

INOVAÇÕES NOS PROCESSOS DE DESENVOLVIMENTO DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS NA MINERAÇÃO

José Paulo Godoi Martins Netto¹; Samuel Ricardo Carvalho Carneiro²; Tiago A. Torres Gomes²; Keilla Aparecida Xavier²

RESUMO

Os processos de perfuração de poços tubulares profundos, para rebaixamento de níveis no minério de ferro, requerem cuidados especiais, principalmente no que se refere ao fluido de perfuração, pois as características próprias das Formações Ferríferas atravessadas e os grandes volumes de água encontrados, tanto na permeabilidade primária como secundária, requerem fluidos específicos e normalmente, se faz necessária a adição de compostos inorgânicos como a bentonita, para se obter a estabilidade necessária ao processo de perfuração.

O presente trabalho trata de inovações implementadas no *desenvolvimento* dos Poços PTR-02 e PTR-03, com a utilização de ortofosfatos ácidos, na Mina de Alegria, de propriedade da SAMARCO Mineração S/A, localizada no Município de Mariana – MG, e que explora minério de ferro. Trata também dos resultados obtidos nos PTR-02 e PTR-03 e comparativos com o PTR-01, mais antigo, e que foi desenvolvido com químicos a base de hexametáfosfato de sódio.

A eficiência hidráulica de cada poço, calculada pela fórmula “ $E = (BQ/(BQ+CQ^n)) \times 100$ ” para o PTR-01 foi de 42,20% e para o PTR-03 foi de 86,70%, que demonstra que as inovações aplicadas puderam dobrar a eficiência do poço, com maior produção de água, maior rebaixamento e menor consumo de energia elétrica por m³ de água extraída.

ABSTRACT

The processes of drilling of water wells, for drawdown of water levels in the iron mines, require special cares, mainly as for the drilling fluid, therefore the own characteristics of the Iron Formations crossed and the great volume of water found, as in the primary permeability as the secondary, require specific fluids and normally, if becomes necessary to add of inorganic compounds such as bentonite, to achieve the necessary stability to the process of drilling.

Palavras chaves: Desenvolvimento de Poços, Ortofosfatos ácidos, Desinfecção

(1) Maxiagua Soluções em Água Ltda. – R. Açatunga, 154, SP - SP – Fone: (11) 5096-5888 – email: jp@maxiagua.com

(2) Samarco Mineração S/A – Mina do Germano S/N – Mariana – MG, Caixa Postal 22 – 35420-000 – Departamento de Planejamento de Mina - Fone (31) 3559 5159 – email: scarneiro@samarco.com

This work comes to innovations implemented in the development of Wells PTR-02 and PTR-03, with the use of orthophosphates acids, in Mina de Alegria, owned by SAMARCO Mineração S/A, located in the city of Mariana – MG, Brasil, and that explores iron ore. This also results in the PTR-02 and PTR-03 and comparison with the PTR-01, older, and that was developed with a base of sodium hexametaphosphate.

The hydraulic well efficiency, calculated by the formula " $E = (BQ / (BQ + CQn) \times 100)$ " for the PTR-01 was 42.20% and for the PTR-03 was 86.70%, which demonstrates that the innovations implemented could double the efficiency of the well, with greater production of water, more drawdown, and lower consumption of electricity per m³ of water extracted.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de mineração requerem muitas vezes um rebaixamento contínuo dos níveis dos aquíferos que se encontram nas minas, para que seja possível a exploração do minério, e que sejam mantidos os graus de umidade desejados.

Neste contexto, a Mina de Alegria, pertencente à SAMARCO Mineração S/A, localizada no Município de Mariana – MG, e que explora minério de ferro, possui três poços tubulares profundos para rebaixamento de níveis, denominados PTR-01, 02 e 03, com profundidades ao redor de 200 m, e vazões de 133,50 m³/h, 243,00 m³/h e 171,50 m³/h, respectivamente.

Para a perfuração de poços visando à exploração de água, no minério de ferro, são necessários cuidados adicionais nas operações, principalmente no que se refere ao fluido de perfuração, pois as características próprias das Formações Ferríferas atravessadas e os grandes volumes de água encontrados, tanto na permeabilidade primária como secundária, requerem fluidos mais viscosos e densos, do que se comparados com fluidos para perfuração de poços para água em camadas de sedimento como areia e/ou argilas.

Conseqüentemente, o desenvolvimento destes poços, também requer maior atenção, pois é necessário uma remoção mais eficiente de todo o fluido de perfuração e reboco causado por este, para se obter os melhores resultados possíveis e se iniciar a operação do poço já com a máxima eficiência possível, que permitirá uma maior produção de água, maior rebaixamento e menor custo de energia elétrica por m³ de água explorada.

O presente trabalho trata dos resultados das inovações aplicadas no desenvolvimento dos poços 02 e 03, com alterações na metodologia de desenvolvimento e substituição dos químicos a base de hexametáfosfato de sódio, utilizados no passado, por agentes a base de ortofosfatos ácidos, além da aplicação de oxidante para decomposição dos componentes orgânicos do fluido e total

desinfecção do poço, com um agente isento de cloro, e inclusive, com capacidade de eliminação de ferro bactérias.

A SAMARCO é uma empresa que sempre se mostrou receptiva a novas metodologias e produtos de vanguarda, que pudessem trazer melhorias em seus processos, e acreditando nos dados já disponíveis, investiu nestas inovações, com os gratos resultados demonstrados ao longo deste.

Estas inovações permitiram um início de operação do PTR-03 com eficiência de 86,70 %, ou seja, um pouco mais do que o dobro (105,4%), se comparado a eficiência obtida no PTR-01 de 42,20 % (SAMARCO, 2005), que demonstra que é possível se incrementar a eficiência em um poço já no início de sua operação, com alterações não complicadas e que não representaram qualquer alteração significativa no custo final da perfuração.

Ainda quanto ao custo, se considerarmos a produção de água, o maior rebaixamento dos níveis e custo com energia elétrica ao longo do tempo, podemos concluir que as alterações introduzidas no desenvolvimento na perfuração foram altamente eficientes e econômicas.

2. LOCALIZAÇÃO

Os depósitos de minério de ferro do Complexo Alegria encontram-se situados a norte da cidade de Mariana, vértice sudeste do Quadrilátero Ferrífero, mais precisamente nas quadrículas Capanema e Santa Rita Durão entre os municípios de Mariana e Ouro Preto – MG, Brasil.

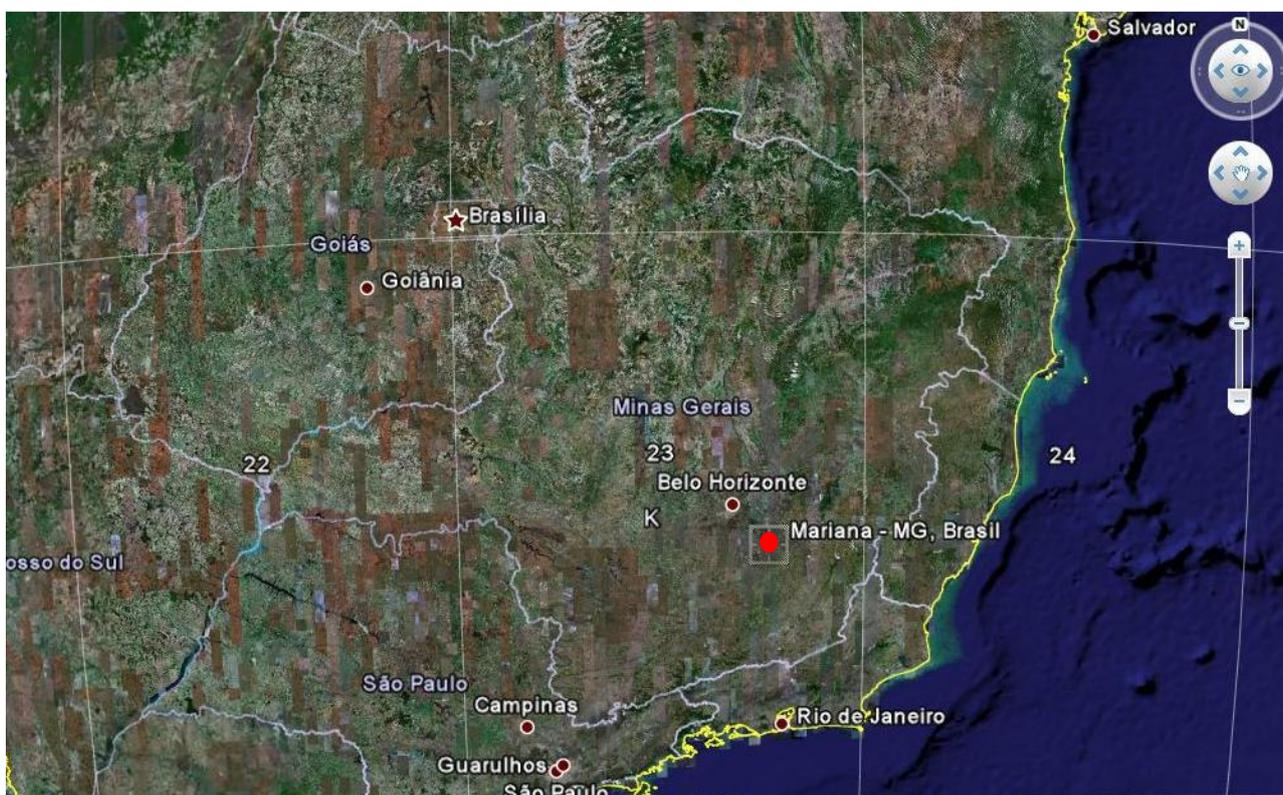


Figura 1. Imagem de satélite com a localização do Município de Mariana – Minas Gerais, Brasil

3. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DA ÁREA

3.1 - GEOLOGIA DO COMPLEXO ALEGRIA

Localizada na borda da serra do Caraça, a área das minas de Alegria vem sendo estudada nos seus aspectos geológicos pelos técnicos da SAMARCO, que definiram detalhadamente os litotipos existentes, levando em consideração basicamente a mineralogia e a consistência dos itabiritos.

A área compreende um segmento da principal faixa ferrífera contínua que limita o Quadrilátero Ferrífero pelo lado leste, exibindo as maiores espessuras de itabiritos da região e com raras lentes de hematita.

O conjunto litológico local é constituído, da base para o topo, pelos quartzitos da serra do Caraça, cuja posição estratigráfica é motivo de controvérsias, seguido por uma seqüência de filitos, mica-xistos e metabásicas concordantes, interpretados como da Formação Batatal, sobre estes a Formação Cauê, objeto da lavra, e como capa ocorrem os quartzitos ferruginosos e filitos prateados considerados da Formação Cercadinho. Toda a seqüência exhibe mergulhos suaves a moderados para leste, concordantes com os da lineação de estiramento (SAMARCO, 2003).

A SAMARCO tem identificado na constituição litológica da jazida uma série de tipos, possuindo, cada um, uma qualidade específica como minério. Os principais tipos são:

- Itabirito martítico;
- Itabirito martítico-especularítico;
- Itabirito especularítico-martítico;
- Itabirito anfibolítico;
- Itabirito martítico-goethítico;
- Itabirito goethítico;
- Além de metabásicas, cangas e solos lateríticos.

3.2 - HIDROGEOLOGIA

3.2.1 – Mina Alegria 3/4/5

Essa mina situa-se na região onde a formação ferrífera apresenta a sua maior espessura regional, por estar na zona de charneira do “Sinclinal da Alegria”. Toda a cava da mina se insere nos litotipos da Formação Ferrífera, de maneira que o modelo hidrogeológico da mina, diz respeito principalmente à distribuição espacial desses litotipos.

3.2.1.1 - Sistema Aquífero Cauê

O Aquífero Cauê constitui um sistema aquífero confinado na base pelo Aquicludo Batatal e no topo pelo Sistema Aquífero Piracicaba, sendo este último um sistema aquífero complexo, com

zonas aquíferas em quartzitos intercaladas por zonas de aquíardos e aquícludes em filitos sericíticos.

Observa-se nesse aquífero, no âmbito da mina de Alegria 3, 4 e 5, que os seus diversos litotipos apresentam-se dispostos em direção sudoeste-nordeste, com mergulhos da ordem de 50° em média, para sudeste. As seções geológicas indicam claramente que há uma zona central de predomínio de itabiritos silicosos intercalados na base e topo por itabiritos anfibolíticos. Desse modo se trata de um sistema aquífero complexo, interdigitado, e com zona aquífera central, semi-confinada internamente pelos aquíardos representados por delgadas faixas de itabiritos ghoetíticos.

É um sistema heterogêneo e fortemente anisotrópico, em que a direção preferencial de fluxo deve se alinhar paralelamente à foliação principal da rocha. Apresenta dupla porosidade, intersticial e de fratura. A porosidade intersticial é ligada à lixiviação preferencial do quartzo e carbonatos, com enriquecimento residual de hematita, enquanto os corpos de minério mais compactos apresentam porosidade de fratura predominante.

Há o predomínio de porosidade intergranular em toda a zona intemperizada, onde a lixiviação dos itabiritos foi mais intensa, ao passo que a porosidade de fratura passa a predominar à medida que a rocha se torna mais compacta, ou menos intemperizada.

A estruturação ainda presente nesse sistema confere ao mesmo uma característica de forte anisotropia determinada pela foliação e bandeamento composicional, que são paralelos e que são os principais responsáveis pelo semi-confinamento e confinamentos localizados, ao justapor litotipos bastante diferenciados que constituem faixas de propriedades hidráulicas bastante distintas. O desenvolvimento de maiores valores da permeabilidade deve ocorrer no interior dos planos de bandeamento e os menores valores na direção ortogonal a esses planos.

Ocasionalmente a presença de sistemas principais de descontinuidades rochosas pode dar origem a fluxos preferenciais ao longo das mesmas, em direções distintas do eixo de fluxo preferencial, e constituir importantes zonas de descarga do Aquífero Cauê.

3.2.1.2 - Circulação de Água Subterrânea

O principal ponto de descarga do aquífero Cauê na calha do Sinclinal da Alegria situa-se na área da VALE, a sul da cava da Mina Alegria 3/4/5, ao que tudo indica, condicionada por uma importante barreira hidráulica representada por um dique de metabásica, que corta transversalmente toda a seqüência do Aquífero Cauê. Essa surgência ocorre em cota aproximada 950 m.

Outras possíveis saídas de água constituem-se respectivamente em lagoa situada ao sul da mina, próxima à subestação (cota 925 m aprox.), ocorrendo ainda outra nascente importante no córrego Macaco Barbado (cota 980), entretanto nessa última, a água é praticamente desmineralizada, e pode ser restituição de água infiltrada no capeamento de canga, ligada ao escoamento sub-superficial.

O Córrego João Manoel é o principal eixo de drenagem e seu curso se alonga praticamente em direção ortogonal à foliação regional, e se encaixa na charneira do sinclinal. A observação de campo efetuada no seu leito, até a parte superior da pilha de estéril homônima (cota aproximada – 1015), não evidenciou qualquer surgência de água do Aquífero Cauê, até essa cota. Abaixo desse ponto o córrego está coberto pela pilha de estéril e somente medidas de vazão poderão definir a existência de restituição de água nesse trecho (SAMARCO, 2004).

Recentemente observou-se o afloramento do nível de água subterrâneo na Formação Ferrífera, no fundo da cava Alegria 3/4/5, na cota da ordem de 960 m, que coincide a grosso modo com a surgência citada na área da VALE, em cota pouco mais baixa, que indica um fluxo preferencial na direção dessa nascente. Essa hipótese deve ser no futuro ser investigada para se determinar com mais segurança o modelo de circulação da águas subterrâneas e que tem implicações importantes no projeto de rebaixamento de nível d'água dessa cava.

4. CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DOS POÇOS TUBULARES

Os 03 poços, denominados de PTR-01, 02 e 03, tem características construtivas similares, tendo profundidade de perfuração de 202, 200 e 200 m, com revestimentos de 200,49, 199,75 e 199,67 m, respectivamente, com perfis construtivos detalhados nas Figuras 03, 04 e 05.

