

# APROVEITAMENTO DOS FUROS DE SONDAGEM EXPLORATÓRIOS PELO MÉTODO BUCHA DE COMPACTOLIT, PARA IMPLANTAÇÃO DE POÇOS PARA O MONITORAMENTO HIDROGEOLÓGICO

Alex Ezequiel do Amaral<sup>1</sup>; Wanderley Alves Rabelo<sup>2</sup> & Gerbe Ferreira do Amaral Filho<sup>3</sup>

**Resumo** – A presença de água em minas á céu aberto e subterrâneas é indesejável por diversos fatores, por isso é importante implementar estudos hidrogeológicos e hidrológicos nas fases de pré-viabilidade e viabilidade técnico-econômica ou ambiental para minimizar riscos durante a implantação do projeto. Os estudos de uma área mineralizada antes de seu processo de lavra são de extrema importância, como parte destes estudos, é necessária a implantação de uma rede de monitoramento, composta por diversos instrumentos que irão fornecer dados sobre o cenário hidrológico e hidrogeológico da área. Entre estes instrumentos, os poços de monitoramento são utilizados para monitorar o nível d'água subterrânea. Para diminuir os custos de construção e instalação destes nas fases iniciais do projeto, foram aproveitados furos de sondagem exploratórios, reduzindo os custos dos poços de monitoramento em aproximadamente 98% nesta fase do projeto. Estes poços não substituem todos os piezômetros que deverão ser perfurados e construídos com especificações técnicas mais severas, mas se mostram como uma excelente alternativa nesta fase de viabilidade.

**Abstract** – The presence of water in open-pit and underground mines is undesirable due to many factors, so it is important to carry hydrogeological and hydrological studies in the phase of technical-economic and environmental feasibility in order to minimize risks during the project implementation. The establishment of a hydrological and hydrogeological monitoring network consisting of several instruments on the mineralized area prior to its mining process is extremely important and among the required monitoring instruments, wells and piezometers are used to observe the groundwater level variation. Exploratory drilling holes were used as monitoring wells, reducing the costs of construction and installation of these instruments by approximately 98 % on the early stages of the project. These wells do not replace all piezometers to be drilled and constructed with more stringent technical specifications, but are an excellent alternative at this stage of viability.

---

<sup>1</sup> VOTORANTIM METAIS ZINCO, Votorantim Metais, Unidade Morro Agudo, Paracatu, MG, (38) 9963-9454, alex.amaral@vmetais.com.br

<sup>2</sup> SOLLUS Soluções Ambientais, Rua Dom Eliseu, 362, Paracatu, MG, (38) 3671-8995, solussa@hotmail.com.br

<sup>3</sup> VOTORANTIM METAIS ZINCO, Votorantim Metais, Unidade Morro Agudo, Paracatu, MG, (38) 9932-5143, gerbe.amaral@vmetais.com.br

**Palavras-Chave:** Estudo Hidrogeológico, Furos de Sondagem, Poços de Monitoramento.

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de estudos hidrogeológicos e hidrológicos são realizados usualmente nas fases de pré-viabilidade e viabilidade técnico-econômica de projetos para minimizar quaisquer riscos, técnicos, econômicos e ambientais, à implantação do empreendimento (VIRGILI e VIANNA, 2000). Em mineração a presença de água nas cavas e/ou minas subterrâneas é indesejável por diversos aspectos, entre eles: dificuldade na locomoção de equipamentos, maior custo de desmonte, manutenção mais cara de estradas, rampas e locais de escavação, menor vida útil de pneus, atraso na produção, risco de acidentes com cabos energizados, ambiente insalubre com muita umidade, instabilização de taludes, geração de efluente e custo de tratamento, entre outros (MDGEO, 2010).

O estudo hidrogeológico de uma área mineralizada antes de seu processo de lavra é de extrema importância para que se tenha desde o início, a visão dos problemas e das soluções possíveis da futura incidência do rebaixamento do nível d'água nas atividades mineiras (MDGEO, 2010). Para a elaboração deste estudo, faz-se necessário coletar, compilar e analisar todas as informações existentes e a obtenção de novos dados referentes à área do projeto.

