosto e setembro), e a partir de outubro os níveis começam a subir. O fluxo da água subterrânea pode sofrer variações no sentido, seja pela oscilação de estações seca e chuvosa, seja pelo rebaixamento do lençol freático por ações antrópicas.

4.4 LEITURAS DOS NÍVEIS D'ÁGUA

Conforme **COLLISCHONN & TASSI (2008)** a recarga de água subterrânea ocorre por percolação da água da camada superior do solo que normalmente não está saturada. Em geral a recarga de um aquífero não é contínua, mas depende dos eventos de chuva. Durante os períodos de mais chuva e/ou menos evapotranspiração é que ocorre a recarga mais significativa dos aquíferos, corroborando o que tem sido observado nos poços monitorados, nos quais a partir do início de períodos chuvosos, o nível da água começa a subir.

Na **Figura 17** estão apresentadas as leituras de abril de 2012 a maio de 2014 nos poços de monitoramento. Verifica-se que o nível dos poços apresenta relação direta com o regime pluviométrico, o qual é regulado pela sazonalidade local, e todos os poços apresentaram um comportamento bem semelhante. O PM01 é um poço mais raso e mostra pequena variação no nível da água. Identifica-se alguns picos durante o monitoramento do nível da água nos poços, que podem estar relacionados a eventos chuvosos na região. Percebe-se que todos os poços seguem a mesma tendência.

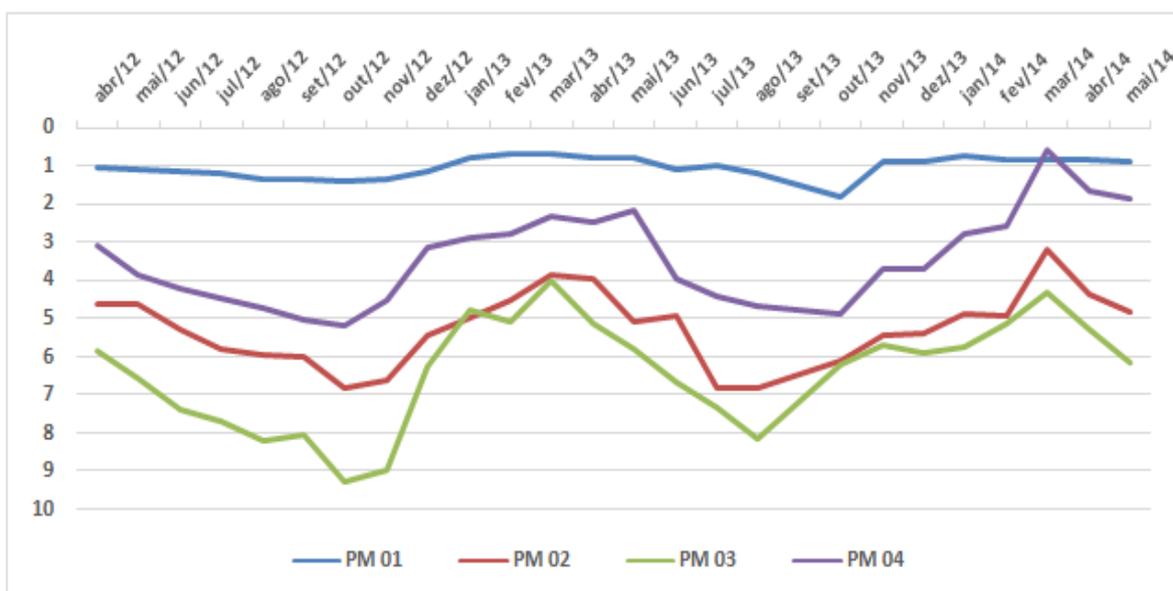


Figura 17. Leituras dos níveis dos 4 (quatro) poços de monitoramento da UHE Teles Pires durante todo o período de estudo.

4.4.1 Leituras de nível d'água nos piezômetros

A seguir estão apresentadas as informações sobre os níveis medidos nos Piezômetros monitorados na área de influência da UHE Teles Pires. O **Tabela 6** apresenta os níveis medidos nos piezômetros durante todo o monitoramento.

Tabela 6. Leituras de nível d'água nos piezômetros.

Mês	PZ01	PZ02	PZ03	PZ04	PZ05	PZ06	PZ07	PZ08	PZ09	PZ10	PZ11	PZ12	PZ13	PZ14	PZ15
JAN/13	-	-	-	-	0,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FEV/13	1,18	2,07	5,16	-	2,6	-	-	-	-	-	-	1,85	-	-	2,18
MAR/13	0,97	1,72	4,21	-	1,88	-	-	-	-	-	-	2,36	-	-	2,27
ABR/13	1,05	1,98	4,15	6,43	2,41	2,06	3,9	7,35	6,18	5,83	5,72	2,23	5,8	5,27	2,3
MAI/13	1,31	3,12	4,87	6,8	2,88	2,04	4,35	8,14	6,63	5,89	5,78	2,98	6,21	5,42	2,41
JUN/13	2,08	4,5	6,27	-	3,24	2,12	5,06	9,58	7,5	6,57	6,8	3,77	7,43	7,82	3,41
JUL/13	3,3	5,03	7,1	7,1	3,42	2,18	5,47	10,41	8,14	7,07	7,78	2,82	7,91	8,21	3,81
AGO/13	4,12	5,42	7,88	7,1	3,68	2,63	5,48	11,14	8,62	7,53	9,52	4,47	8,33	8,5	3,22
SET/13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OUT/13	5,54	5,8	8,88	7,1	3,29	4,14	6,45	8,98	9,05	7,9	10,12	4,44	8,56	9,03	4,72
NOV/13	2,38	3,92	7,3	7,16	2,67	2,59	5,0	10,23	6,0	5,26	5,74	3,45	6,91	6,6	2,89
DEZ/13	2,55	4,33	7,38	7,3	2,91	2,54	4,47	10,28	6,77	5,79	5,28	3,48	7,15	6,89	3,26
JAN/14	1,47	3,12	6,39	6,84	2,8	2,04	4,08	8,93	5,22	5,79	4,77	2,51	6,98	6,76	3,21
FEV/14	1,92	3,18	6,18	6,76	2,28	2,27	4,02	8,65	5,21	5,47	5,19	2,19	5,29	6,13	3,03
MAR/14	-	-	5,38	6,72	2,39	2,64	3,81	7,39	5,92	4,76	4,08	0,12	4,52	4,32	2,91
ABR/14	1,09	-	5,19	6,87	2,34	2,51	3,9	7,34	5,97	5,6	4,16	1,4	4,89	4,66	3,28
MAI/14	1,59	2,74	6,03	6,83	2,91	2,65	3,8	8,8	5,95	6,16	4,11	1,95	6,8	7,55	3,22

- nível não aferido.

Segue abaixo a representação gráfica de todos os níveis medidos nos piezômetros monitorados no período de janeiro de 2013 a maio de 2014 (**Figuras 18 a 32**). De uma maneira geral, todos apresentam variações sazonais, com o período de seca registrando rebaixamento do nível da água. O PZ04 apresenta pequenas variações na faixa de 0,9 m. O PZ12 no mês de março mostrou grande elevação do nível, chegando a 0,12 m, o que tem relação com as fortes chuvas desse período, baixando mais de um (1) metro no mês seguinte.

