

FLUIDO DE PERFURAÇÃO O USO DE INIBIDORES DE ARGILAS COMO SOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM SONDAGENS

Eugenio Pereira¹

RESUMO

O processo de desenvolvimento de novas tecnologias em fluidos de perfuração estabeleceu duas premissas fundamentais: controle de viscosidade e inibição de argilas hidratáveis. Outros aspectos importantes como controle de filtração e reboco tornaram-se quase que decorrentes da ação dos principais produtos. O parâmetro viscosidade alcançou grande evolução nas últimas décadas com a implantação do uso de polímeros de alto rendimento, capazes de substituir a bentonita com 20 vezes menos material e outros atributos. Através disso, obteve-se o fluido de baixo teor de sólidos apontado como a chave do sucesso em fluidos de perfuração. A inibição de argilas já é fato mais recente. Sua importância é relacionada diretamente ao aumento de produtividade, tanto de metro lineares perfurados quanto de metros cúbicos por hora. Argilas expansivas danificam aquíferos, encerram brocas, instabilizam furos, aprisionam ferramentas. São fatores de problemas operacionais como o ocorrido num poço em Tremembé (SP), onde um furo instabilizado por folhelhos desmoronantes provocou sérias dificuldades na etapa de revestimento. O uso de produto químico inibidor a base de sais de potássio contribuiu inestimavelmente para a correção do problema. Pode-se então afirmar que o estudo da química das argilas e das substâncias capazes de inibi-la é essencial a hidrogeólogos e técnicos responsáveis pelas sondagens de poços de água.

PALAVRAS CHAVES:

LAMA, FLUIDO DE PERFURAÇÃO, INIBIDORES DE ARGILAS

1. QUÍMICA DAS ARGILAS

No âmbito das perfurações, o termo argila designa-se a um grupo de partículas com diâmetro menor que 2 microns (2mm/1000), o que inclui a maioria dos argilo-minerais. Os argilo-minerais constituem-se de alumino-silicatos microcristalinos muito bem definidos. Suas estruturas mineralógicas dominantes são camadas formadas por lâminas de sílica e alumina alternadas. A maioria dos minerais de argilas apresentam morfologia planar como as micas. Dependendo da proporção entre sílica e alumina, tal como 1:1, 2:1 e 2:2, podem receber diferentes classificações (tabela 1).

1) Eugênio Pereira, geólogo, diretor técnico da System Mud Produtos Químico Ltda., fone/fax: (47) 346-5510, E-Mail: eugenio@systemmud.com.br

As argilas mais importantes em perfuração pertencem ao grupo das esmectitas. Elas são as maiores componentes das bentonitas que são argilas industrializadas fortemente hidratáveis que podem ser aplicadas nos fluidos de perfuração. Possuem propriedades viscosificantes, formadora de gel e de controle de filtrações. O termo bentonita é utilizado comercialmente para denominar a montmorilonita de sódio, que é um tipo de esmectita.

Esta mesma montmorilonita de sódio pode também aparecer como componente de formações argilosas e causar problemas em perfurações. Ao entrar em contato com o Fluido a base de água ela sofre hidratação, podendo reduzir o diâmetro do furo e ter os recortes argilosos dispersos e incorporados ao próprio Fluido, contaminando-o. Então, as argilas podem ser benéficas ou danosas aos processos de sondagens.

| Grupo | Estrutura Silica : Alumina | Troca Catiônica | Distância Iteratômica (Å) | Hidratação / Inchamento |
|-------------|----------------------------|--|---------------------------|-------------------------|
| Caolinita | 1 : 1 | Nenhuma | 7,2 | Nenhum |
| Talco | 2 : 1 | Nenhuma | 9,3 | Nenhum |
| Esmectita | 2 : 1 | Na ⁺ , Ca ⁺² , K ⁺ , Mg ⁺² | 11 – 15 | Variável |
| Vermiculita | 2 : 1 | K ⁺ , Mg ⁺² | 14 – 15 | Variável |
| Ilita | 2 : 1 | K ⁺ | 10 | Nenhum |
| Mica | 2 : 1 | K ⁺ | 10 | Nenhum |
| Clorita | 2 : 2 | Mg(OH) ₂ | 14 | Nenhum |
| Atapulgita | 2 : 1 | Nenhuma | 12 | Nenhum |

Tabela 1. Argilas mais comuns encontradas

1.1. CLASSIFICAÇÃO DAS ARGILAS

Os tipos de argilo-minerais que realmente importam aos Fluidos de Perfuração são apenas três:

1.1.1. Atapulgita ou Sepiolita

Míneral agulhiforme (fig. 1) que possui capacidade de desenvolver viscosidade com água de qualquer tipo (até do mar). Presença rara em formações argilosas.

1.1.2. Ilitas, Cloritas e Caolinitas

Argilas laminadas abundantes nos folhelhos que sofrem pouca ou nenhuma hidratação.

1.1.3. Montmorilonitas

Argilas laminadas (fig. 2) que possuem alto poder de hidratação comuns nos pacotes argilosos.

Na ordem de presença quantitativa em formações, podemos estabelecer a seguinte seqüência: (1^a) ilita, (2^a) clorita, (3^a) montmorilonita e (4^a) caolinita. Qualquer uma que faça parte da litologia perfurada, a tendência é que se incorpore ao fluido em quantidades variadas. Podemos dizer que somente a montmorilonita poderá desempenhar função benéfica – controle de filtração em formações permeáveis. As outras argilas serão classificadas como contaminantes.

1.2. MORFOLOGIA DAS ARGILAS

As argilas são agregadas em pacotes laminares como um baralho de cartas. Cada lâmina mede 10Å, ou seja, cada milímetro comporta 1 milhão lâminas. Se pudessem ser espalhadas uma ao lado da outra, as lâminas presentes em 1 g de argila ocupariam área de 750 m². Ao entrarem em contato com água, os pacotes de argila vão se separando a medida que a água penetra entre as camadas. Este efeito é chamado de dispersão – a separação das lâminas au-

menta sua área de superfície exposta com as cargas atraindo as moléculas de água criando o efeito gel. Na fig 2 verificamos a configuração de uma lâmina de montmorilonita. Na fig 3, ao lado, observamos o efeito baralho de cartas, arranjo espacial da esmectita hidratada, importante na formação do reboco e controle de filtrações dos fluidos de perfuração.