Carneiro Feitosa (1997) evidencia que “[...] os mananciais subterrâneos, pela sua própria natureza, não têm seu comportamento tão prontamente elucidado como no caso dos mananciais de superfície [...]”. O conhecimento sobre as águas subterrâneas ainda necessita de aprofundamento, ou seja, do mais simples aos mais aprofundados estudos hidrológicos e hidrogeológicos. As perfurações e implantações de novos poços para monitoramento possibilitam compreender os aquíferos, ou seja, as águas subterrâneas, os estudos e a busca de novas técnicas são de extrema importância, pois não é possível determinar onde termina os estudos das águas subterrâneas.

Poço de Monitoramento é o poço instalado com objetivo de monitorar as condições da água subterrânea quanto ao nível d'água em uma determinada formação geológica e suas características físicas, químicas, biológicas. Os poços permitem conhecer as características e condicionantes hidrogeológicas dos aquíferos e determinar através de estudos, o comportamento destes aquíferos, permite a coleta de amostras de solo representativas para descrição litológica, caracterização do aquífero, determinar o nível estático e o fluxo d'água.

Nos estudos aplicados às águas subterrâneas, López Vera (2006), *apud* Vasconcelos *et al.*, (2007) diagnosticaram que o monitoramento representa uma ferramenta essencial para o planejamento e compreensão da dinâmica das águas subterrâneas para realizar a gestão das águas.

Estes poços são implantados e monitorados para os estudos hidrogeológicos e investigação de passivos ambientais, determinando a existência ou não de rebaixamento, contaminação no solo e na água do aquífero. Uma rede de poços deve ser implantada preliminarmente à implantação de um empreendimento ou por exigência legal, contemplando os estudos hidrogeológicos e ambientais, a fim de demonstrar a viabilidade ou não de implantação do empreendimento pretendido, e auxiliar no processo de licenciamento ambiental.

Este artigo apresenta um estudo de caso no aproveitamento de furos de sondagem exploratórias superficiais através do método bucha de compactolit para a construção de poços de monitoramento, instrumentos estes, que fazem parte da rede de monitoramento da mina de Morro Agudo para estudo referente ao projeto de expansão da mina, com a futura lavra no corpo mineralizado denominado de Bloco E. O aproveitamento destes furos no início do projeto permite um período maior de monitoramento do nível d'água até o início das atividades de lavra, proporcionando maior coesão no banco de dados para os estudos hidrogeológicos e ambientais vindouros, que possibilita compreender melhor os sistemas aquíferos, evidenciando desde o princípio uma visão dos possíveis impactos ao meio ambiente. Além da redução nos custos com a perfuração de novos poços posteriormente.

## **2 OBJETIVOS**

Aproveitamento dos furos de sondagem exploratórios superficiais para a instalação de poços de monitoramento no projeto de expansão de lavra da mina de Morro Agudo, Paracatu-MG.

### **2.1 *Objetivos Específicos***

- Diminuir o custo na implantação de instrumentos da rede de monitoramento;
- Realizar o monitoramento dos níveis d'água;
- Determinar as direções de fluxo subterrâneo;
- Garantir a aquisição de dados antes do início do processo de lavra neste bloco;
- Garantir informações para a elaboração do modelo hidrogeológico;

## **3 ESTUDO DE CASO**

### **3.1 *Localização e Acessos***

A região é conhecida como Morro Agudo e está localizado a 42 km da cidade de Paracatu, o acesso se faz percorrendo 26 km na BR-040, a direita da BR-040 por uma estrada cascalhada,



### Quadro 1 - Caracterização hidroclimática da região de Morro Agudo

Quadro síntese – Caracterização Hidroclimática	
Ano hidrológico	Início em Agosto – término em Julho
Precipitação média anual	1345 mm
Precipitação mínima anual	1005 mm (2001/2002)
Precipitação máxima anual	1673 mm (1991/1992)
Período chuvoso	Outubro a Março
Período seco	Abril a Setembro
Temperatura média anual	25,6° C
Temperatura máxima anual	32,1° C
Temperatura mínima anual	14,3° C
Infiltração/Recarga	10%
Escoamento Superficial/Evapotranspiração	90%

Fonte: Relatório Hidrogeológico 2013 – Votorantim Metais

### 3.3 Caracterização Hidrográfica da área

Segundo dados do IBGE (2008), a área em estudo está inserida bacia hidrográfica do Rio São Francisco e sub-bacia do Rio Paracatu. Localmente o sistema de drenagem superficial da área da unidade converge para o Córrego Morro Agudo, que por sua vez deságua no Ribeirão Traíras.