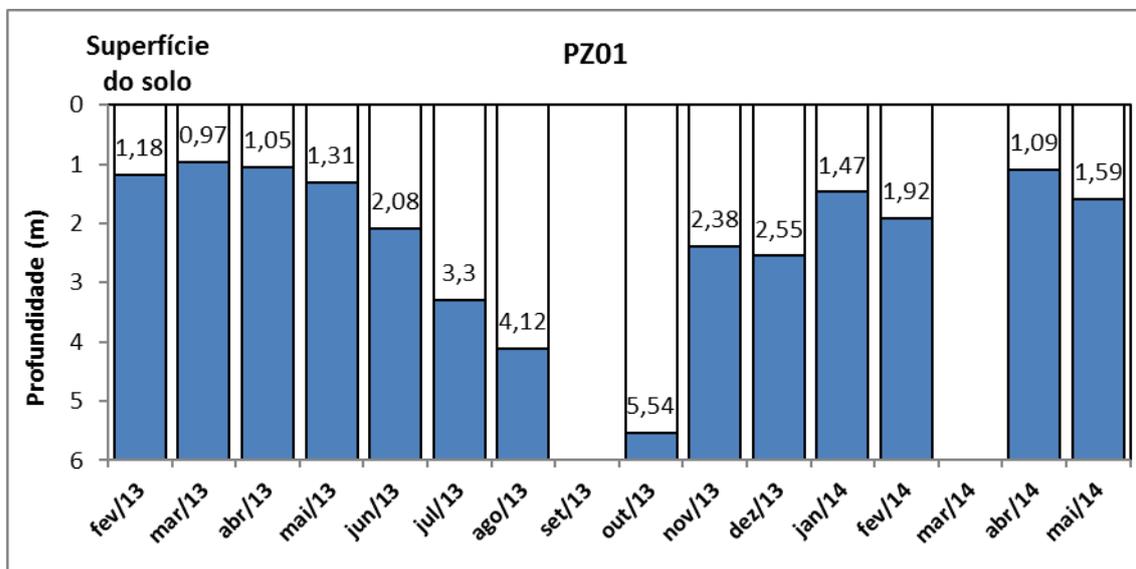


Figura 18. Níveis d'água do PZ01.

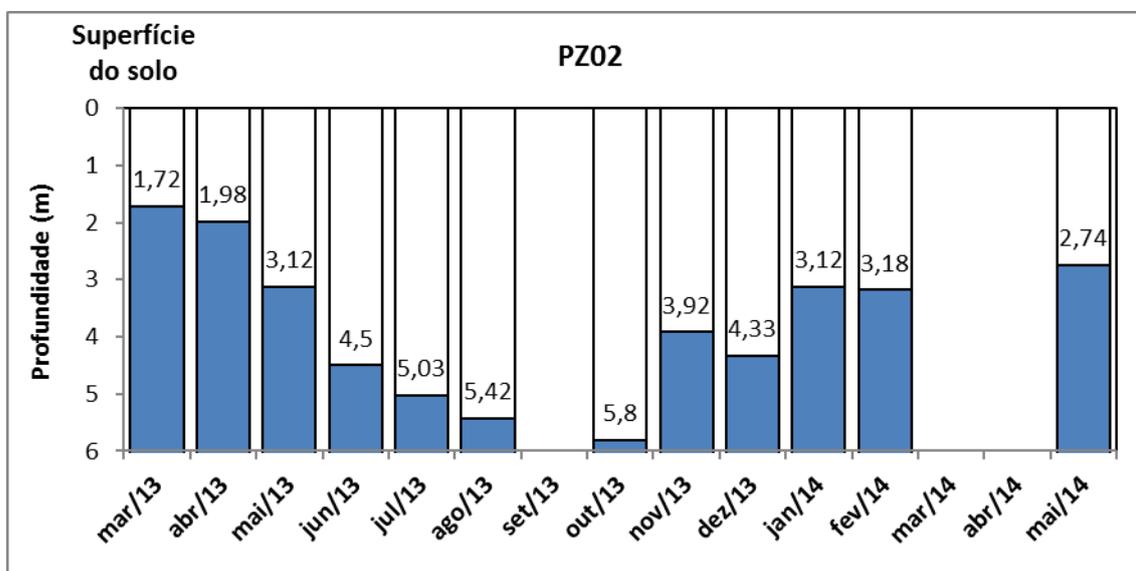


Figura 19. Níveis d'água do PZ02.

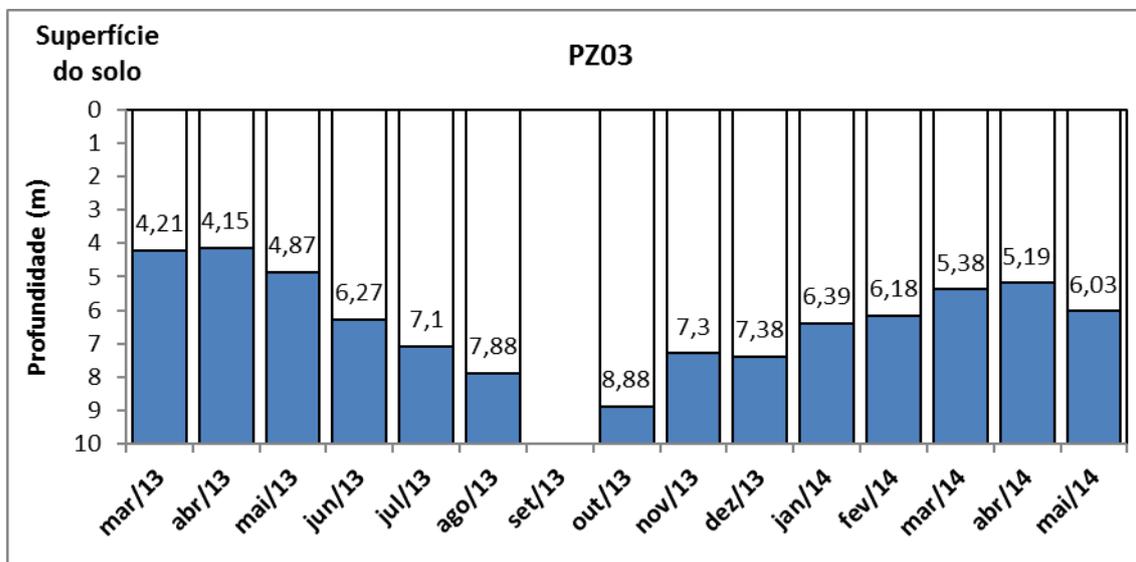


Figura 20. Níveis d'água do PZ03.