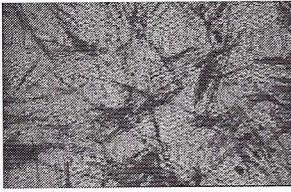


Fig 1. Microfotografia de partículas de atapulgita

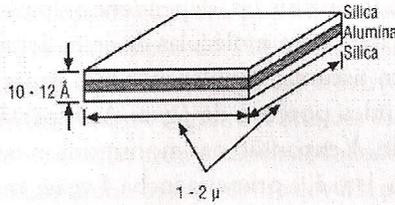


Fig 2. Partícula de Montmorilonita

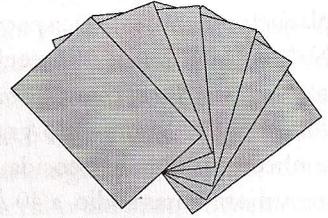


Fig 3. Efeito leque de cartas das partículas

1.3. TROCA CATIÔNICA E REATIVIDADE DAS ARGILAS

A capacidade da argila em trocar cátions, a área de superfície das placas e a quantidade de água adsorvida refletem sua reatividade. Os dois últimos são dados físicos. O primeiro é o dado químico que pode ser medido e indica com precisão a presença das esmectitas nas formações perfuradas ou no próprio fluido. A capacidade de troca catiônica da esmectita é 10 vezes maior que das outras, em média. O melhor exemplo de troca catiônica nas argilas é a substituição de Mg^{+2} por Al^{+3} nas montmorilonitas (fig. 4). A troca deixa elétrons excedentes, ou seja, cargas negativas das superfícies das lâminas. Estas são compensadas por cátions adsorvidos que unirão as placas em grandes pilhas. Os cátions podem ser monovalentes como o Na^+ ou bivalentes como o Ca^{+2} e o Mg^{+2} . Desta forma, a montmorilonita pode ser cálcica ou sódica (fig. 5). Muitas outras substituições são possíveis denotando estruturas minerais específicas que ao lado das montmorilonitas constituirão o grupo das esmectitas. Este grupo inclui também saponita, nontronita, hectorita, e outras.

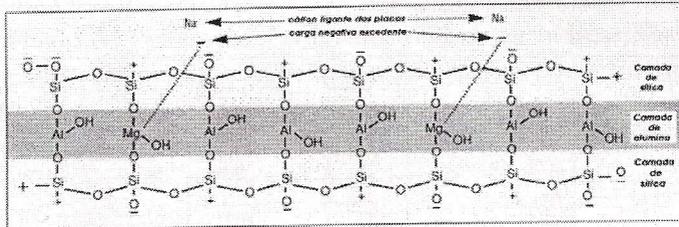


Fig. 4. Substituição do Mg^2 por Al^3 causando a carga negativa na partícula

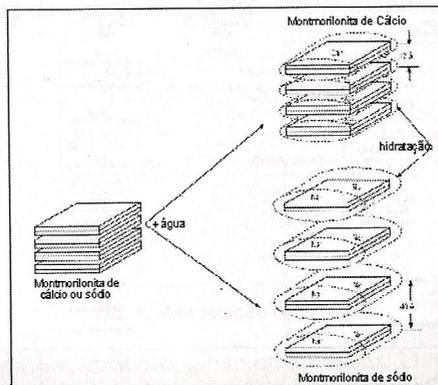


Fig. 5. Comparação de inchamento entre montmorilonita de cálcio e sódica

1.4. HIDRATAÇÃO DAS ARGILAS

Como vimos na fig. 2, o cristal de montmorilonita consiste de 3 camadas: alumina sobreposta e sotoposta por sílica como se fosse um sanduíche. Se a superfície negativa da placa está associada a uma nuvem de cátions, a extremidade ou aresta possui cargas positivas expostas, resultantes de rupturas da estrutura cristalina do mineral (tendência de ir se quebrando em plaquetas menores). O espaço intercamadas, dependendo do cátion presente, será de 9,8 Å (Na⁺) ou 12,1 Å (Ca⁺²), preenchido com moléculas de água firmemente aderidas. Em contato com a água doce, esta por sua natureza bipolar invade o espaço intercamadas que expande com a argila adsorvendo grandes porções de água. A dispersão resultante gera o que nós conhecemos como viscosidade. A expansão nas montmorilonitas de cálcio chega a 17 Å e nas montmorilonitas sódio, a 40 Å, isto é, a primeira incha 4 vezes menos que a segunda (fig. 5). A força de atração intercamadas exercida pelo Ca⁺² é 4 vezes maior que o Na⁺ e impede a penetração de maior quantidade de água. Este fato resulta em viscosidades 4 vezes maiores das bentonitas sódicas em relação às bentonitas cálcicas. A bentonita naturalmente sódica mais conhecida do mundo é a de Wyoming, originária dos EUA. A bentonita brasileira extraída no Estado da Paraíba tem natureza cálcica. Para corrigi-la e transformá-la em sódica, os fabricantes de bentonita para perfuração ativam-na com carbonato de sódio (Na₂CO₃). Ao ser hidratada, o cálcio precipita na forma de CaCO₃ e o sódio passa a ocupar seu lugar, permitindo o inchamento necessário.

A esmectita é muito mais reativa que illita e clorita, mais ainda que caolinita. Formações argilosas contendo esmectita vão ser conseqüentemente sensíveis a presença de água. Muitas destas formações contêm variados tipos e quantidades de argilas. Quanto maior a presença de esmectita, maior a reatividade. A capacidade de argilitos e folhelhos atravessados pela sondagem em absorver água doce do Fluido é fator de importância fundamental a segurança, eficiência e qualidade dos trabalhos de perfuração.