O Ribeirão Traíras é o principal curso d'água local, possuindo diversos tributários, onde se citam o próprio Córrego Morro Agudo com 14,81 km<sup>2</sup>, o Córrego Cercado (Oeste da área), e outros menores. O Quadro 2, mostra a caracterização Hidrográfica.

O Córrego Morro Agudo tem sentido de fluxo principal de Sul para Norte enquanto o Ribeirão Traíras de Oeste para Leste. O Ribeirão Traíras deságua no Ribeirão Escurinho a cerca de 2,5 Km da área da Unidade.

O Quadro 2, mostra a caracterização Hidrográfica da região de Morro Agudo

Quadro síntese – Caracterização hidrográfica	
Bacia hidrográfica	Rio São Francisco
Sub-bacia	Rio Paracatu
Micro-bacia	Córrego Morro Agudo
Área bacia Córrego Morro Agudo	14,81km <sup>2</sup>
Vazão mínima	50m <sup>3</sup> /h
Vazão média	200m <sup>3</sup> /h
Deflúvio bacia Córrego Morro Agudo Montante	0,76 L/s.Km <sup>2</sup>
Deflúvio bacia Córrego Morro Agudo Jusante	0,94 L/s.Km <sup>2</sup>

Fonte: Relatório Hidrogeológico 2013 – Votorantim Metais

### 3.4 Caracterização Geológica da região

A região situa-se na parte externa da Faixa de Dobramentos Brasília (Almeida, 1967 apud Monteiro et al., 2007), na margem oeste do Cráton do São Francisco onde predomina na região uma espessa sequência de metassedimentos marinhos, essencialmente pelito-dolomíticos dos grupos Vazante e Canastra (Quadro 3), de idade Neoproterozóica.

**Quadro 3 - Caracterização Geológica da região de Morro Agudo**

<b>Quadro síntese – Caracterização geológica e estrutural</b>	
Domínio Lito-estrutural	Faixa de Dobramentos Brasília
Formação Geológica	Grupo Vazante
Idade	Meso/Neoproterozóico
Litologia regional	Metassedimentos marinhos
Litologia local predominante	Metadolomitos e Metadolarenitos
Sistema de falhamento predominante	Normais (N15W-N55W)
Acamamento	N10-20E/20NW
Mineralização	Sulfetada – Esfalerita e Galena
Tipo de depósito	Mississippi Valley

**Fonte: Relatório Hidrogeológico 2013 – Votorantim Metais**

### 3.5 Instalação dos Poços de Monitoramento

Os poços de monitoramento foram instalados aproveitando 5 (cinco) furos de sondagem exploratórios superficiais realizados na mina de Morro Agudo.

Os furos de sondagem foram perfurados por sondas rotativas, a perfuração ocorreu em diâmetro (HQ) até o contato entre o manto de intemperismo e a rocha sã. Posteriormente foi colocado o revestimento metálico para facilitar a perfuração prevista. Na rocha a perfuração ocorreu no diâmetro de 3” (polegadas), ou seja 7,62 cm de diâmetro, com profundidades diversificadas, podendo chegar a 500 metros de profundidade.

Para facilitar a atividade de implantação dos poços foram verificadas com a empresa executante pela sondagem algumas informações referentes às perfurações, como em qual metragem perfurada encontra-se a zona de contato entre a rocha alterada e rocha sã. Em qual litologia ocorreu a presença de água e como estavam as condições do furo ao fim da perfuração.

Os 5 (cinco) furos de sonda aproveitados neste projeto foram revestidos com tubos liso de PVC 1” (polegada) acompanhada da instalação de uma Bucha de Compactolit que foi introduzida na zona de contato entre rocha alterada e rocha sã, preenchendo o espaço anelar da perfuração para separar os aquíferos raso do profundo, substituindo a grande utilização pedrisco, tubos de PVC

Geomecânico e o alto custo com perfuração. Este método utilizado proporcionou implantar os piezômetros PZ-MA10, PZ-MA11, PZ-MA12, PZ-MA13 e PZ-MA-14.