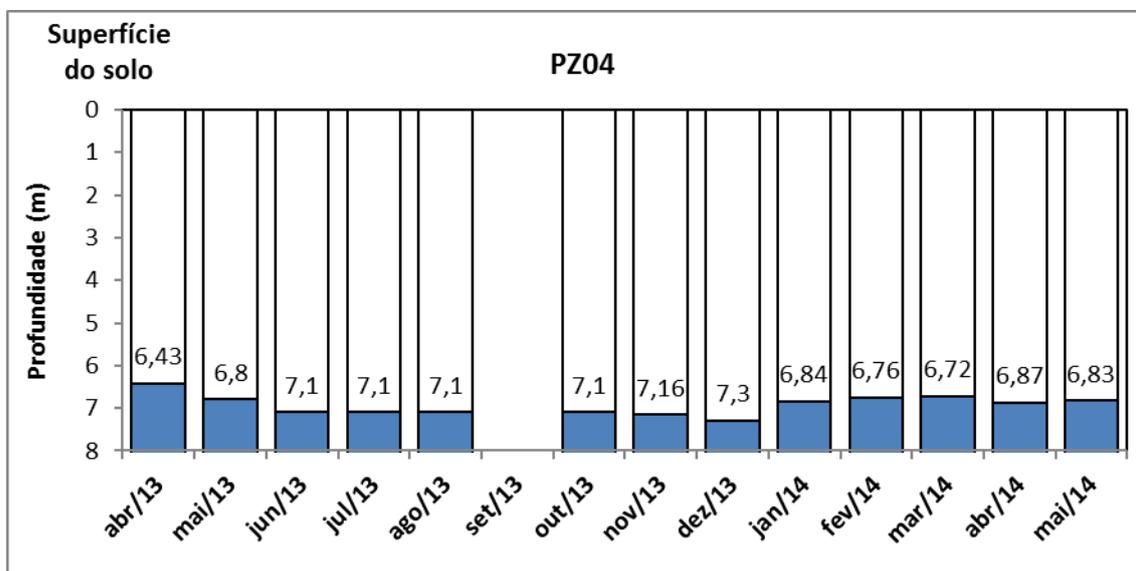


Figura 21. Níveis d'água do PZ04.

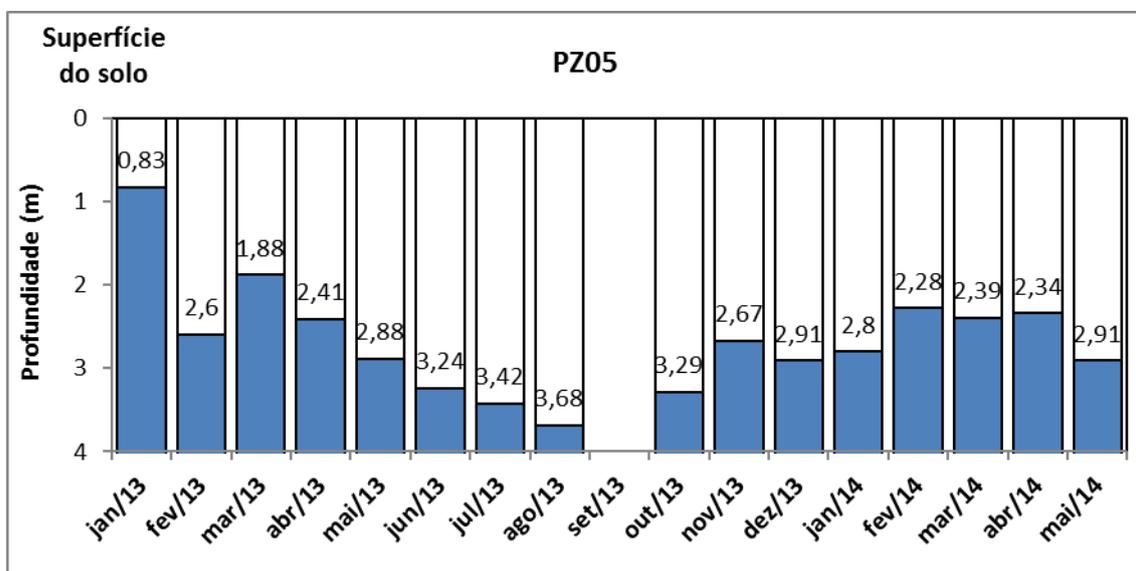


Figura 22. Níveis d'água do PZ05.

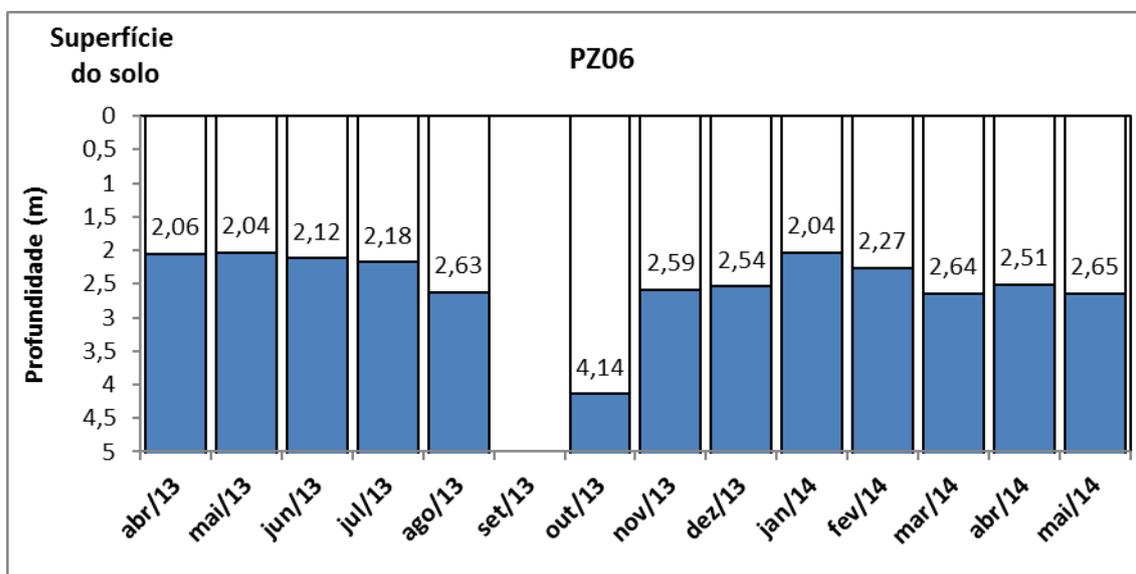


Figura 23. Níveis d'água do PZ06.

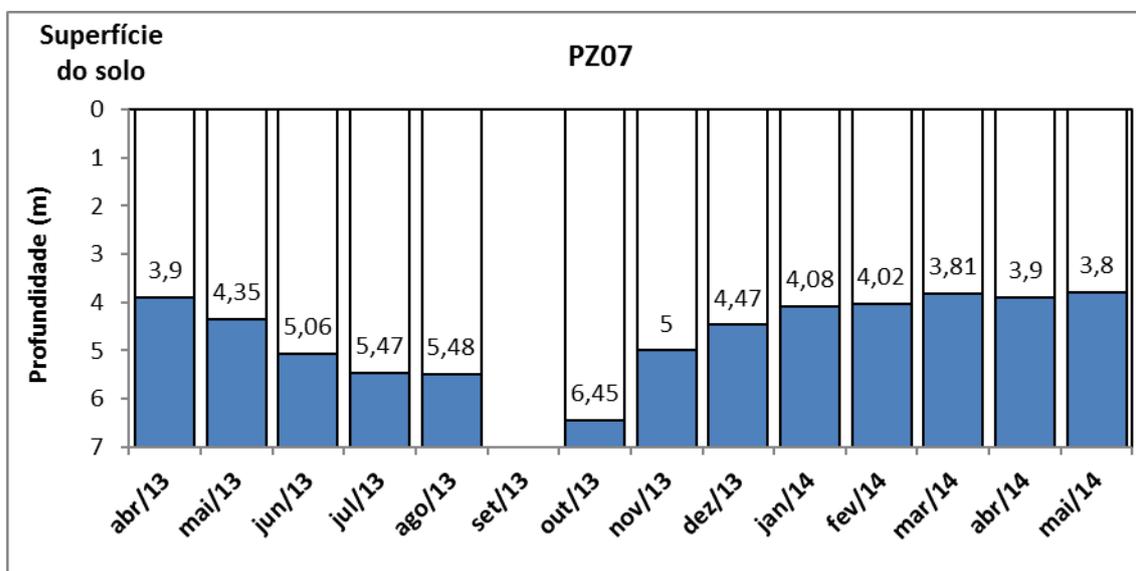


Figura 24. Níveis d'água do PZ07.