1.5. INFLUÊNCIA DOS CÁTIONS SOBRE A HIDRATAÇÃO DAS ARGILAS

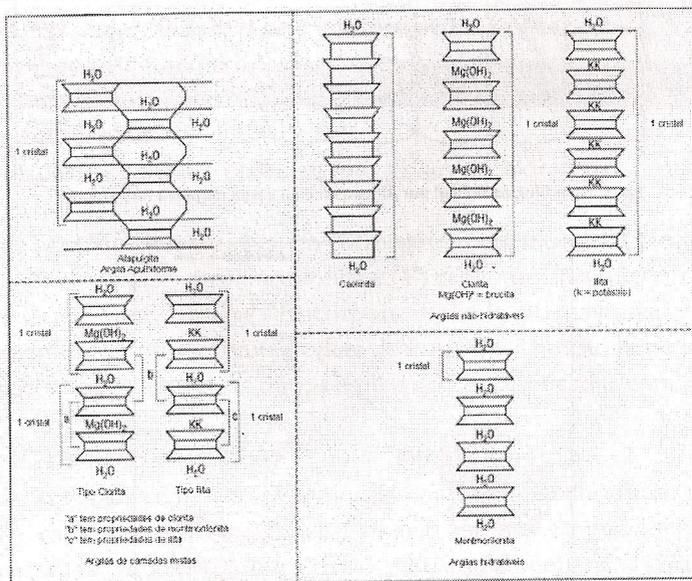


Figura 6. Comparação entre as estruturas das argilas

A capacidade de substituição de um cátion pelo outro pode ser colocada na seguinte ordem: $H^+ > Al^{+3} > Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+ > NH_4^{+4} > Na^+ > Li^+$

Esta ordem pode ser alterada dependendo da disponibilidade de cátions no momento da reação. Se houver muito mais K^+ que Ca^{+2} , o primeiro terá a preferência na substituição.

Como já foi mencionado, os cátions servem como ligas para agregar as placas dos argilominerais. Entretanto, dependendo de sua valência, podem reduzir a viscosidade quando esta é objetivada. O item anterior citou o exemplo do Na e Ca, estabelecendo uma tendência de quanto maior a valência maior a atração entre as placas e menor a viscosidade resultante da hidratação. Porém, um cátion foge a esta regra: o Potássio. Ele é largamente utilizado em Fluidos de Perfuração e de Completação para estabilizar folhelhos, argilitos e qualquer outra litologia sensível a água. Por ser um cátion monovalente deveria permitir um maior inchamento das esmectitas pela hidratação. Mas, ocorre aqui um fato especial: o diâmetro iônico do Potássio é de 2,66 Å e o espaço intercamadas da montmorilonita é de 2,8 Å. O potássio entra como um plugue no intervalo e tampona a entrada da água que irá inchar. Quanto maior a concentração de íons K em relação a Na, mais rápida a troca catiônica de um pelo outro. A fig. 6 mostra a transformação da montmorilonita em illita, quando K substitui Na. Erbel (1980) avaliou que a fixação do K na esmectita ocorrerá se as cargas de superfícies forem muito elevadas, o que direcionará o equilíbrio preferencial pela troca catiônica com K. Algumas montmorilonitas depositadas em locais sem disponibilidade de K serão seletivas por este. Enquanto existir K disponível haverá transformação de Montmorilonita para Illitas. Se o K esgotar-se, sobrarão camadas reativas de esmectita que poderá expandir-se em contato com o Fluido de Perfuração. Esta hidratação heterogênea de algumas camadas, principalmente em folhelhos, provocará a instabilidade dos furos com problemas de desmoronamentos e estreitamentos que analisaremos posteriormente.

1.6. TIPOS DE LIGAÇÕES ENTRE PLACAS DE ARGILAS

Os cristais de argila podem associar-se de diferentes formas. Isto vai influir na qualidade e eficiência do Fluido de Perfuração. Os Fluidos podem ser hidroargilosos, poliméricos ou mistos. Mesmo os não elaborados com bentonita irão incorporar partículas de argilas durante a perfuração. Estas partículas podem arranjar-se em agregação, dispersão, floculação e defloculação, como está esquematizado na fig. 7. Lembrando, as argilas são negativas nas superfícies e positivas nas arestas. Pode-se, inclusive, ter vários tipos de associação ao mesmo tempo, com um estado predominante.

1.6.1. Agregação (face contra face empilhadas): estado natural da argila seca, pode ser causada após a hidratação pela contaminação do Fluido com cátions multivalentes, tal como

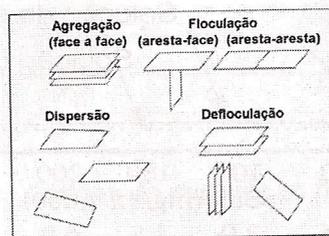


Fig. 7. Associação de argilas

o Ca^{+2} proveniente de calcários, cimento, gesso ou anidritas. Depois de um aumento inicial de viscosidade, esta decrescerá até o valor original mais baixo (fig. 8).

1.6.2. Dispersão: efeito contrário da agregação e estado pretendido para o Fluido, é recomendado para viscosidades elevadas. Depende principalmente da quantidade de cargas das argilas.

1.6.3. Floculação: arranjos face contra aresta e/ou aresta contra aresta das placas, semelhante a um castelo de cartas. Eletrólitos uni ou multivalentes contaminam o Fluido, reduzindo as forças repelentes entre as placas e a película de água aderida. O resultado disto é a gelificação de porções do Fluido, com elevação abrupta de viscosidade, espessura de reboco e volume de filtrado. Pode ocorrer também por altas temperaturas.

1.6.4. Defloculação: correção do processo de floculação pela adição de dispersantes químicos que irão neutralizar as cargas insatisfeitas resultantes. O Fluido irá afinar com conjuntos de partículas agregadas dispersadas.

1.7. FATORES QUE AFETAM AS ARGILAS

A dispersão das placas de argilas durante a hidratação é fortemente afetada pela qualidade química da água utilizada para este fim. Os principais fatores são os seguintes:

1.7.1. Presença de cloretos

A presença de cloretos dependendo do teor pode inibir a hidratação das argilas. Se a bentonita seca é adicionada a águas com diferentes teores de cloreto, a hidratação diminui a partir de 5000 ppm e cessa depois de 50.000 ppm (fig. 8). No caso de adicionar cloreto no fluido bentonítico, este aumenta viscosidade até 1000 ppm (floculação), depois afina abruptamente e vai aumentando levemente a viscosidade após os 3000 ppm. A utilização de fluido salgado a base de polímeros para formações argilosas é uma alternativa para impedir a hidratação das esmectitas presentes.