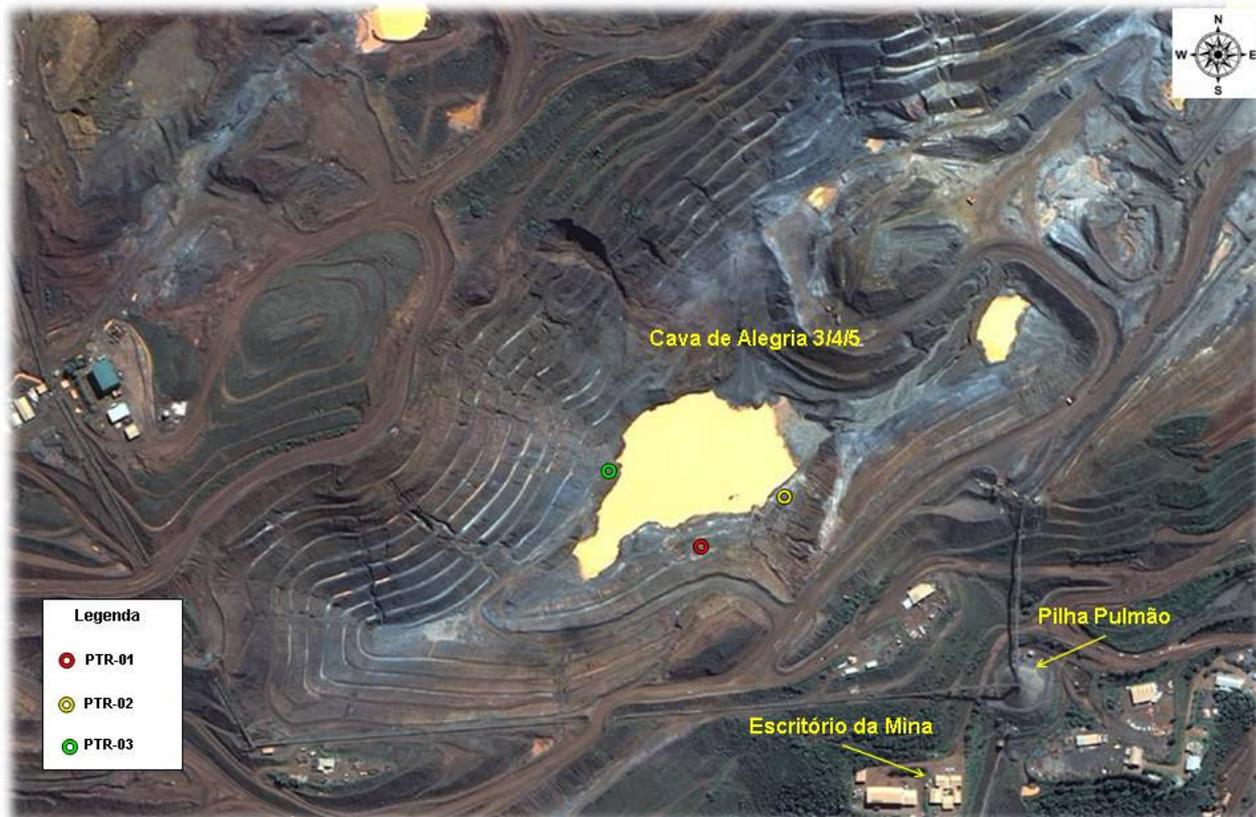


Figura 2. Imagem de satélite com a localização dos PTR01, 02 e 03, na Mina de Alegria 3,4 e 5.



PERFIL DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Identificação: PTR-01

Local: Alegria 345

Coord. E: 2764972,710 656534,139

Coord. N: 348988,580 7769416,426

Cota da Boca: 995,728

Data da Instalação: 05/04/05

Prof. Perfuração: 202,00

Prof. Revestimento: 200,49

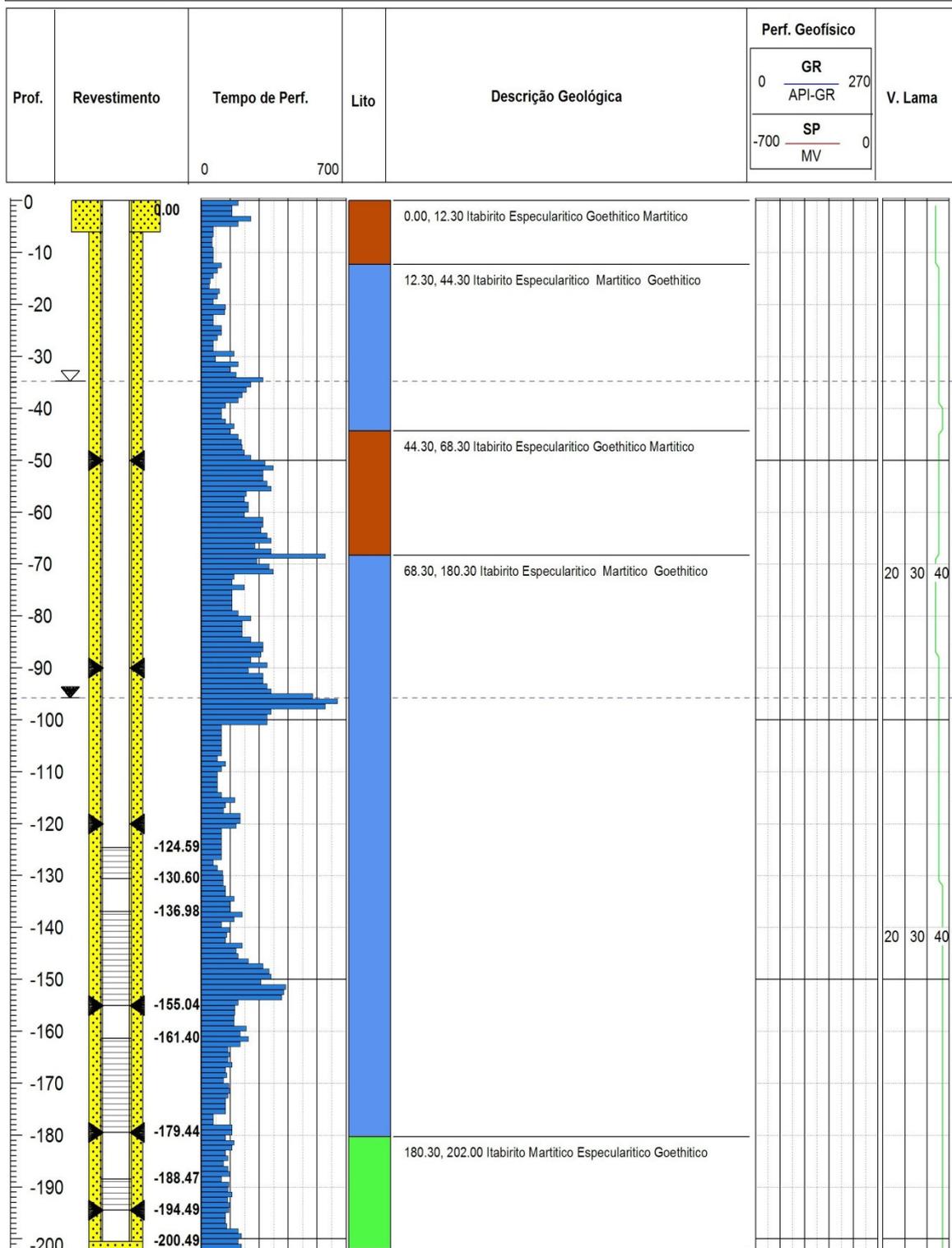


Figura 3. Perfil Construtivo do PTR-01

PERFIL DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Identificação: PTR-02

Local: Alegria 345

Coord. E: 2765091,284 656652,228

Coord. N: 349031,119 7769455,765

Cota da Boca: 987,481

Data da Instalação:

Prof. Perfuração: 200,00

Prof. Revestimento: 199,75

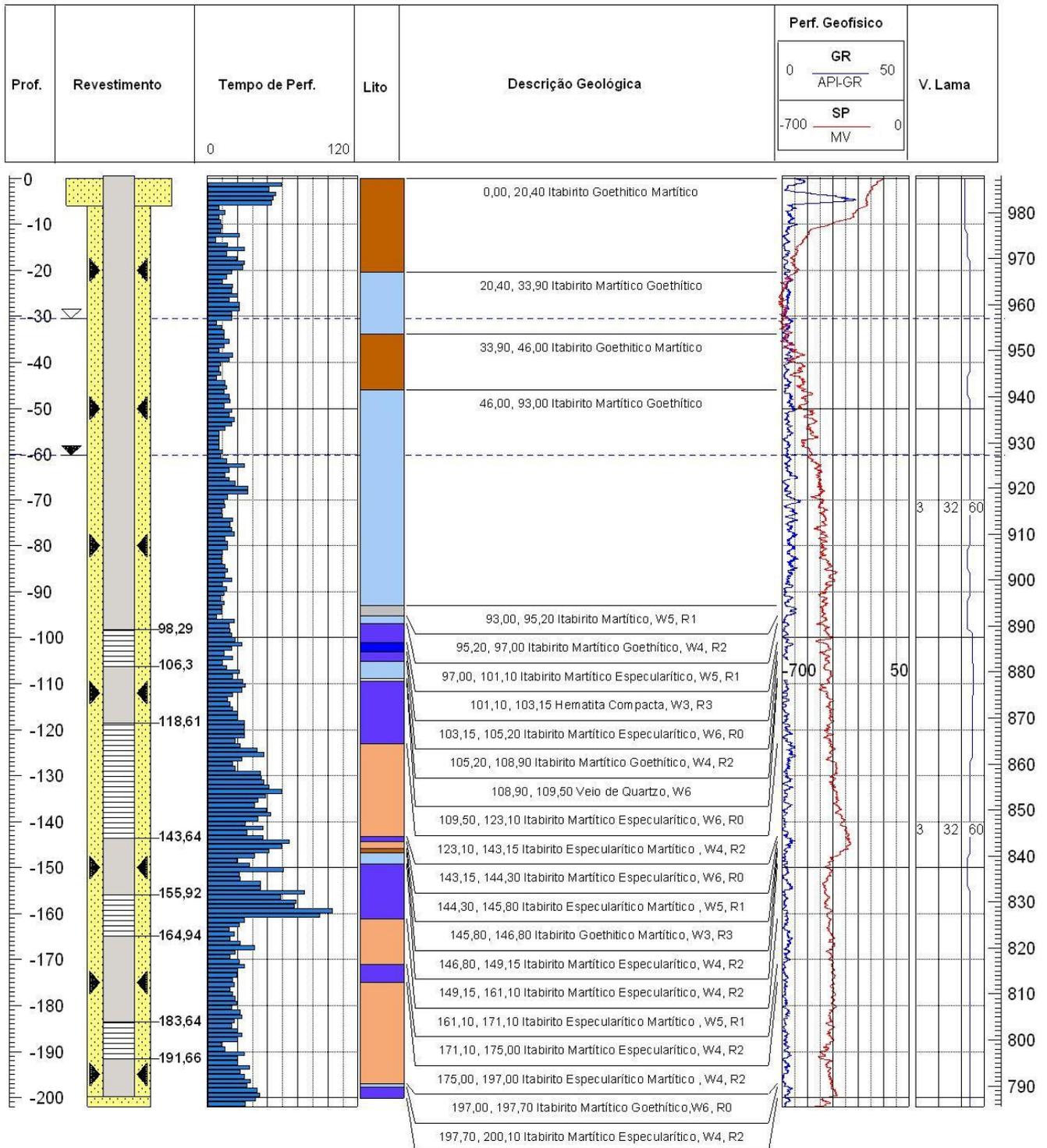


Figura 4. Perfil Construtivo do PTR-02

PERFIL DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Identificação: PTR-03
Local: Alegria 345
Coord. E: 2764844,835 656406,408
Coord. N: 349086,380 7769513,446
Cota da Boca: 974,037

Data da Instalação:
Prof. Perfuração: 200,00
Prof. Revestimento: 199,67

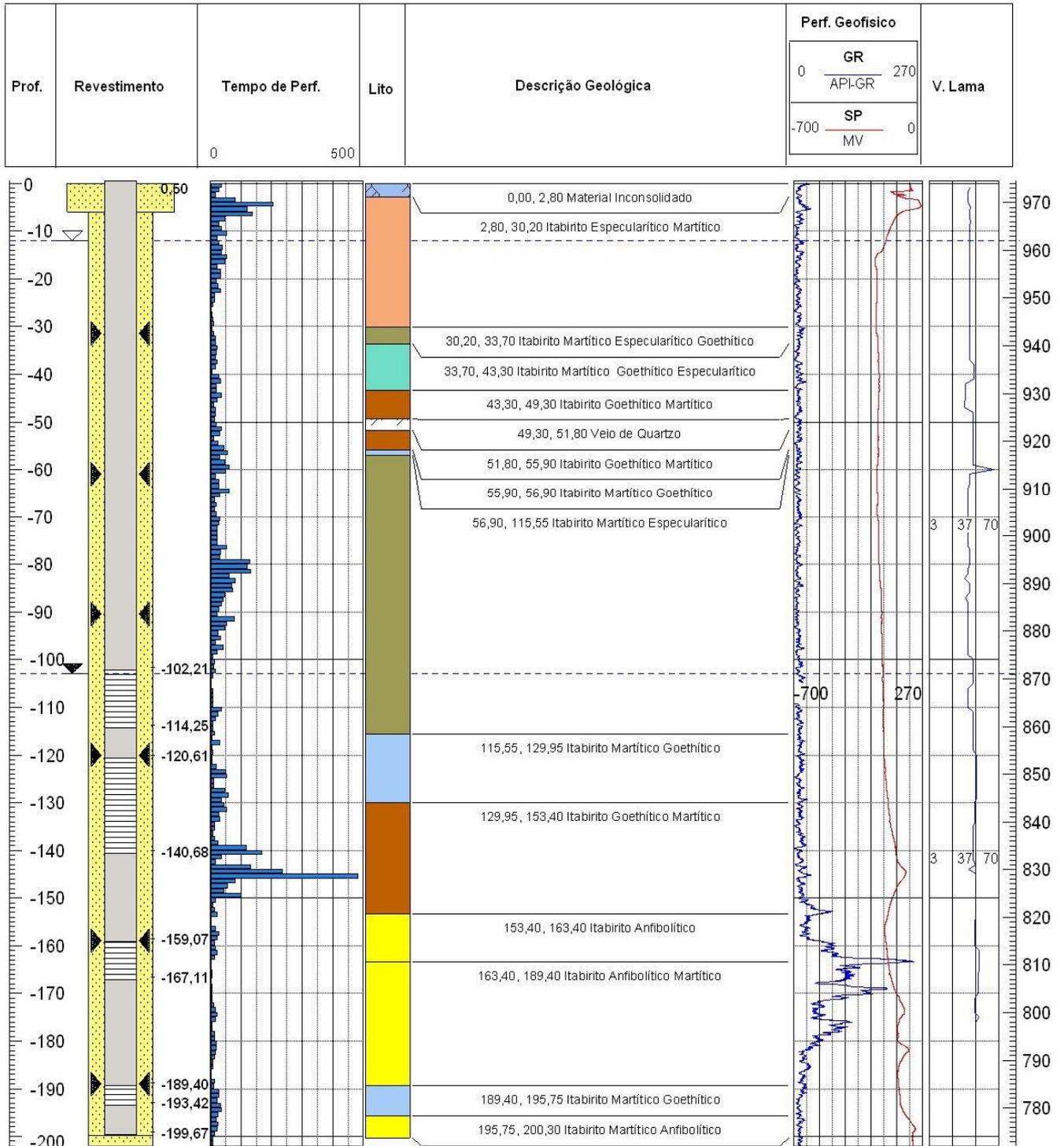


Figura 5. Perfil Construtivo do PTR-03

5. FLUÍDOS DE PERFURAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

Conforme comentado anteriormente, os poços no minério de ferro requerem fluídos de perfuração específicos para o correto controle do processo de limpeza e estabilidade dos furos. Estas lamas são usualmente a base de água + polímeros orgânicos (CMC - Carboxi-metil-celulose), ou água + CMC + Argilas Bentoníticas, que são adicionadas à composição dos fluídos como agente viscosificante, tixotrópico e para controle de perdas.

A elevação de pH do fluido de perfuração, para maior estabilidade do CMC é necessária, e se faz pela adição de carbonato ou hidróxido de sódio, pois a viscosidade das dissoluções de CMC varia com o pH do meio, sendo que, no intervalo de pH 7-9 é obtida a maior estabilidade deste polímero (MORENO, *et. al.* 1997). Os fabricantes de CMC, ou compostos destes para a perfuração, indicam pH ideal de trabalho na faixa de 8,5 a 9.

O Desenvolvimento de poços tem dois objetivos principais: 1 – Reparar os danos causados na Formação Geológica pela operação de perfuração de modo que as propriedades hidráulicas naturais sejam restauradas, e 2 – Restabelecer as características físicas básicas do aquífero perto do reboco, de modo que a água flua mais livremente para o poço (DRISCOLL, 1986).

Em uma definição simples de desenvolvimento de poços, poder-se-ia dizer que se constituem no conjunto de operações que objetivam a remoção de toda e qualquer partícula que dificulte o livre fluxo de água do aquífero para o poço, ou deste para o aquífero. É, em resumo, a associação de métodos e processos hidráulicos, mecânicos e químicos, que tem por finalidade a obtenção da melhor eficiência hidráulica possível do sistema de captação de águas subterrâneas, tendo em vista que qualquer tipo ou método de perfuração utilizado sempre é uma intervenção no meio físico, provocando perdas de cargas constritivas nos poços (GONÇALES e GIAMPÁ, 2006).