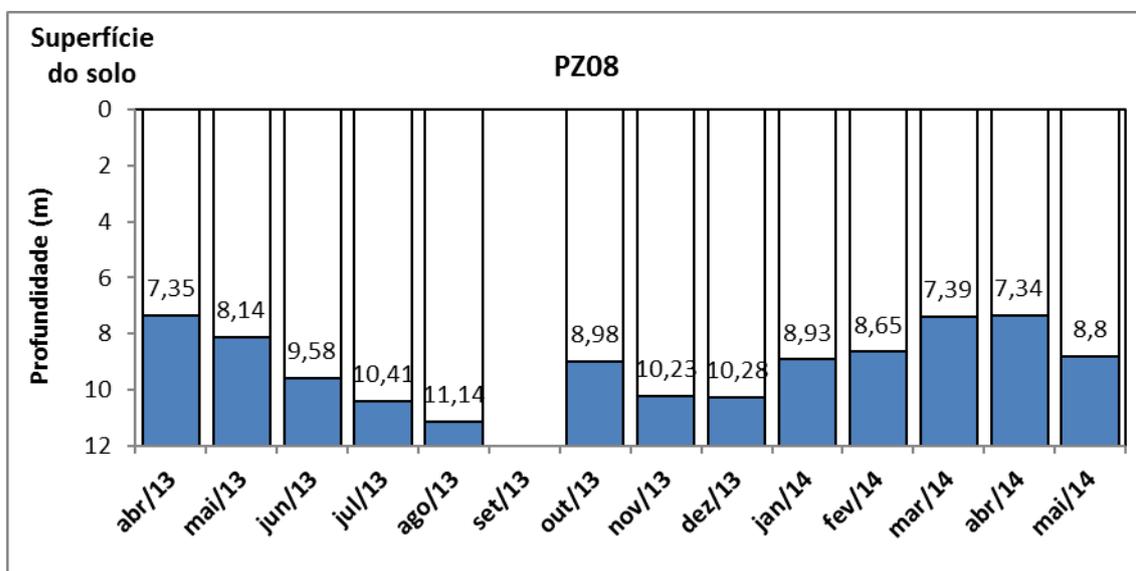


Figura 25. Níveis d'água do PZ08.

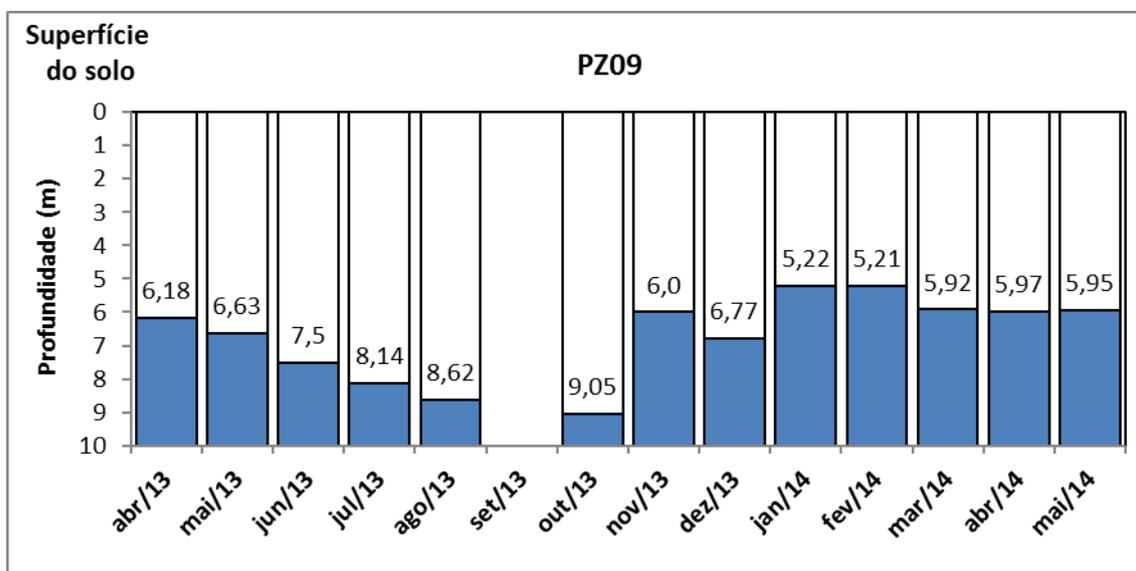


Figura 26. Níveis d'água do PZ09.

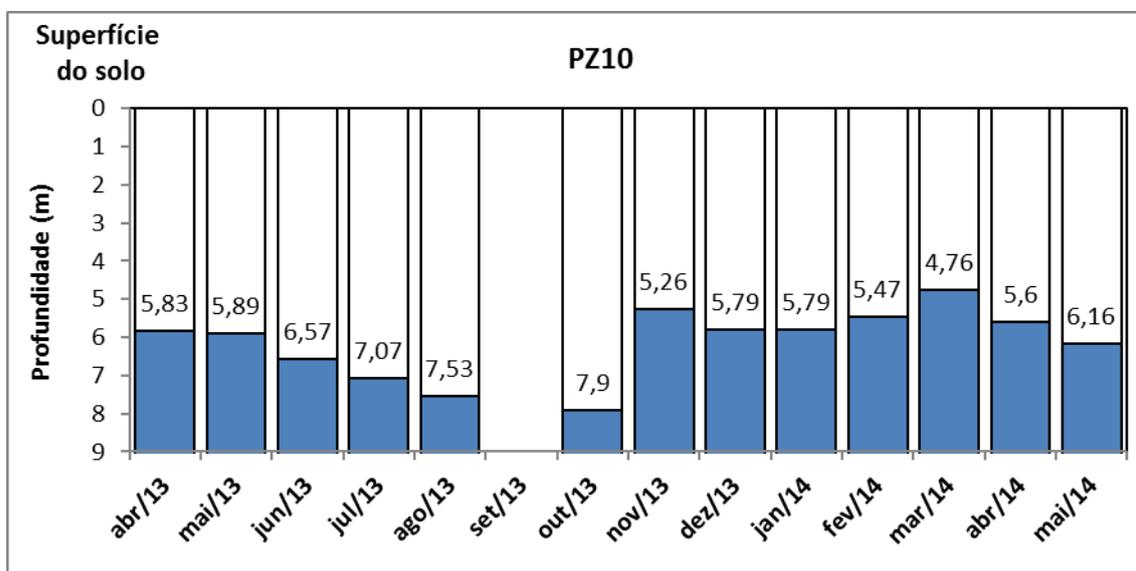


Figura 27. Níveis d'água do PZ10.