1.7.2. Presença de metais multivalentes

A presença de cálcio e magnésio (principalmente) será fator de inibição da hidratação das argilas (fig. 8). A hidratação é estancada após 1500 ppm de cálcio. Fluidos tratados com cálcio foram muito utilizados para perfurar folhelhos, principalmente em petróleo.

1.7.3. Efeito do pH

O pH é fator influente a partir de valores acima de 10. Entre 10 e 12 a argila flocula com aumento brusco de viscosidade. A partir disso, ela desidrata quase que totalmente. A elevação de pH a valores acima de 12 para inibir argilas expansivas é um recurso precioso no controle de fluido de perfuração.

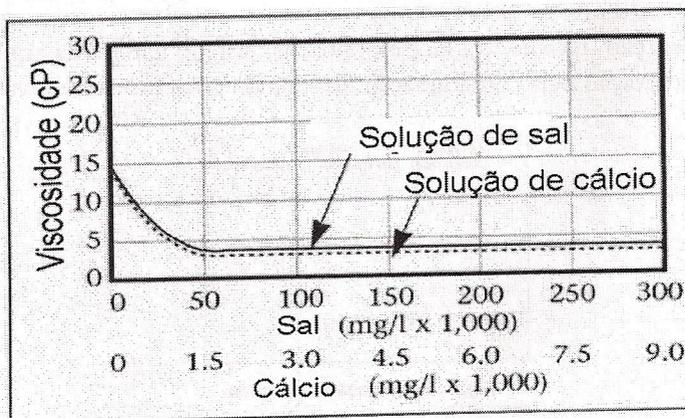


Fig. 8. Efeito de cloretos e cálcio sobre a hidratação das esmectitas

2. INIBIDORES DE HIDRATAÇÃO DE ARGILAS

Produtos químicos podem ser utilizados para evitar a hidratação das argilas durante a perfuração. A expectativa de se encontrar argilas reativas ao longo da perfuração vai prescrever a necessidade de tê-los nas formulações dos fluidos de perfuração. Sua presença é tão valiosa que atualmente os Fluidos são subdivididos em Não Inibidos e Inibidos (itens 4.1 e 4.2).

Podemos chamar de inibidor qualquer composto químico que impeça a hidratação das argilas, mas devemos levar em consideração outros fatores como eficiência e efeitos colaterais. Os sais de cloreto possuem baixo custo e, em altos teores, ação inibidora. Porém, agravam a densidade do fluido e degradam polímeros que perdem em viscosidade. Os sais de cálcio comprometem ainda mais esta relação. A alternativa é utilizar produtos muito reativos que otimizem a eficiência. De acordo com as características próprias de cada material será definida sua função. Podemos dividir os inibidores em Polietrólitos de Baixo Peso Molecular, Polietrólitos de Alto Peso Molecular e Dispersantes Químicos. Os primeiros e os últimos são conhecidos como afinantes, isto é, reduzem a viscosidade do fluido – os de baixo peso fazem controle reológico com inibição das argilas hidratáveis das formações perfuradas e os dispersantes entram nos etapas de desenvolvimento e limpeza do poço. Os sais de potássio são a exceção – servem para todas as funções. Polímeros de alto peso molecular serão mais efetivos no controle de peso específico e teor de sólidos do fluido de perfuração, contribuindo mais ou menos na elevação da viscosidade.

2.1. POLIELETRÓLITO DE BAIXO PESO MOLECULAR

2.1.1. Poliacrilatos

A polimerização do ácido acrílico e a neutralização subsequente com soda cáustica gera o polímero Poliacrilato de Sódio (SPA).

SPA é um polímero aniônico que pode funcionar como defloculante e aditivo para controle de filtrados, dependendo do peso molecular do polímero. Durante a perfuração de um poço, a interação entre sólidos de perfuração tem um efeito profundo nas propriedades do fluido. Existe uma tendência natural da floculação ocorrer (veja a fig. 9A). Floculação resulta num aumento descomunal na reologia deste fluido.

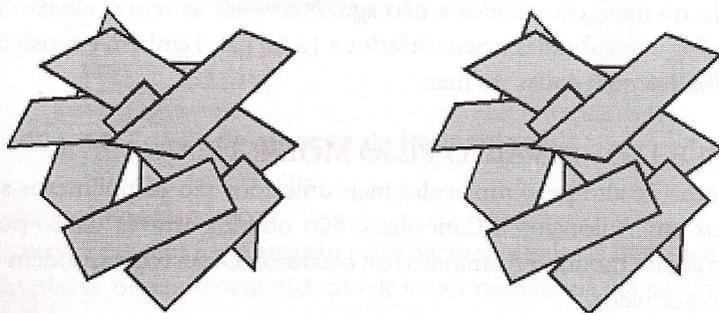


Fig. 9A. Sólidos de perfuração floculados

SPA funciona como defloculante de baixo peso molecular (< 10.000). Tem forte carga negativa e adsorve sólidos ativos presentes no fluido. Nestas adsorções o polímero neutraliza a carga positiva das partículas carregadas eletricamente e sobra as negativas. A repulsão mútua resultante provoca a defloculação.

Isto é melhor alcançado com polímeros de cadeia curta. Pequenas cadeias de polímeros cria a máxima adsorção nas superfícies das partículas e elimina o efeito de floculação. Quando um polímero de cadeia longa adsorve varias partículas ao mesmo tempo o efeito é de floculação e deve ser evitado. Na realidade o tamanho das cadeias não pode exceder muito o tamanho das partículas para que isto aconteça (fig. 9B).