Assim, o desenvolvimento consiste na remoção dos materiais finos e coloidais e lama de perfuração, seja da Formação ou introduzidos durante a invasão do filtrado da perfuração, como do envoltório do pré-filtro. Um desenvolvimento adequado permite o aumento da porosidade e da permeabilidade deste envoltório e das proximidades da Formação, permitindo que o fluxo do aquífero para o poço seja o mais laminar possível, a produção isenta de areia, materiais coloidais e com uma eficiência hidráulica do poço tendendo a 100% (GONÇALES e GIAMPÁ, 2006).

O PTR-01 perfurado em 2005 utilizou a metodologia usual de desenvolvimento, e produtos à base de hexametáfosfato de sódio, e a interpretação dos dados do teste de vazão resultaram em uma eficiência hidráulica de 42,20% (SAMARCO, 2005). Já os PTR-02 e 03, perfurados em 2007 utilizaram metodologia de desenvolvimento modificada e produtos a base de ortofosfatos ácidos, com resultados de eficiência inferida de 85,3% no PTR-02, e medida de 86,7% no PTR-03.

6. CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS QUÍMICOS

Os dispersantes utilizados foram à base de ortofosfatos ácidos, isento de metais pesados, com certificado de produto não tóxico tipo DL 50 > 2.000 mg/kg, já com conhecidos resultados no desenvolvimento e reabilitação de vazão de poços.

Sua recomendação de aplicação se deu por seu alto poder de dispersão, capacidade de redução do pH abaixo de 2,0, e a propriedade de proporcionar uma rápida remoção da lama de perfuração e desenvolvimento do poço, que permitiu uma redução das horas de bombeamento de 100 h previstas inicialmente, para 60 e 50 horas, com forte redução de custos no desenvolvimento.

Esta redução das horas de compressor representa aproximadamente 3 vezes, por poço, o custo da alteração dos químicos implementada, ou seja, é muito mais econômico, e ambientalmente correto, investir em químicos rápidos e eficientes, do que se despender valores com horas de bombeamento com ar comprimido que utiliza um compressor de ar, que consome em média de 70 a 90 litros de óleo diesel por hora, lançando a fumaça desta combustão no meio ambiente.

Sua formulação conta com cadeias curtas de ortofosfatos ácidos, agentes inibidores de corrosão, anti espumantes, redutores de tensão superficial e aditivos especiais para estabilidade, que dispersam rapidamente o fluído, mantendo esta dispersão até o momento de sua remoção.

Para decomposição do CMC e para desinfecção, foi utilizado bactericida/oxidante isento de compostos de cloro (não tem possibilidade de geração de THM), patenteado pelo fabricante, foi criado especialmente para aplicações em poços, e também possui certificado de produto não tóxico tipo DL 50 > 2.000 mg/kg, e com capacidade de eliminação de ferro-bactérias (FREITAS, 2002).

Não foram utilizados produtos que contem cloro em sua composição, pois compostos de cloro, como o Hipoclorito de sódio, quando associados à matéria orgânica, geram Thrialometanos (THM), conhecida e comprovadamente cancerígenos, acumulativos nos organismos e meio ambiente, desta forma, o descarte de soluções que contenham estes compostos requer cuidados e deve ser controlado e apropriado, para que não ocorram danos ambientais, muitas vezes desprezados no passado (MARTINS NETTO, *et.al.*, 2007).

7. METODOLOGIA APLICADA NO DESENVOLVIMENTO DOS PTR-02 e 03

Para o desenvolvimento dos poços PTR-02 e 03, foram efetuadas algumas alterações na metodologia usual aplicada em poços no minério, sendo que a principal alteração se deu nos químicos utilizados, que atuaram de forma diferente e priorizaram funções específicas sobre a dispersão do fluído, para uma rápida e eficiente remoção do fluído de perfuração e finos presentes. Para a rápida decomposição da parte orgânica do fluido, foi utilizado agente oxidante isento de cloro, e para a dispersão das argilas foi introduzido ortofosfato ácido, que tem uma ação

diferenciada sobre a lama, além de reduzir fortemente o pH, que contribui na instabilidade do CMC, permitindo assim sua remoção mais rápida.

O resumo das operações efetuadas nos PTR-02 e PTR-03 é descrito abaixo:

- Durante a descida do pré-filtro, quando este cobriu o filtro mais perto da superfície, foi aplicado 50 litros do oxidante/bactericida, mantendo o contra-fluxo até o término da descida do pré-filtro.
- Ao término da descida do pré-filtro, foi mantido o contra-fluxo com a injeção de água.
- Aplicação de 50 litros do dispersante a base de ortofosfatos ácidos.
- Tempo de contato e ação de 03 horas.
- Bombeamento com ar comprimido.
- Aplicação de 50 L do dispersante a base ortofosfato ácido + ligando e desligando o compressor por 01 hora.
- Descarte de 10 horas.
- Jateamento do poço, filtro a filtro com solução contendo 100L do dispersante.
- Repouso de 12 horas
- Bombeamento com ar comprimido por 40 /50 horas.
- Ao término do bombeamento foi aplicado + 50 litros do bactericida para eliminação de qualquer eventual resíduo orgânico, e eliminação de bactérias, inclusive ferro-bactérias.

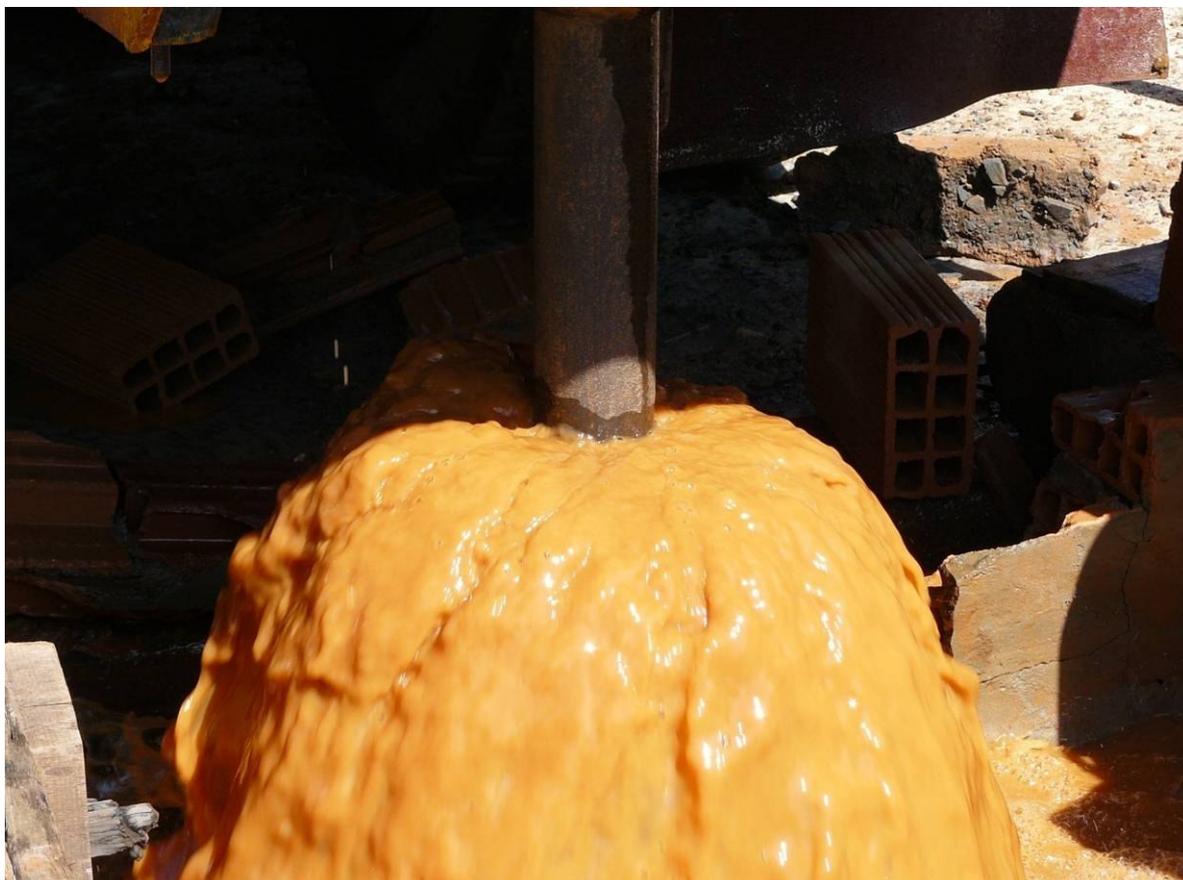


Figura 6. Detalhe da água no bombeamento do PTR-03.

9. SEGUNDA FASE DE DESENVOLVIMENTO

Os resultados animadores obtidos nos PRT02 e 3 indicaram que se efetuasse uma nova operação no PTR-01, chamada de “Segunda Fase de Desenvolvimento”.