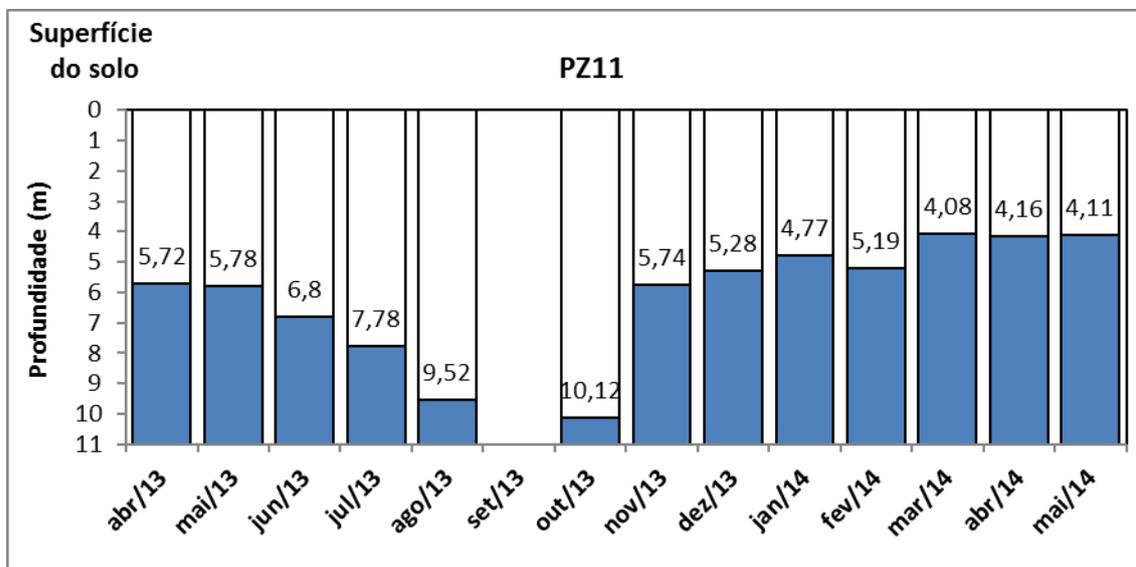


Figura 28. Níveis d'água do PZ11.

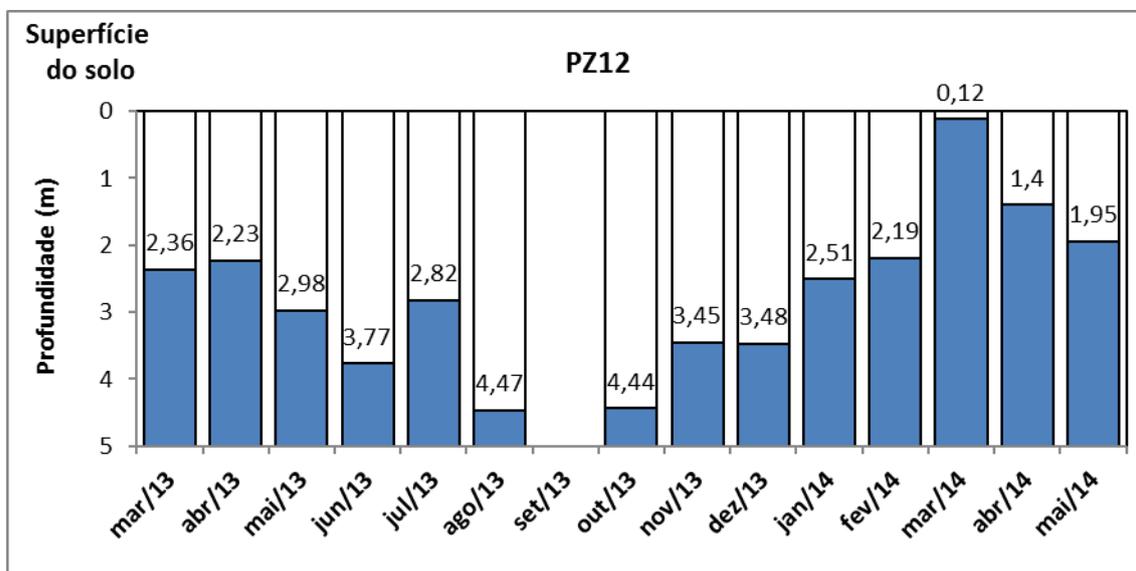


Figura 29. Níveis d'água do PZ12.

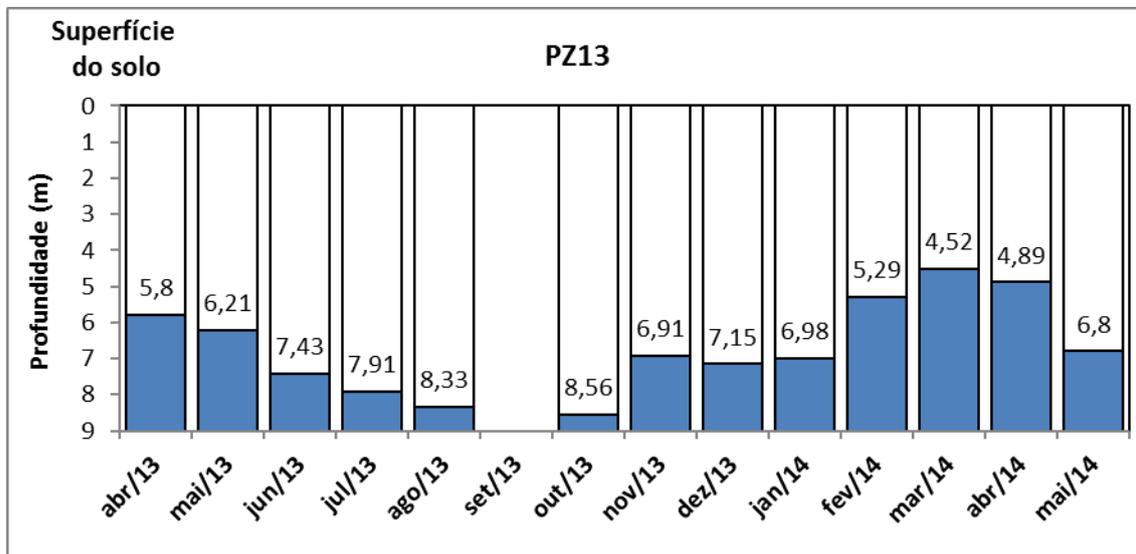


Figura 30. Níveis d'água do PZ13.