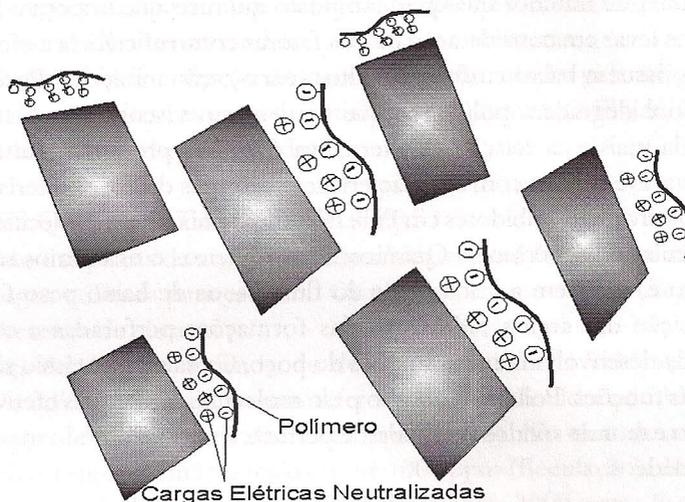


Fig. 9B. Diagrama de SPA e argilas

Muitas companhias usam o poliácrlato de sódio, de peso molecular baixo, como defloculante primário para fluidos de baixo teor de sólidos, não dispersos e outros sistemas poliméricos. Pode ser preparado com um pó (dry), mas geralmente é usado líquido. SPA requer menores concentrações que os dispersantes químicos. Em geral, 0,15 a 3 kg/m³ é suficiente para controle reológico. SPA não depende de pH alcalino e tolera temperaturas de 260°C. Esta é a melhor estabilidade em condições inóspitas entre polímeros de fluidos.

SPA é sensível a altas concentrações de sólidos. Mesmo com sua superfície ativa, pode ficar mergulhado no meio dos sólidos e não agir. Necessita de teores abaixo de 57 kg/m³ de bentonita ou argilas incorporadas e peso inferior a 12 lb/gal. Também é sensível ao cálcio, mas é utilizado em fluidos com águas do mar.

2.2. POLIETRÓLITOS DE ALTO PESO MOLECULAR

Os polímeros de alto peso molecular mais utilizados são os polímeros sintéticos. Estes são subdivididos em Aniônicos e Catiônicos. São obtidos através da co-polimerização de acrilamidas com algum monômero aniônico ou catiônico. Desta forma, podem ser subdivididos em aniônicos e catiônicos.

2.2.1. Polietrólitos Aniônicos (PHPA)

São os mais utilizados no setor de poços de água por contribuírem fortemente na doação de viscosidade ao fluido. Podem apresentar-se em pó ou emulsões a base de poliácrlamida que é um copolímero oriundo da polimerização de acrilato de sódio e acrilamida. A quantidade de acrilato presente determina a anionicidade (capacidade de inibição) do produto – os teores variam, em geral, de 29 a 52%. O polímero resulta da seguinte reação:

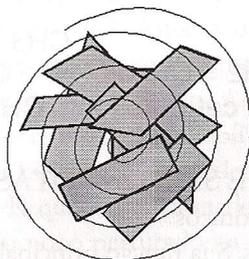
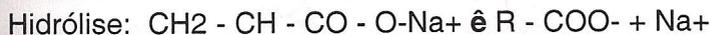
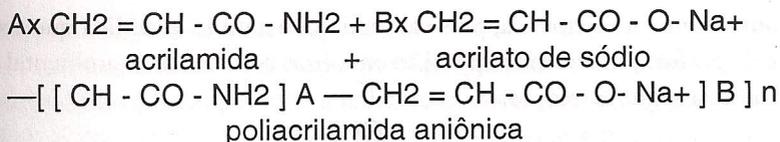


Fig. 10. Floco de argila encapsulado

Possuem peso molecular elevadíssimo, podendo superar os 20 milhões. Em razão disso são fundamentais para o processo de encapsulamento dos sólidos (fig. 10) contaminantes do fluido, formando flocos grandes e pesados, que se depositam facilmente nos tanques de decantação de superfície. Esta forma de remoção das argilas incorporadas configura-se como excelente alternativa para reduzir e controlar o peso específico do fluido. A outra será descartá-lo e substituí-lo por um novo. Observe na fig. 11 que o polímero captura as partículas dispersas em água, neutralizando-as e encapsulando-as. Desta forma, a água adsorvida pelas argilas é liberada e o floco formado pode ser removido por decantação.

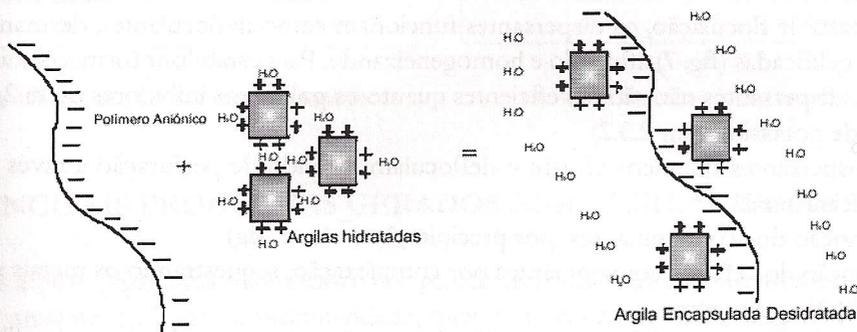


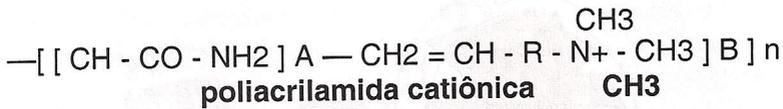
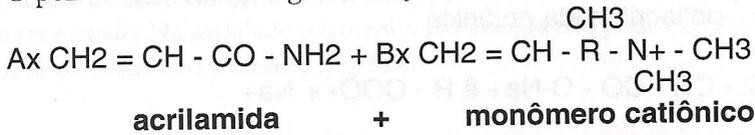
Fig. 11. Forma de atuação da Poliacrilamida

2.2.2. Polieletrólitos Catiônicos

Polímeros catiônicos têm forte atuação na inibição de argilas já que atuam sobre a superfície negativa das placas, obtendo neutralização de maior número de cargas. Tais polímeros são de alto peso molecular e bastante reativos. Contribuem pouco na viscosidade, podendo ser aplicados em dosagens elevadas no fluido. Pela grande extensão das cadeias, similar aos aniônicos, funcionam como encapsulantes, isto é, englobam grande número de partículas ao mesmo tempo, formando flocos envolvidos por películas (fig. 10).