A “Segunda Fase de Desenvolvimento” foi denominação criada pelo Autor⁽¹⁾ para a primeira operação realizada em um poço no minério de ferro, nas proximidades de Belo Horizonte - MG, em 2002, onde o poço já havia sido desenvolvido com 600 Kg de outros agentes, bombeado com compressor de alta pressão por 100 horas, testado em 05 etapas e entregue ao cliente, e sua vazão era de 36,00 m³/h, com NE aos 3,51 m e ND aos 91,00 m, que se traduz em uma vazão específica (Q/s) de 0,411 m³/h/m, abaixo do esperado e dos poços adjacentes, dentro da própria mina.

Este fato, somado à informação do teste de vazão, de que durante este, a água se apresentava turva e com colóides, sugeriu que fosse realizado neste poço uma segunda operação de desenvolvimento, para verificação dos resultados, e estas operações foram batizadas de “Segunda Fase de Desenvolvimento”.

Nesta primeira operação, os produtos foram introduzidos no poço com um compressor de ar de baixa pressão, e em seguida, recirculados e descartados, e o resultado real foi de um aumento de vazão para 56,90 m³/h com NE a 3,51 e ND aos 90,10 m, resultando em uma vazão específica de 0,657 m³/h/m, que demonstrou que era possível se aumentar a vazão específica de um poço novo, já tido como desenvolvido e concluído, em + 59,80 %.

Além do aumento da vazão, outro fator observado foi a saída de grande quantidade de água suja e a descida do pré-filtro. Este evento mostra que o material que ocupava espaço dentro do pré-filtro foi solubilizado/disperso e removido durante as operações, o que comprovou que o desenvolvimento dos poços ainda possuía espaço para melhorias.

As operações realizadas no PTR-01, depois de praticamente 2 anos de operação, também demonstraram este efeito de remoção de grande quantidade de material e descida do pré-filtro, chegando este a descer 9 m no furo com diâmetro de 17 ½”. Este efeito foi sentido em muitos outros poços onde foi efetuada uma segunda fase de desenvolvimento.

Outro fator importante a considerar, é que historicamente muitos poços no minério de ferro em Minas Gerais, produziam *finos*, e estes sempre foram associados às Formações Geológicas, mas dados atuais têm demonstrado que a presença de finos foi reduzida consideravelmente em poços desenvolvidas segundo a metodologia aplicada nos PTR-02 e 03. Isto demonstra que estes têm uma relação com o desenvolvimento dos poços.

O PTR-01 produziu *finos* inicialmente, e depois com a operação ao longo do tempo, deixou de produzir. Já os PTR-02 e 03 não produziram finos, e segundo informação da planilha de teste do PTR-03, fornecida pela Empresa Perfuradora, o poço já apresentava água limpa com 8 minutos de

teste de vazão, ou seja, comprovando a eficiência da metodologia empregada, que permitiu maior vazão, água limpa e sem finos, já no início da operação (Figuras 09 e 10 com resultados gráficos).

10. PROCEDIMENTOS ADOTADOS NAS OPERAÇÕES NO PTR-01

- Retirada da Bomba.
- Descida da tubulação de ar e água para utilização do sistema “air-lift”.
- Bombeamento com compressor para remoção de material particulado.
- Colocação do poço em regime de recirculação, onde a água bombeada volta para dentro do próprio poço.
- Aplicação de 75 litros do dispersante a base de ortofosfatos ácidos.
- “Fervendo” o poço (dando reversão) por 01 hora
- Bombeamento com ar comprimido.
- Aplicação e distribuição no poço de 125 litros do dispersante a base de ortofosfatos ácidos.
- Tempo de contato e ação de 08 horas.
- Pistoneamento do poço, com aplicação de + 50 litros do dispersante.
- Bombeamento e descarte com ar comprimido.
- Aplicação de 50 litros do bactericida com capacidade de eliminação de ferro-bactérias.
- Remoção da coluna de bombeamento e instalação da bomba do poço.



Figuras 7 e 8. Operações no PTR-01 durante a Segunda Fase de Desenvolvimento.

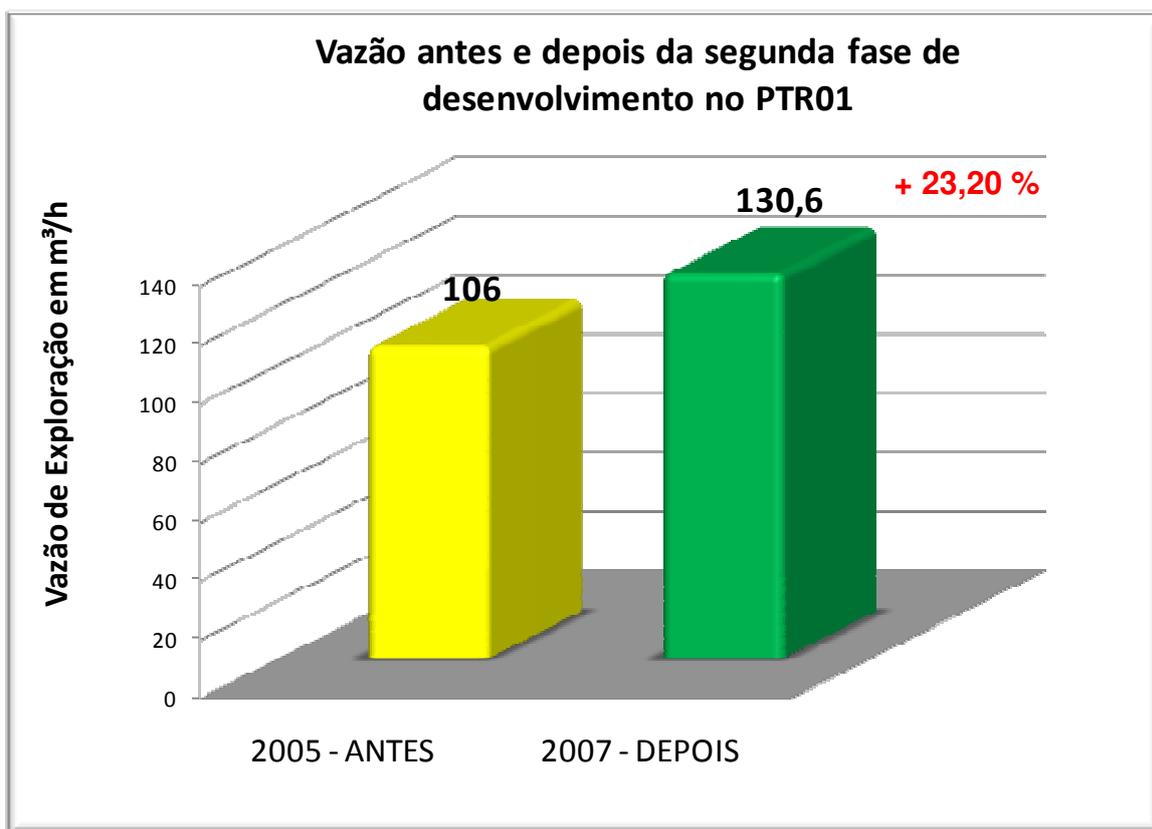


Gráfico 1. Resultados do incremento na **vazão de exploração no PTR-01** após as operações.



Gráfico 2. Resultados do incremento na **vazão específica no PTR-01** após as operações.

Resultados da Segunda fase de Desenvolvimento no PTR-01			
PTR-01	ANTES	DEPOIS	Resultado %
Vazão exploração	106,00 m ³	130,60 m ³	+ 23,20 %
Vazão Específica	1,213 m ³ /h/m	1,526 m ³ /h/m	+ 25,85 %

Tabela 1. Comparativo de “Q” e “Q/s” no **PTR-01** após a segunda fase de desenvolvimento.

Se compararmos as vazões específicas da época da perfuração com as atuais notaremos um decréscimo, que é característico dos poços de rebaixamento de níveis, além de termos de considerar a interferência com os novos poços.

Considerando-se dois poços próximos sendo bombeados simultaneamente, cada um deles sofrerá um acréscimo de rebaixamento (interferência) devido à expansão do cone de depressão do outro poço. Numa bateria de poços, cada poço sofrerá a influência de todos os outros. (FREITAS & MARTINS NETTO, 2008, inédito).