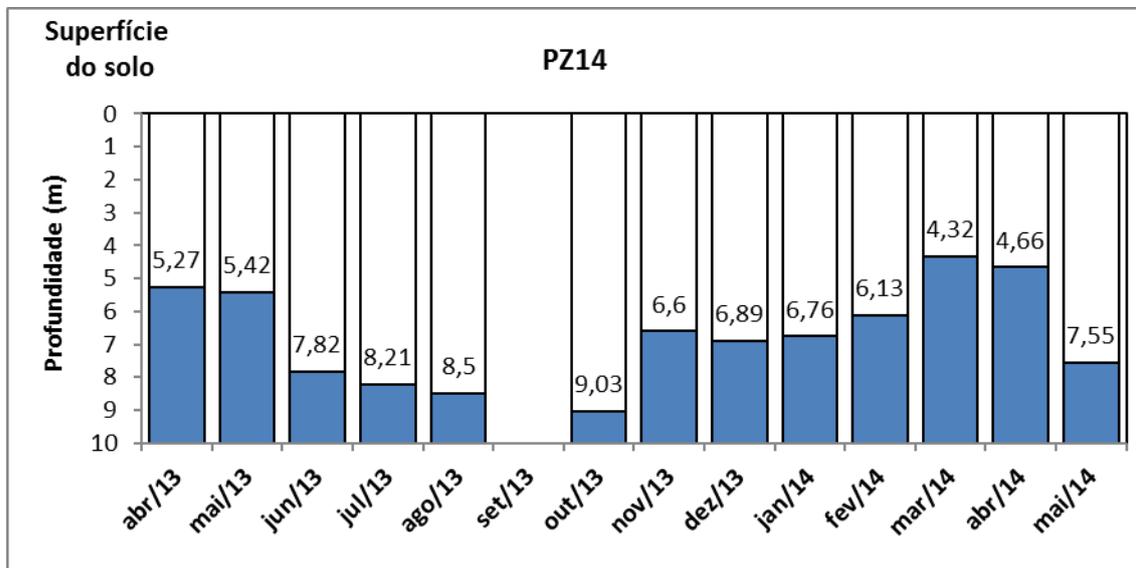


Figura 31. Níveis d'água do PZ14.

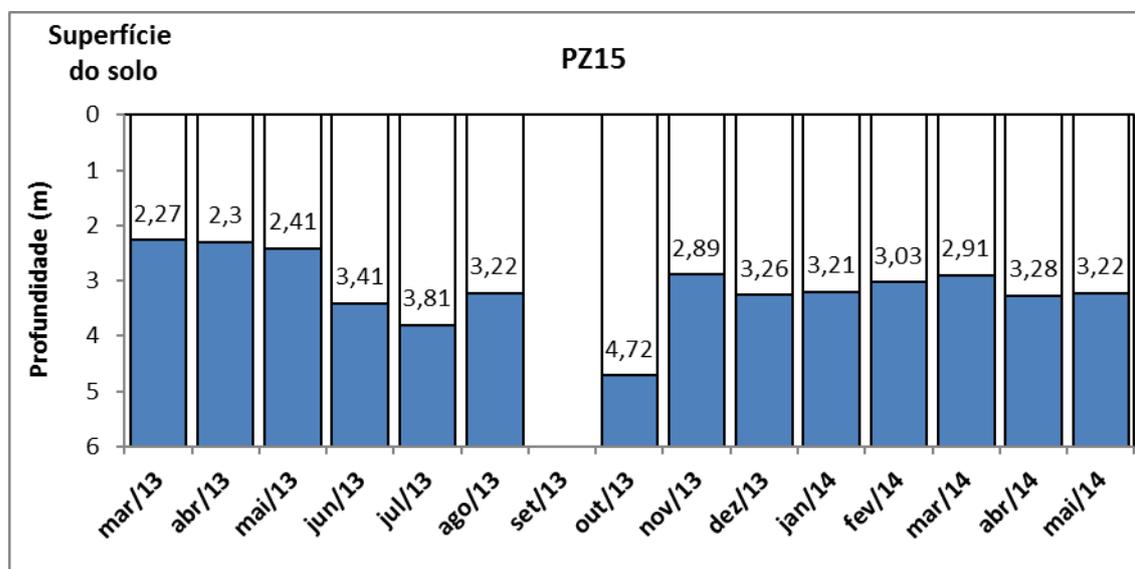


Figura 32. Níveis d'água do PZ15.

Pode-se identificar semelhanças maiores no comportamento do nível de alguns poços (**Figura 33**), como nos PZ01, PZ02, PZ03, PZ06 e PZ09, todos localizados mais próximos um do outro. Os PZ09, PZ10, PZ11, PZ12, PZ13 e PZ14 apresentam grande semelhança na variação dos seus níveis, e também se encontram próximos um do outro, estes mais próximos a calha do rio. O PZ04 apresenta variações muito pequenas no nível.



Figura 33. Tendência dos níveis nos piezômetros localizados na UHE Teles Pires.

4.5 MODELAGEM REGIONAL DO SOERGUMENTO DO LENÇOL FREÁTICO

O prognóstico do soerguimento do lençol freático foi feito com a modelagem matemática do comportamento hidrodinâmico do lençol freático com o MODFLOW (análise matemática). Embora o MODFLOW aceite o uso de sistemas geológicos complexos, o modelo não aceita camadas fraturadas, o que poderia ser mais representativo da geologia da região. Por outro lado, o mapeamento geológico é limitado pela cobertura de solo e não houve necessidade de fazer levantamentos geofísicos que poderiam oferecer informações sobre grandes sistemas de fraturas, limitando desta forma o modelo a um modelos matemático de quatro camadas e um semi-espço, que representa um modelo geológico ainda mais simples, de duas camadas, sendo que quatro camadas matemáticas representam a camada geológica superficial, e o semi-espço representa a camada geológica mais profunda e menos permeável.

Na área de interesse do AHE Teles Pires o reservatório é bem encaixado e a geologia é relativamente simples e composta por materiais pouco permeáveis, o que torna o modelo geológico representativo. Porém, a eventual presença de sistemas de fraturas desconhecidas pode afetar os resultados.

Na **Figura 34** é apresentado o resultado final da modelagem, indicando a profundidade do Lençol Freático após o enchimento do reservatório.

As áreas em azul escuro e claro na **Figura 34**, que ocorrem na área a jusante do barramento não tem validade física, visto que o MODFLOW simulou a presença do reservatório considerando um nível d'água definido matematicamente em cada célula igual ao nível do reservatório e não pela criação de uma barreira de água. Desta forma, a barreira de água que define a barragem e que segura o fluxo da água para jusante, não pode ser simulada nesta parte do modelo, produzindo essa anomalia matemática a jusante da barragem, sendo que tanto a água do reservatório como do lençol freático serão barradas pela barragem na direção de fluxo radial ao rio Teles Pires. Por outro lado, o lençol freático é definido principalmente por fluxo transversal ao rio, e por isso a barragem não deve alterar as condições do lençol freático a jusante do barramento.

No mapa da **Figura 34** também é identificada uma área em que pode haver surgimento de água nas proximidades das margens. Essa área é identificada pela letra "A", e deverá ser monitorada no Programa de Monitoramento das Encostas Marginais, que é feito pela VERACRUZ. Por outro lado, não há identificação de nenhuma área que pode ocorrer afloramento de água na região, podendo haver apenas eventual encharcamento do solo em locais pontuais próximos as margens do futuro reservatório, com eventuais ocorrências de afloramento de água.