Sua ação inibidora é comparada aos fluidos a base de óleo. As dosagens variam de acordo com o grau de hidratação das argilas: de 4 a 30 kg/m³. A concentração do produto no

fluido tem que ser constantemente renovada, pois vai sendo consumido a medida que a seção argilosa é seccionada pela perfuração. Permite aplicação em obras com controle ambiental rigoroso. O polímero resulta da seguinte reação:



2.3. DISPERSANTES QUÍMICOS E SAIS DE POTÁSSIO

2.3.1. Dispersantes químicos aniônicos

Podem ser orgânicos e inorgânicos. Sua função principal é de afinar o fluido de perfuração. Durante a sondagem a trituração dos recortes pela broca vai quebrando as partículas de argila, expondo cargas positivas nas bordas das placas. Por sua natureza bipolar a água será atraída tanto pela superfície negativa (hidratação dos argilo-minerais) como pelas bordas positivas. O resultado é um acréscimo de viscosidade com a incorporação de novos sólidos ao fluido. O efeito primário destes afinantes é neutralizar as cargas positivas residuais. O mecanismo da ação é de reduzir a porção de viscosidade ocasionada pela presença das cargas positivas. Os afinantes liberam a água ali adsorvida sem interferir na viscosidade oriunda da hidratação dos minerais de argila. Com o saldo de valências negativas resultante vai haver repulsão entre as partículas com conseqüente dispersão. O efeito é semelhante a diluição do fluido com água, o que poderia provocar necessidade de descarte de parte deste. A adição de dispersantes é sem dúvida mais econômica.

Em caso de floculação, os dispersantes funcionam como defloculantes, desmanchando as porções gelificadas (fig. 7) afinando e homogeneizando. Para estabilizar formações argilosas hidratáveis, dispersantes não são tão eficientes quanto os polímeros inibidores (item 2.1 e 2.2) ou os sais de potássio (item 2.3.2)

Os dispersantes químicos afinam e defloculam o fluido de perfuração através dos seguintes mecanismos:

- Remoção dos contaminantes por precipitação ($\bar{\text{Ca}}$ e Mg)
- Redução dos efeitos contaminantes por complexação, seqüestrando os metais solúveis (Ca, Mg, Fe, Mn) presentes
- Neutralizando ou satisfazendo as valências positivas das partículas de argilas, liberando a água adsorvida e criando efeito dispersão pelas cargas negativas geradas que passam a se repelir

Os principais dispersantes utilizados em fluido de perfuração estão relacionados na tabela 2.

| NOME | PRINCIPAIS COMPONENTES | DOSAGEM (kg/m ³) | CAPACIDADE AFINANTE |
|---------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Polifosfatos | Fosfatos lineares inorgânico | 0,5 - 16,0 | Alta |
| Lignitos | Carvão vegetal ativado orgânico | 2,8 - 34,2 | Baixa |
| Lignosulfonad | Lignitos sulfonados orgânico | 2,8 - 34,2 | Média / baixa |
| Taninos | Quebracho orgânico | 2,8 - 34,2 | Média / baixa |

Tabela 2. Principais dispersantes aniônicos usados em perfuração

2.3.2. Sais de Potássio (K)

O potássio (item 1.5.) possui grande afinidade com fluidos poliméricos. Tem grande capacidade inibidora impedindo a hidratação das esmectitas (argila hidratável) que com a presença de K no espaço intercâmbios são transformadas em illitas (argila não-hidratável). Erbel (1980) afirmou a seletividade das montmorilonitas por K a medida que este apresenta-se facilmente disponível no meio. Diante disto, a aplicação de sais ou produtos ricos de potássio tornou-se prática usual na estabilização de furos em argilitos hidratáveis, principalmente para petróleo e mineração. A área de poços de água ainda usa pouco, mas trata-se de alternativa eficiente e de baixo custo. A aplicação normalmente é preventiva, já iniciando a perfuração com a presença do K na composição do fluido. As dosagens devem partir dos 5000 ppm alcançando em 15000 excelentes resultados na estabilização de folhelhos desmoronantes (vide item 3.2.). A fig. 12A mostra a hidratação normal da bentonita em água doce e a fig. 12B demonstra o efeito inibidor do K quando adicionado na água em 5000 ppm. No item 5 está descrito uma aplicação de K em poço perfurado na Fm Tremembé, no Vale do Paraíba, em São Paulo.

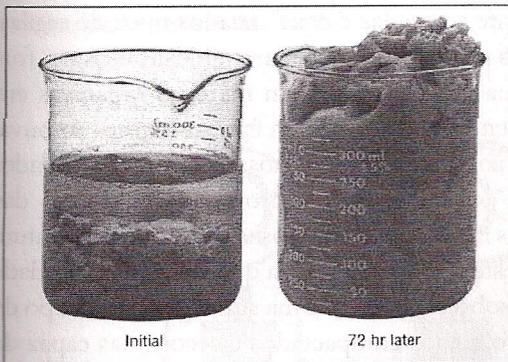


Fig. 12A. Hidratação de esmectita em água doce

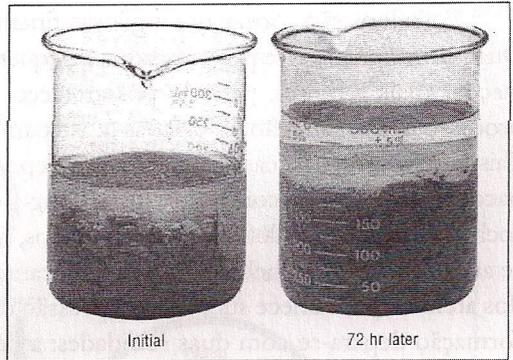


Fig. 12B. Inibição química da esmectita por Sais K

3. PRINCIPAIS PROBLEMAS GERADOS POR ARGILAS EXPANSIVAS

As argilas expansivas traduzem-se nos principais problemas encontrados em perfuração rotativa atualmente. Tanto a produtividade, quanto a segurança da sondagem está a prova quando a formação atravessada disponibiliza esmectitas hidratáveis. Os caminhos encontrados para otimizar segurança e velocidade de penetração indicaram a utilização de fluidos de baixos teores de sólido e inibidos, isto é, confeccionados com a presença de inibidores na formulação.

Apresentamos abaixo os 4 principais problemas e as possíveis soluções.