O material utilizado para a instalação dos poços de monitoramento foram tubos de PVC 1" lisos e ranhurados à mão, Serra manual ("cegueta"), cola, abraçadeiras plásticas e de metais, sacos pano de chão, compactolit (figura 2), areia mista, brita 0, cimento, tubo de boca e grade de proteção.

O Compactolit em Pellets é uma argila expansiva, não tóxica, com ação selante e impermeabilizante, tem permeabilidade de  $4 \times 10^{-11}$  m/s e sua capacidade de inchamento é de 4 ml/g. A reação (inchamento) inicia de 12 a 15 minutos, utilizado para selamento em poços.



**Figura 2 - Compactolit**

**Fonte: Setor de hidrogeologia – Votorantim Metais**

A instalação dos poços de monitoramento procedeu-se da seguinte forma:

- Foi utilizado sacos de chão, compactolit, tubo de 1" polegada, abraçadeiras plástica e metálica, dando origem a bucha de compactolit de 5 a 6 cm de diâmetro em um tubo de 6 metros, com 4 metros para bucha e 2 metros de tubo ranhurado no final;
- Após confecção da bucha, a mesma foi inspecionada e verificada, não havendo anomalia, introduza a mesma dentro do furo de sonda;
- Depois de introduzida a bucha no furo, segure-a e conecte tubos até a bucha chegar à região de contato entre as litologias, mantendo 2 metros da bucha no manto de intemperismo e 2 metros na rocha sã, para dividir as zonas aquíferas;
- Com a utilização de baldes foi introduzido água sobre a bucha para reação e expansão do compactolit, proporcionando o selamento/impermeabilização do local.
- Após o travamento da Bucha de Compactolit nas paredes do furo, foi introduzido areia mista, compactolit e posteriormente foi adicionado à calda de cimento para formação de uma nova coluna de impermeabilização;
- Após impermeabilização do furo foi introduzida brita 0 até próximo a boca do furo de sondagem;
- Depois foi instalado o tubo de boca;
- Posteriormente foi realizada a cimentação e instalação da grade de proteção, concluindo a instalação do poço de monitoramento;

As figuras 3 a 14 abaixo, evidenciam a fabricação da Bucha de Compactolit e todos os procedimentos utilizados para implantação do poço, aproveitando o furo de sondagem.



**Figura 3 -** Confeção da bucha de compactolit.



**Figura 4 -** "Cegueta" (serra manual) para confecção das ranhuras.



**Figura 5 -** Amarração da bucha de compactolit.



**Figura 6 -** Bucha de compactolit confeccionada.



**Figura 7 -** Descida da Bucha de Compactolit.



**Figura 8 -** Injeção de água para reação e travamento da bucha compactolit.



**Figura 9 -** Areia mista.



**Figura 10 -** Compactolit sobre a areia.



**Figura 11 -** Injeção da calda de cimento.



**Figura 12 -** Instalação tubo de boca de aço.



**Figura 13 -** Instalação da grade de proteção.



**Figura 14 -** Poço de Monitoramento Concluído.

Este método utilizado proporcionou implantar os poços de monitoramento (Quadro 4) com as seguintes denominações PZ-MA10, PZ-MA11, PZ-MA12, PZ-MA13 e PZ-MA-14.

**Quadro 4 – Dados Cadastrais dos Poços implantados**

<b>INSTRUMENTO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>COTA PISO (m)</b>	<b>COTA FUNDO POÇO (m)</b>	<b>PROF.(m) FUROS</b>
PZ-MA10	306939,85	8063435,29	595,77	458,62	137,15
PZ-MA11	306967,51	8062754,00	607,27	462,97	144,30
PZ-MA12	306712,64	8062944,35	590,58	309,13	281,45
PZ-MA13	306961,08	8063003,89	606,74	173,34	433,40
PZ-MA14	306457,75	8063134,70	572,15	290,70	281,45