O modelo evidencia que após o enchimento do reservatório, a maior parte da área de abrangência continuará com níveis do lençol freático com cota maior que a cota do reservatório, indicando o baixo nível de influência do reservatório sobre o lençol freático. É válido lembrar que a modelagem com o MODFLOW oferece valores de carga hidráulica, ou *Hydraulic Head (h)*, que está sendo interpretada como cota do lençol freático, porém, em locais onde a carga hidráulica for menor que a cota dos extratos geológicos mais maciços (e.g. embasamento) implicará na inexistência do lençol freático. Deve-se levar em conta que a modelagem tem células matemáticas grandes e uma limitação natural do conhecimento geológico de sub-superfície devido à grande extensão da área analisada, o que oferece uma limitação aos resultados, fazendo com que seja importante a observação de campo durante o enchimento do reservatório.

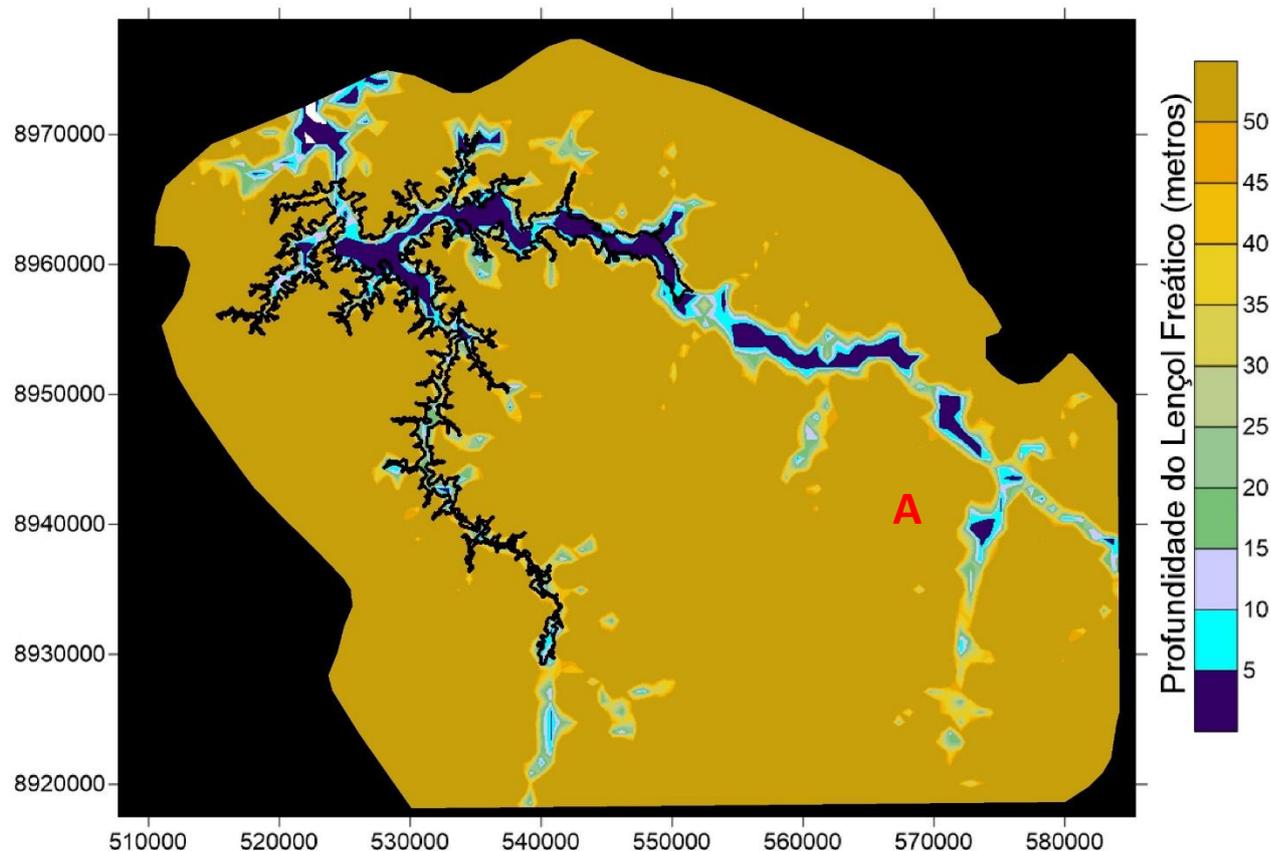


Figura 34. Profundidade do lençol freático após o enchimento do reservatório. Resultados válidos principalmente para a porção montante da barragem, principalmente no entorno do reservatório, onde se encontra a maioria dos piezômetros. Os resultados a jusante da barragem não são válidos pois o MODFLOW não está simulando uma barragem, e sim um lago com cota de 220,44 metros.

Por fim, é válido destacar que o desvio padrão do ajuste dos dados dos piezômetros é de 52 centímetros, sendo um desvio razoável ao considerar a baixa resolução topográfica do modelo matemático e a simplificação da geologia local. O relatório completo está apresentado no **Anexo 3**.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento da qualidade da água subterrânea e dos níveis da água dos poços de monitoramento é de grande importância para conclusões acerca do ambiente estudado, sendo necessária a avaliação dos poços de monitoramento do nível da água em vários pontos, através dos piezômetros. Esses poços estão distribuídos ao longo de todo o reservatório, sendo avaliado também o comportamento da superfície potenciométrica.

Além dos dados gerados nesse presente programa, serão considerados os resultados obtidos com a execução do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico, tais como os níveis dos rios e do futuro reservatório, bem como aqueles do Programa de Monitoramento da Estabilidade das Encostas Marginais e de Processos Erosivos.

Todos os poços apresentam água com pH ácido. A condutividade elétrica esteve mais elevada nos PM03 e PM04 e conseqüentemente maior concentração de sólidos totais dissolvidos nesses poços. Ressalta-se que o PM03 não é utilizado para consumo humano. A turbidez demonstrou-se mais elevada no PM03, não atendendo ao limite permitido para consumo humano pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (< 5,0 mg/L NTU).

O elemento alumínio apresentou valores acima do determinado nas legislações em algumas campanhas. É comum, nesta região, aparecer concentrações de alumínio na água, o que corrobora com as informações do EIA/RIMA.

Assim como o alumínio, o elemento ferro também apresentou valores acima do estabelecido nas legislações em algumas campanhas. A presença de ferro em águas naturais é devida às interações da água com o solo. Essa interação é favorecida em períodos chuvosos. Além disso, as características litológicas da região influenciam a presença desse elemento nas águas.

Desde o início do monitoramento, os poços que mais apresentaram contaminação fecal são os PM02 e PM03, que não atendem aos padrões de potabilidade. O PM01 somente registrou coliformes termotolerantes em duas (2) campanhas. Não foram observadas contaminações por produtos orgânicos em nenhum dos poços monitorados na UHE Teles Pires.

O monitoramento dos piezômetros teve início em janeiro de 2013 com a instalação de um (1) piezômetro, e em fevereiro começaram a ser monitorados seis (6) piezômetros, sendo que no mês de abril todos os piezômetros foram instalados e começaram a ser monitorados, um total de 15 Pz's.

Verificou-se que o nível dos poços apresenta relação direta com o regime pluviométrico, o qual é regulado pela sazonalidade local, e todos os poços apresentaram um comportamento bem semelhante, o que foi confirmado com os dados de pluviometria do Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico. De uma maneira geral, os níveis dos poços apresentam alterações e comportamentos sazonais, estando de acordo com o regime pluviométrico da região.