11. COLETA DE DADOS

Para coleta de dados foram efetuados testes de vazões em 05 etapas, sendo a primeira de vazão máxima nos PRT02 e 03 de 24 horas, seguida de recuperação de níveis, e após esta, mais 04 etapas com vazões escalonadas em 40, 60, 80 e 100 %. O PRT01 contou com teste de vazão máxima de 48 h, seguido de recuperação e 04 etapas escalonadas, também de aproximadamente 40, 60,80 e 100%, da vazão máxima, além de 06 piezômetros de observação.

Apesar do número do poço ser PTR-02, este foi perfurado após o PTR-03, e assim não houve, até a data de elaboração deste trabalho, tempo hábil para a execução das etapas escalonadas do teste. Desta forma os dados disponíveis de rebaixamento e recuperação foram trabalhados comparativamente com os dados do PTR-03, que mostraram coerência nas interpretações adotadas e assim se inferiu um número de eficiência de 85,3% que será confirmado quando do momento da disponibilidade dos dados necessários.

12. TRATAMENTO DE DADOS

Para o tratamento analítico dos dados foi utilizado método de *Theis* e da aproximação logarítmica ou linha reta de *Jacob*, que é uma simplificação do método de *Theis*. Esta metodologia é utilizada no modelo de regime transitório ou não permanente, em que o rebaixamento do nível da água no aquífero é função do tempo, e o cone de depressão não necessita ter alcançado a estabilização de níveis.

Para termos um parâmetro comparativo entre os poços e seu desenvolvimento, a melhor maneira encontrada foi se trabalhar com a eficiência hidráulica dos poços, calculada pela fórmula:

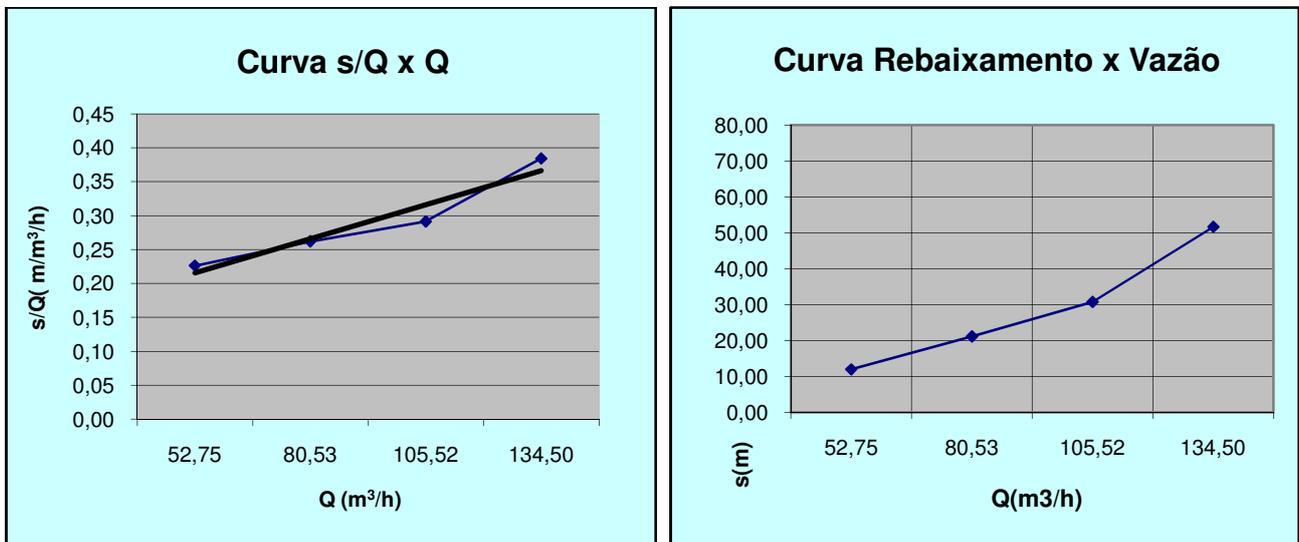
$$Ef = (BQ/(BQ+CQ^n) \times 100),$$

onde; BQ = perdas naturais do aquífero
 BQ + CQⁿ = Perdas totais

Quando bombeamos um poço tubular, se observa, na prática, que o nível dinâmico no interior do poço é diferente do nível dinâmico na parte externa. O rebaixamento medido no interior do poço chama-se *rebaixamento real*, o externo é o *rebaixamento teórico*, pois este coincide com os rebaixamentos calculados pelas expressões analíticas de interpretação dos dados dos testes de bombeamento. A relação entre estes dois rebaixamentos expressará o grau de eficiência do poço, assim, quanto mais próximo do *rebaixamento real* estiver o *rebaixamento teórico*, mais eficiente será o poço. (FEITOSA, 2008).

Outro fator considerado, foi a Vazão Específica dos poços (Q esp.), definida como a vazão do poço dividida pelo rebaixamento: $Q \text{ esp.} = Q/s \text{ (m}^3/\text{h/m)}$.

Os valores de vazão específica no PTR-01 mostraram que há uma forte diminuição gradual desse índice com o aumento da vazão, que decrescem de 4,42 (1ª etapa – Q= 52,7 m³/h), para 2,60 m³/h/m (4ª etapa – Q = 134,50 m³/h). Destaca-se que a vazão específica obtida no ensaio prolongado é ainda menor, de 2,180 m³/h/m, o que comprova a diminuição progressiva desse parâmetro com o aumento da vazão (SAMARCO, 2005).

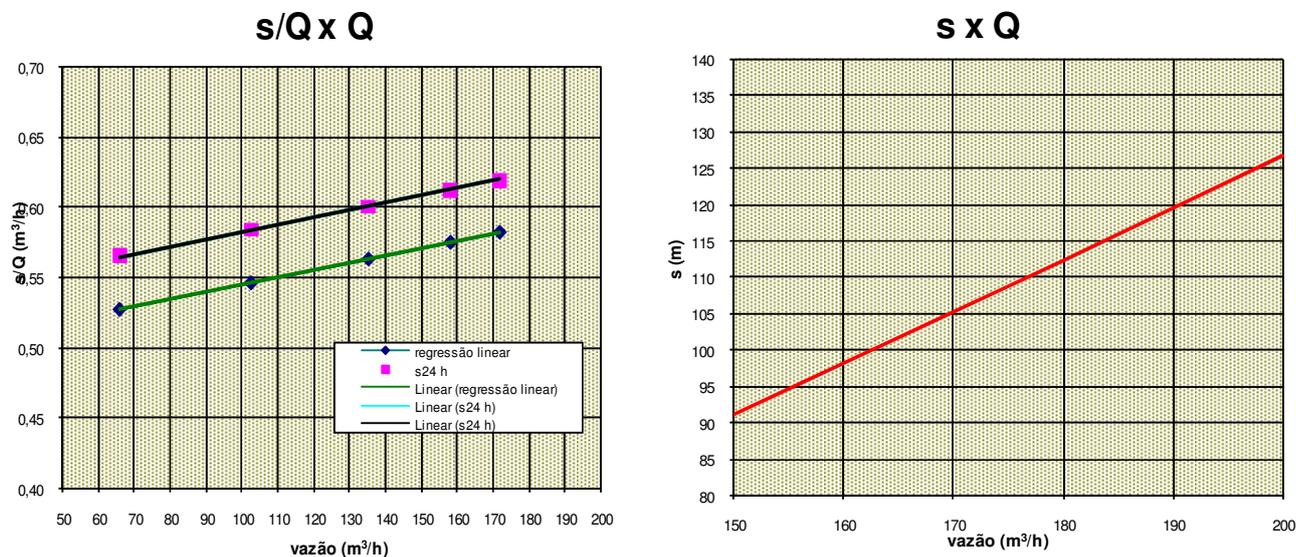


Gráficos 3 e 4. S/Q x Q e S/Q para o PTR-01 (SAMARCO, 2005).

Deste modo, no caso da vazão máxima obtida do teste, a eficiência do poço PTR-01 foi calculada em 42,22 %, que representa um valor relativamente baixo, isto é, as perdas de carga a entrada de água do poço são bastante significativas (SAMARCO, 2005).

Comparativamente o PTR-03 varia sua vazão específica de 1,86 (1ª etapa – Q= 65,80 m³/h), para 1,69 m³/h/m (4ª etapa – Q = 171,50 m³/h), e sua eficiência calculada foi de 86,7%, ou seja, mais do que o dobro de eficiência, se comparada ao PTR-01.

Estas variações positivas estão relacionadas com as inovações e químicos aplicados no desenvolvimento dos PTR-02 e 03, e que estavam em aprimoramento em 2005, e assim não se pode afirmar que o desenvolvimento do PTR-01 deixou de ser feito de maneira satisfatória na época, apenas foi efetuado segundo uma metodologia que foi melhorada ao longo dos últimos anos.