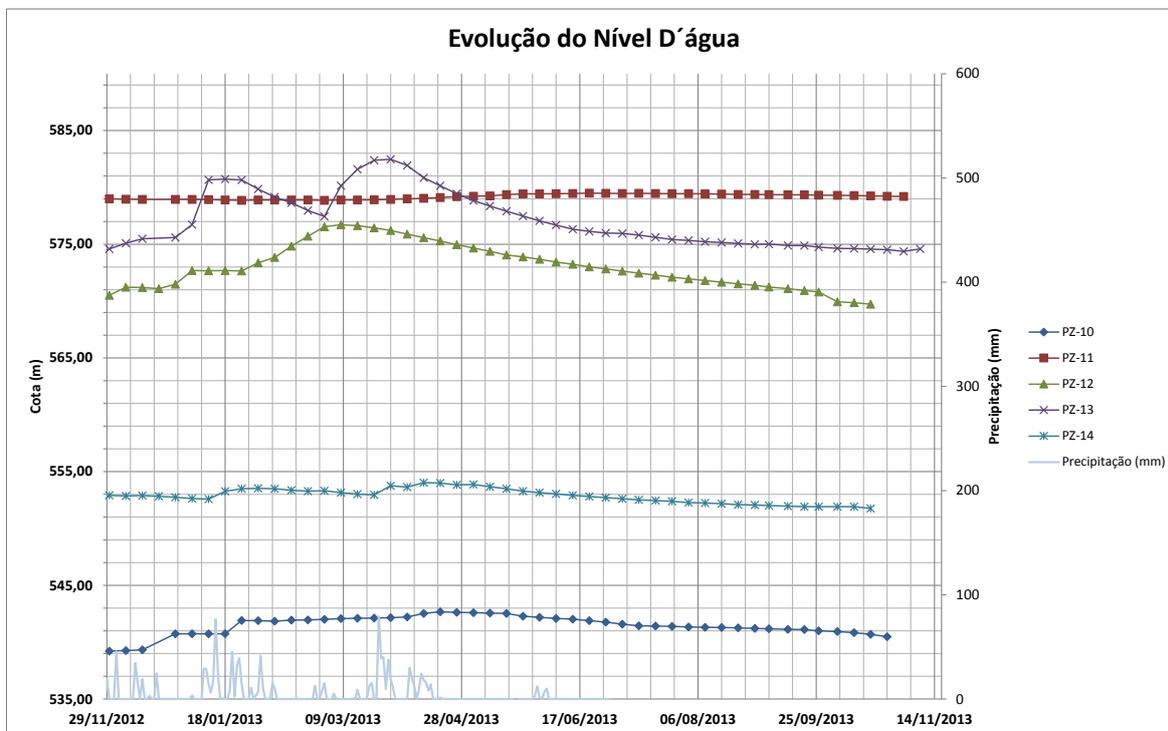
**Fonte: Setor de hidrogeologia – Votorantim Metais**

Os poços de monitoramento foram instalados aproveitando 5 (cinco) furos de sondagem exploratórios superficiais realizados na mina de Morro Agudo, em sua área denominada de bloco E. A Figura 15 mostra a área onde foram instalados os poços, para o monitoramento do nível de água antes da expansão da mina subterrânea para o processo de lavra no Bloco E.