Segundo os resultados obtidos com a modelagem regional do lençol freático, o soerguimento do lençol freático no entorno do AHE Teles Pires se limitará a Área de Preservação Permanente (APP) e suas proximidades (~50 a 100 metros), e deve ser menor que 50 cm em 92% da APP, havendo poucas anomalias pontuais, que podem deixar essas áreas encharcadas, mas com raras ocorrências de afloramento do lençol freático.

Além disso, na cidade e Paranaíta, que está muito distante do reservatório, não se espera haver efeitos da elevação do lençol freático devido ao empreendimento.

Desta forma, os resultados indicam que há necessidade de se monitorar apenas uma pequena área durante o monitoramento dos processos erosivos, a qual se encontra a montante

P. 09 – Programa de Monitoramento das Águas Subterrâneas

do remanso do futuro reservatório. A equipe da VERACRUZ monitorará esse local antes, durante e após o enchimento do reservatório para avaliar a validade do modelo matemático.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **Planejamento de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores**. NBR 9897. JUN. 1987.
- ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. **Presença de Compostos de Nitrogênio em Águas de Poços**. Rev. Saúde Pública, vol. 32(n.2), p.531-7, abril de 1998.
- ALMEIDA F.F.M., NEVES B.B.B., FUCK R.A. **Províncias Estruturais Brasileiras**. In: SBG, VIII Simp. Geol. Nordeste, Campina Grande, Atas p. 363-391, 1977.
- AMARAL, G. (1974). **Geologia Pré-Cambriana da região amazônica**. 1974. 212p. Tese (Mestrado) – Instituto de Geociências - Depto de Paleontologia e Estratigrafia, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1974.
- APHA. AWWA.WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22th ed. Washington, 2012.
- BARROS, A. R. B. **Remoção de íons metálicos em água utilizando diversos adsorventes**. Dissertação de Mestrado, UFSC, 2001.
- BRANCO, S.M. - **Hidrobiologia aplicada a engenharia sanitária e ambiental**. 2ª Ed. São Paulo.CETESB. 1978.620p.
- CETESB. **Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo**. Disponível em: <[http:// www.cetesb.sp.gov.br/ Agua / rios / índice.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice.asp)> Acesso em dezembro de 2010.
- CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 396 de 03 de Abril de 2008**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em Abril de 2008.
- CORDANI, U.G.; BRITO NEVES, B.B. **The geologic evolution of South America during the Archean and Early Proterozoic**. Rev. Bras. Geoc.,12 (1/3): 305-312, 1982.
- CORDANI U.G., TASSINARI C.C.G., TEIXEIRA W., BASEI M.A.S., KAWASHITA K. (1979). **Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos**. In: Congresso Geológico Chileno, 2, Arica, Actas, pp 137-148, 1979.
- CORREIA, A.; BARROS, E.; SILVA, J.; RAMALHO, J. **Análise da Turbidez da Água em Diferentes Estados de Tratamento**.VIII ERMAC 8º Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional, Novembro de 2008. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Natal/RN.
- FEITOSA, F.A.C. & FILHO, J.M. 2000. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 2ª Ed. Serviço Geológico do Brasil - CPRM.
- GIBBS, A. K.; BARRON, C. N. (1983) **The Guiana Shield reviewed**. Episodes, v. 2, p. 7-14.

HASUI, Y., HARALAY, N.L.E. & SCHOBENHAUS, C. **Elementos geofísicos e geológicos da Região Amazônica: subsídios para o modelo geotectônico.** Anais I Simpósio de Geologia da Amazônia, 2; 129-141, Manaus, 1984.

ISSLER, R. S.; LIMA, M. I. C. de. (1987). Amazonian Craton (Brazil) granitogenesis and its relation to geotectonic units. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, Rio de Janeiro, v.17, n.4, 1987, p.426-441.

MACAMBIRA, J.B., RAMOS, J.F.F., ASSIS, J.F.P., FIGUEIRAS, A.J.M. **Projetos Serra Norte e Pojuca**, Relatório final. Convênio DNPM/DOCEGEO/UFPA, Belém, 1990.

MADEIRA, V.S. **Desenvolvimento de um carvão adsorvente para remoção de íons ferro em águas naturais.** Dissertação de mestrado, UFSC. 2003.

NASCIMENTO, S.A.M.; BARBOSA, J.S.F.; CRUZ, M.J.M.; LIMA, C.M. **Hidrogeoquímica e índice de saturação dos minerais no sistema aquífero do Alto Cristalino de Salvador, Bahia.** Revista Brasileira de Geociências, junho de 2008.

NEUMAN, S.P. (1972), **Theory of flow in unconfined aquifers considering delayed response of the water table**, Water Resources Research, 8(4), 1031-1045.

NEUMAN, S.P. (1975), **Analysis of pumping test data from anisotropic unconfined aquifers considering delayed yield**, Water Resources Research, 11(2), 329-342.

PINTO, A.L. **Hidrogeologia e Qualidade das Águas Subterrâneas da Cidade de Três Lagoas/MS.** CLIMEP – Climatologia e Estudos da Paisagem. <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/climatologia/index>- Rio Claro (SP), Vol.5 – n.2 – julho/dezembro/2010.

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. **Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA).** Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 8, n. 4, p. 1019-1028, 2003.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J.G. **Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos: Gerenciamento da Qualidade da Água de Represas.** São Carlos, SP, Brasil: ILEC, IIE, 2ª ed., v.9, 2008.

TASSINARI, C.C.G., CORDANI, U.G., NUTMAN, A.P., VAN SCHMUS, W.R., BETTENCOURT, J.S., TAYLOR, P.N. Geochronological systematics on basement rocks from the Rio Negro–Juruena Province (Amazonian Craton), and tectonic implications. Intern. **Geology Review**, v.38, n.2, pp. 1161- 175, 1996.

TASSINARI, C.C.G., MACAMBIRA M.J.B. (1999), **Geochronological Provinces of the Amazonian Cráton**, Episodes, 22 (3), 174-182.

TASSINARI, C.C.G. O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil: revisão dos dados isotópicos. 139p. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo. (Tese de Livre-doscência), 1966.

TASSINARI, C.C.G. & SATO, K. Principais eventos de acreção continental no Cráton Amazônico, baseados em idade modelo Sm-Nd, calculada em evoluções de estágio único e estágio duplo. *In*: COSTA, M.L. & ANGÉLICA, R.S. (coords.). **Contribuições à Geologia da Amazônia**, v.1, p.91-142, 1997.

SANTOS, J.O.S.; HARTMANN, L.A.; GAUDETTE, H.E; GROVES, D.I.; McNAUGHTON, N.J.; FLECHER, I.R. New understanding of the Amazon Craton provinces, based on field work and radiogenic isotope data. **Gondwana Research**, 3: 453-488, 2000.

TERRELL, D. **Avaliação da Qualidade da água subterrânea em área de mineração de caulim: impactos e perspectivas de remediação, município de Mogi das Cruzes, SP**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em recursos Minerais e Hidrogeologia. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2007.

VON SPERLING, M. **Lagoas de Estabilização**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e ambiental; UFMG, 1996c.