3.1. ESTREITAMENTO DO FURO

Um dos principais perigos a segurança da perfuração – ao atravessar pacote de argilas plásticas, a pressão litostática e a água adsorvida por esmectitas secas, provocam a redução do diâmetro em trecho do furo (fig. 13). A ferramenta fica presa logo abaixo, podendo-se girar a ferramenta e, em alguns casos, circular o fluido.

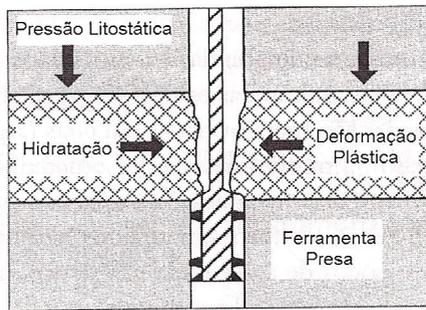


Fig. 13. Exemplo de estreitamento por argilas expansivas

Solução sugerida: utilização de um fluido fortemente inibidor, formulado com polímeros aniônicos de alto peso molecular e inibidores a base de potássio ou poliméricos. Em alguns casos, o agravamento do peso do fluido é necessário para conter a deformação plástica.

3.2. FOLHELHOS PRESSURIZADOS DESMORONANTES

Folhelhos são formações argilosas finamente acamadas e com variados tipos de argilas. Quando se apresentam pressurizados a pequenas profundidades, estarem localizados em formações mais recentes, período pós-cretáceo. Sua litologia é rica em matérias orgânicas em processo de fossilização associadas a paleoambientes que alternaram épocas de seca e chuva. Tais variações climáticas propiciaram a deposição de camadas arenosas em meio a grandes pacotes argilosos. A compactação ao longo do tempo geológico provocada pelo peso das rochas sobrejacentes deformou os folhelhos, mas inexistente nos arenitos. A água que porventura se armazenou nos folhelho foi expulsa durante este período. Já a água que satura a porosidade dos arenitos permanece submetida a pressão de sobrecarga (P_o). Uma sondagem neste tipo de formação depara-se com duas realidades: a de folhelhos compactados e secos, mas capaz de expandir-se a um simples alívio de pressão e de camadas de areia repletas de água pressurizada. A primeira também pode ter conseqüências variadas – além da hidratação das esmectitas presentes, vai haver a invasão das superfícies de contato entre os estratos de sedimentação. A expansão das argilas provocará pressões diferenciais já que esta não é maioria e a introdução do fluido em meio as lâminas tenderá a abrir a parede do envoltório como uma flor. Outro fator de instabilidade do furo ocorrerá se a pressão das lentes de areia (P_f) for superior a do fluido (P_m) – a água do arenito seguirá o caminho de menor resistência, ou seja, o contato arenito-folhelho. Tanto o primeiro caso quanto o segundo provocará desmoronamentos, conforme ilustra a fig 14. O exemplo citado no final deste texto (item 5) refere-se a esta situação.

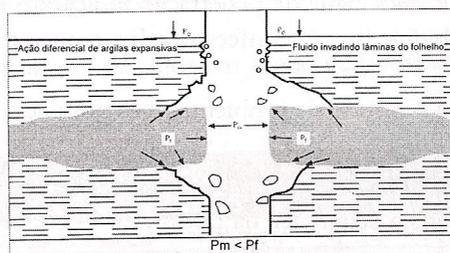


Fig. 14. Folhelhos pressurizados

Solução sugerida: o uso de inibidores para evitar a instabilidade dos folhelhos, de controle de filtração e adequação do peso do fluido é capaz de controlar este problema.

3.4. ENCERAMENTO DE BROCA E INCORPORAÇÃO DE ARGILA AO FLUIDO

Este é um dos principais problemas na perfuração de poços de água em sedimentos argilosos. Influi diretamente no avanço de perfuração e na produtividade final do poço. Provoca desgastes prematuros no hasteamento e em brocas tricônicas, quando esta trava os roletes. Avaria mesas rotativas mecânicas e cabeçotes hidráulicos. Acaba gerando necessidades de diluições excessivas e conseqüentes descartes de fluido, o que gera problemas ambientais. Esta situação começou a mudar com a introdução dos polímeros sintéticos a base de poliácridamida (item 2.1) no final dos anos 80. A partir de então, o controle de sólidos durante a perfuração possibilitou a redução dos enceramentos, evitando manobras sucessivas para limpeza da broca. O peso do fluido também pôde ser monitorado sem descartes para introduzir fluido novo.

A fig. 16 esquematiza como deve ficar o envoltório do poço durante a perfuração para considerarmos os controles dos fluidos de perfuração atendidos (vide item 4)

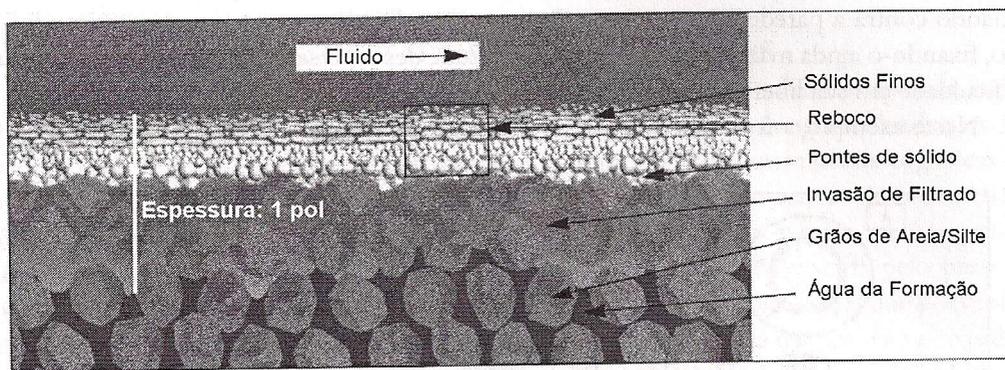
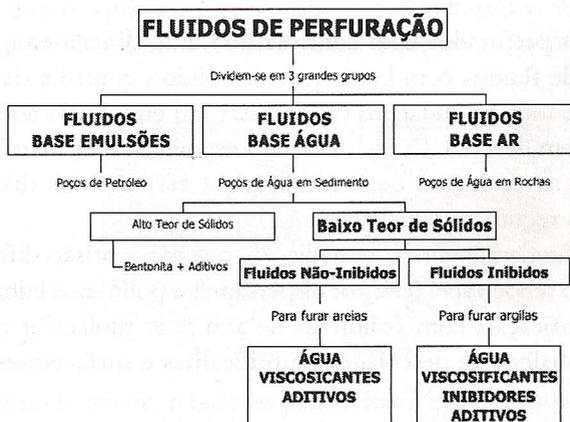