**Figura 15 – Dados obtidos no monitoramento**  
**Fonte: Google Earth**

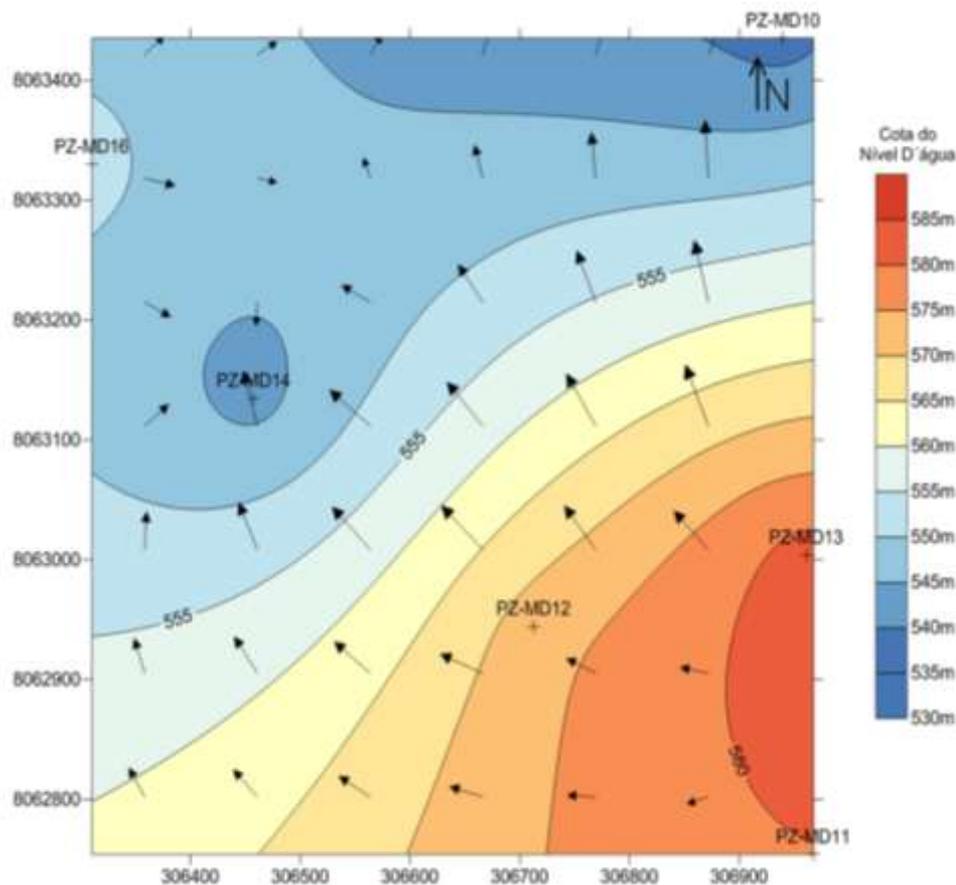
As profundidades dos poços referem-se o quanto foi perfurado de rocha. A variação na profundidade dos poços foi de 137 m a 433 m. Os poços foram construídos pelo método bucha de compactolit com o objetivo de monitorar (Gráfico 1) somente o aquífero profundo, ou seja a água presente na rocha sã.



**Gráfico 1 – Dados obtidos no monitoramento**  
**Fonte: Relatório Hidrogeológico 2013 – Votorantim Metais**

É possível perceber a grande diferença de cota entre os novos instrumentos perfurados (aproximadamente 50m), fato que pode ser explicado pela maior presença de zonas fraturadas atravessadas pela sondagem nos instrumentos com cota mais alta. O PZ-MA-10 tem o nível estático médio na cota 537,968, com pequena oscilação do nível. O PZ-MA-11 tem seu nível estático na cota 579,477 com elevação em seu nível estático, o mesmo está ascendente. O PZ-MA-12 teve variações em seu nível estático, acompanhando a sazonalidade, o seu nível médio está em 573,232. O PZ-MA-13 está com seu nível estático ascendente e o seu nível médio está em 580,970. O PZ-MA-14 também tem oscilações em seu nível estático acompanhando a sazonalidade, o seu nível médio está 543,300.

No aquífero profundo, a utilização de interpolação não é segura por se tratar de um aquífero fissural, porém apresenta uma tentativa de obter a direção preferencial de fluxo, a Figura 16 abaixo mostra o mapa potenciométrico obtido através dos dados de monitoramento dos poços.



**Figura 16 – Dados obtidos no monitoramento**  
**Fonte: Relatório Hidrogeológico 2013 – Votorantim Metais**

O fluxo preferencial tem direção NNE e é possível perceber um rebaixamento local na porção central do mapa, área da mina subterrânea, ocasionado pela infiltração da água na mina.

### **3.6 Custos da Instalação *versus* Custo da Perfuração e Instalação**

Para a comparação entre os custos de instalação de poços de monitoramento através da metodologia descrita neste artigo com a metodologia tradicional, foram utilizadas as informações de custo deste projeto que contemplou a construção de 5 poços de monitoramento, totalizando 1277,80m. Na Tabela 4.1 é apresentada a memória de cálculo comparativa entre a implantação de poços de monitoramento utilizando a equipe interna da empresa e empresas terceirizadas. Os poços foram revestidos com tubos e a bucha Compactolit, até o contato entre a rocha alterada e a rocha sã, resultando em 157 m de revestimento, o restante do furo aproveitou-se o próprio maciço rochoso como revestimento.