Gráficos 4 e 5. S/Q x Q e S/Q para o PTR-03 (DH, 2007).

13. RESULTADOS OBTIDOS NO DESENVOLVIMENTO DOS PTR-01, 02 e 03.

Os resultados dos 03 poços avaliados demonstraram que a metodologia empregada proporcionou uma melhora significativa na eficiência dos poços, conforme gráfico abaixo:

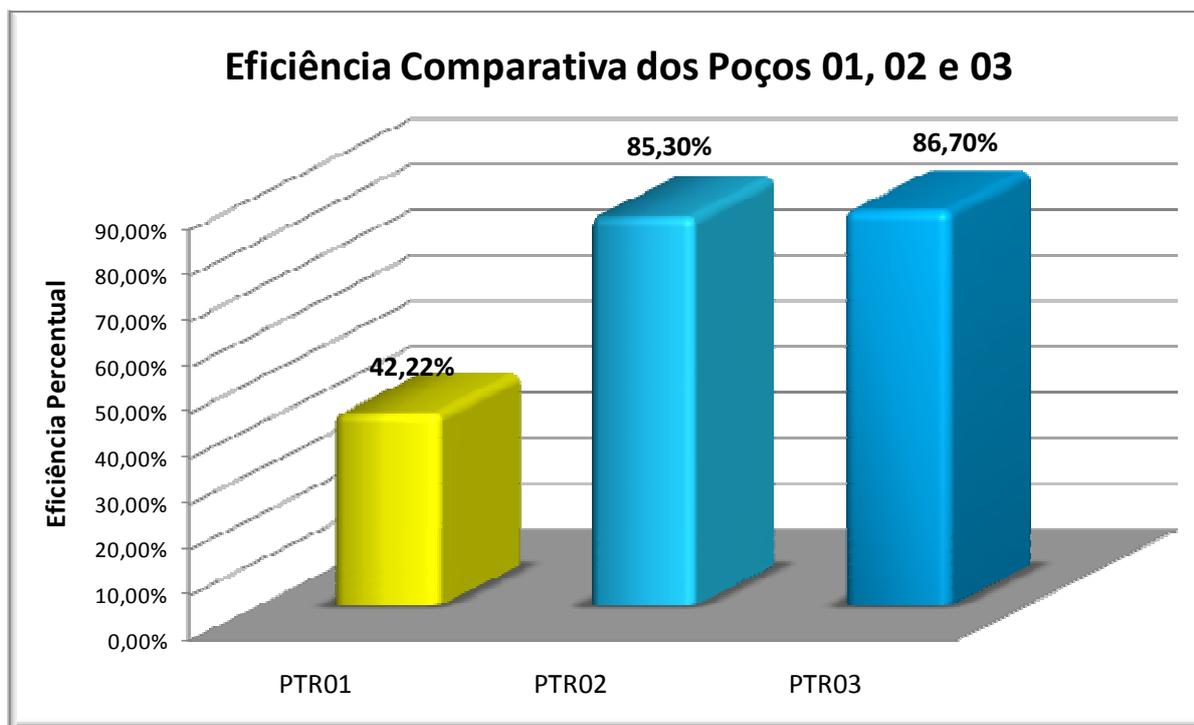


Gráfico 5. Comparativo em eficiência dos PTR-01, 02 (a confirmar) e 03.

Resultados Comparativos da eficiência dos Poços PTR-01,02 e 03		
Poço	Eficiência	Observações
PTR-01	42,22 %	Menor eficiência dos 3 poços
PTR-02	85,30 %*	102,03 % maior que o PTR-01
PTR-03	86,70 %**	105,45 % maior que o PTR-01

Tabela 2. Comparativo de eficiências percentuais dos PRT-01,02 e 03

Obs.: * - PTR-02 a confirmar.

** - A eficiência calculada pela Empresa de Perfuração foi de 94,0 % (DH, 2007), porém como os cálculos dos autores resultaram em um número menor, optou-se por atribuir este.

14. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Tomando-se como base o fator calculado de eficiência dos poços, pode-se concluir que as inovações implementadas permitiram que os novos Poços, 02 e 03 fossem, terminados com uma eficiência duas vezes superior ao PTR-01.

A eficiência do PTR-01 foi calculada em 42,20 %, ao passo que o PTR-02 foi extrapolada em 85,30% (102,30 % maior do que o PTR-01), e o PTR-03 foi confirmado com 86,70% (105,45% maior do que o PTR-01).

O forte decréscimo da vazão específica em função do aumento da vazão bombeada, no PTR-01, e o fato de que sua vazão de teste não ter atingido o crítico, reforçam a indicação de que o poço iniciou sua operação explorando vazão menor do que a permitida pelo aquífero, em função de perdas de carga construtivas que repercutiram em sua menor eficiência.

Estas variações positivas no PTR-02 e 03 estão relacionadas com as inovações e químicos aplicados no desenvolvimento em 2007, e que estavam em aprimoramento em 2005, quando da Perfuração do PTR-01, e assim não se pode afirmar que o desenvolvimento do PTR-01 deixou de ser feito de maneira satisfatória na época, apenas foi efetuado segundo uma metodologia que foi melhorada ao longo dos últimos anos.

O retorno ao PTR-01, em uma segunda fase de desenvolvimento, proporcionou um aumento de sua vazão específica em 25,85 %, passando sua vazão de exploração de 106,0 para 130,6 m³/h, ou seja, após os trabalhos se pode extrair mais 212.544 m³/ ano, com um ganho no rebaixamento dos níveis de água, e redução de custo operacional.

Recomenda-se assim, que os novos poços perfurados sigam a metodologia empregada e utilizem produtos a base de ortofosfatos ácidos, combinados com oxidantes, para o desenvolvimento dos poços.

15. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUSTÓDIO, E & LLAMAS, M.R., 1983 - Hidrologia Subterrânea, 2ed., Ediciones Omega S.A., Barcelona, 1983.
- DH - 2007 – Relatório Técnico Final de Perfuração e Interpretação de Teste de Vazão – PTR – 03, para SAMARCO Mineração S/A. – DH Perfuração de Poços Ltda., 2007
- DRISCOLL, F.C – Groundwater and Wells, 2 ed, Johnson Division, Minnesota, USA - 1986
- FEITOSA, F.A.C – 2008 – Testes de Bombeamento Para Avaliação de Aquíferos, Apostila de Curso, ABAS – Belo Horizonte – MG, 118 p.
- FREITAS, C.A., 2002 CD Projeto Piloto de Combate a Ferro Bactérias em Poços Tubulares no Aquífero Aluvionar de Amaro Lanari – Vale do Aço – MG, CD Room- 12o Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, ABAS/DNPM/UFSC-PPGEA, 2002, Florianópolis.
- GONÇALES, V.G; GIAMPÁ, C.E.Q – 2006, Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos, 1ª Ed., São Paulo – SP, 501 p.
- GOOGLE EARTH, 2008 - Página Internet; imagem de satélite do Estado d Minas Gerais e Cidade de Mariana – MG, Brasil.
- HANTUSH, M.S. 1956. Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers. Am. Geophys. Union Transactions, Washington, 37:702-714.
- FREITAS, C.A & MARTINS NETTO, J.P.G.; 2008, Reabilitação de Poços Tubulares Paralisados Por Baixa Vazão, Através de Processos Químicos de Alta Eficiência – Aguardando aprovação para publicação no XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas – Natal, 2008, inédito.
- MARTINS NETTO, J.P G.; FRANCO F. F.W.B.; NETO, C. B.- 2007, O Aumento da Produção de Água , Redução do Consumo de Energia Elétrica e Recuperação de Investimentos, Através da Manutenção e Desincrustação Química em Poços, com a Utilização de Produto a Base de Ortofosfatos Ácidos. - CD Room, XVIII Congresso da Associação de Engenheiros da SABESP – AESABESP, São Paulo, 2007.
- MORENO, A.; SANCHEZ, E. B.; MONFORT, E. – Relação entre características da Água e o Comportamento Reológico das Suspensões de Esmalte Durante a Moagem – Universidade Jaume I. Castellón – Espanha. 1997
- SAMARCO MINERAÇÃO S.A., 2003 - Geologia e Tipologia dos Minérios da Mina de Alegria; Mariana-MG; Relatório Interno.
- SAMARCO MINERAÇÃO S.A., 2004 - Caracterização Hidrogeológica Preliminar e Plano de Monitoramento Hídrico, Mariana-MG; Relatório Interno.
- SAMARCO MINERAÇÃO S.A., 2005 – Resultados de Teste de Bombeamento PTR-01 – Cava da Mina 3/4/5 – Geoestrutural Consultoria e Projetos; Mariana- MG, 23 p.