**Tabela 1 - Memória de Cálculo comparativa entre a utilização da equipe interna e empresa terceirizada**

MEMORIAL DE CÁLCULO					
CONTRATADA	TOTAL REVESTIMENTO (m)	CUATO POR METRO PERFURADO	CUSTO POR METRO REVESTIMENTO (m)	ACABAMENTO	VALOR TOTAL DO PROJETO
Equipe Interna	157,0	R\$ 0,00	R\$ 5,50	R\$ 5.000,00	R\$ 5.863,50
Empresa Terceirizada	1277,8	R\$ 200,00	R\$ 40,00	Incluso no custo do revestimento	R\$ 306.672,00

No caso analisado o custo do projeto foi de 1,92% do valor cobrado por uma empresa terceirizada para a implantação destes poços, reafirmando a importância de aproveitar os furos de sondagem exploratórios para iniciar a construção da rede de monitoramento hidrogeológica.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estes poços não substituem piezômetros, indicadores de nível d'água e poços de monitoramento hidroquímico que deverão ser perfurados e construídos com especificações técnicas mais severas, por exemplo, com diâmetros maiores, pré-filtro e isolamento de câmaras piezométricas, porém irão auxiliar no projeto destes novos instrumentos a um custo ínfimo quando o projeto já tenha passado das fases de pré-viabilidade.

O monitoramento realizado semanalmente em cada poço possibilitou ao longo de um ano de monitoramento gerar dados informativos que permitiram determinar o nível estático, o fluxo de água e dados importantes para elaboração do modelo hidrogeológico.

O gráfico demonstrou o nível estático dos poços monitorados que proporcionaram evidenciar o comportamento sazonal dos níveis, seguindo as precipitações, ou seja, resposta positiva em relação à recarga dos aquíferos e um comportamento ascendente, com diminuição dos níveis no período de seca. Foi possível determinar em um poço o seu comportamento mais estável com pequenas oscilações em seu nível estático. E outros poços com níveis estáticos mais elevados são bem possíveis que ainda não estabilizaram os níveis.

Os dados obtidos nos poços de monitoramento foram interpretados e utilizados para evidenciar o nível estático médio dos poços e determinar o fluxo de água preferencial, que tem direção NNE.

Após a apresentação deste estudo de caso, fica claro que o custo para a instalação "caseira" de instrumentos de monitoramento do nível d'água em furos de sondagem é muito menor do que a contratação de empresas terceirizadas. Porém, ressalta-se que estes poços de monitoramento devem ser construídos nas primeiras etapas do projeto, para que se tenha uma noção do cenário hidrogeológico da área.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DNIT. Mapas Multimodais MG. **DNIT**, 2012. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/mapas-multimodais/MG.pdf>>. Acesso em: 15 abril. 2014.
- MDGEO. **Apostila do Curso de Hidrogeologia MDGEO**. Belo Horizonte, p. 125. 2010.
- VIRGILI, J. C.; VIANNA, A. P. P. **Gestão Integrada de Águas Superficiais e Subterrâneas para Empreendimentos Minerários**. 1st Joint World Congress on Groundwater. Fortaleza: [s.n.]. 2000. p. 9.
- CARNEIRO FEITOSA, Edilton. Pesquisa de água subterrânea. In: Feitosa, Fernando. A. C.; Filho, João Manoel. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**, CPRM, LABHID-UFPE, p.53. 1997.
- VERA, Fernando Lopez. Estado Actual del Monitoreo en La Unión Europea. *In I Simpósio Latino-Americano de Monitoramento das Águas Subterrâneas*, p.2. 2006.
- AMARAL, Alex; Cordeiro, Vinicius Feijó; Lopes, Rogerio de Lima. **Aproveitamento dos furos de sondagem exploratórios para início da construção da rede de monitoramento hidrogeológica**, XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, p.2. 2012.
- GOOGLE, **Programa Google earth**, 2006. Disponível em: <<http://www.google.com.br>>. Acesso em: 15 abril. 2014.
- Votorantim Metais - Unidade de Morro Agudo, Paracatu, MG. **Relatório Anual do Monitoramento Hidrológico e Hidrogeológico da bacia do Córrego Morro Agudo**, p.7. 2013.
- Votorantim Metais - Unidade Morro Agudo, **Informações Internas**, Paracatu-MG. 2014.