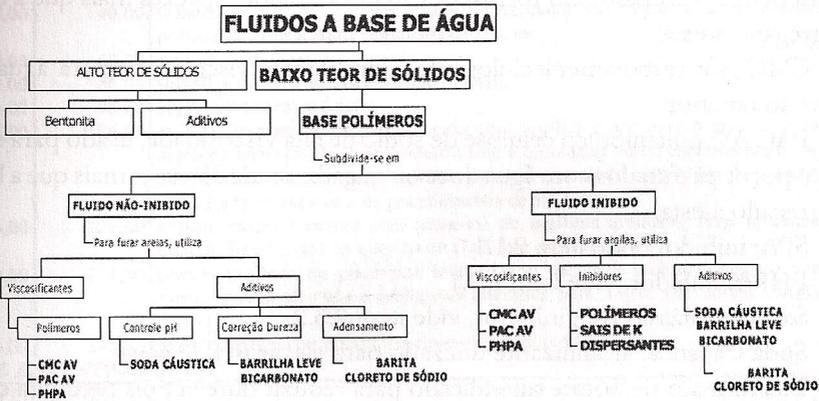
Fig. 16. Perfil esquematizado do envoltório de um furo rotativo

4. PANORAMA GERAL DOS FLUIDOS DE PERFURAÇÃO o uso de inibidores

4.1. O FLUXOGRAMA ABAIXO RESUME OS ASPECTOS BÁSICOS DOS FLUIDOS DE PERFURAÇÃO MODERNOS.



4.2. ATRAVÉS DE OUTRO FLUXOGRAMA DETALHAREMOS OS FLUIDOS A BASE DE ÁGUA UTILIZADOS NA PERFURAÇÃO ROTATIVA PARA POÇOS DE ÁGUA.



4.3. AS PRINCIPAIS FORMULAÇÕES DE FLUIDO DE PERFURAÇÃO SEGUNDO AS DIFERENTES LITOLOGIAS SÃO AS SEGUINTE:

- 4.3.1. Fluido para Formações Arenosas
 - SODA CÁUSTICA 0,01%
 - BICARBONATO 0,07%
 - CMC AV 0,3%
- 4.3.2. Fluido para Formações Areno-argilosas
 - SODA CÁUSTICA 0,01%
 - BICARBONATO 0,07%
 - CMC AV 0,3%
 - SAIS DE POTÁSSIO 0,5%
- 4.3.3. Fluido para Formações Argilo-arenosas
 - SODA CÁUSTICA 0,01%
 - BICARBONATO 0,07%
 - PHPA 0,3%
 - SAIS DE POTÁSSIO 0,5%
- 4.3.4. Fluido para Formações Argilosas
 - SODA CÁUSTICA 0,01%
 - BICARBONATO 0,07%
 - PHPA 0,3%
 - SAIS DE POTÁSSIO 1,0%
 - SPA (opcional) 0,2%
- 4.3.5. Fluido para Aquíferos Surgentes
 - ÁGUA DOCE
 - SODA CÁUSTICA 0,01%
 - CMC AV 0,4%
 - BARITA - (calcular densidade)
 - ou
 - ÁGUA DOCE
 - SODA CÁUSTICA 0,01%
 - CMC AS 0,48%
 - CLORETO DE SÓDIO - (calcular densidade)

4.4. DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS MATÉRIAS-PRIMAS COMPONENTES DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO

4.4.1. CMC AV: carboximetilcelulose de sódio de alta viscosidade, usado para substituir a bentonita em poços perfurados em formações arenosas, rende 20 vezes mais que a bentonita e pode ser agregado a esta.

4.4.2. CMC AS: carboximetilcelulose de sódio de alta viscosidade para água salgada, funções iguais ao anterior

4.4.3. PAC AV: polianiônico celulose de sódio de alta viscosidade, usado para substituir a bentonita em poços perfurados com água doce ou salgada, rende 25 vezes mais que a bentonita e pode ser agregado a esta.

4.4.4. SPA: inibidor, vide item 2.1.1

4.4.5. PHPA: inibidor, vide item 2.2.1

4.4.6. Sais de Potássio (K): inibidor, vide item 2.3.2

4.4.7. Soda Cáustica: alcalinizante utilizado para elevar pH da água

4.4.8. Bicarbonato de Sódio: sal indicado para reduzir dureza pois precipita cálcio

4.4.9. Barrilha Leve: mesma função que anterior

4.4.10. Barita: adensante de densidade $4,2 \text{ g/cm}^3$, usado para aumentar o peso do fluido em caso de poços surgentes ou jorrantes, tem a vantagem de funcionar como sólido inerte que fica em suspensão no fluido devido ao pequeno diâmetro dos grãos (2 microns), pode ser aplicado em fluidos de água doce.

4.4.11. Cloreto de Sódio: também utilizado para aumentar o peso do fluido em caso de poços surgentes, tem densidade $2,4 \text{ g/cm}^3$ e custo bastante baixo

5. EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO DE INIBIDOR

Um caso típico de problema com expansão de argilas hidratáveis ocorreu em Tremembé (SP), no Vale do Paraíba, onde a formação sedimentar seccionada é a Fm Tremembé, de idade cenozóica (Terciário) e composta predominantemente de folhelhos ricos em hidrocarbontetos e argilitos.

5.1. Dados do Poço

IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

MUNICÍPIO: Tremembé - SP
 ENDEREÇO: Loteamento Flor do Campo
 PROPRIETÁRIO: SABESP Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
 PROFUNDIDADE: 261,47m
 NÚMERO LOCAL: P.3
 NÍVEL ESTÁTICO: surgente
 COTA TOPOGRÁFICA: 550 m

CONSTRUÇÃO

INÍCIO: 02/02/2001 TÉRMINO: 16/03/2001

COMPANHIA PERFURADORA: UNIPER Hidrogeologia e Perfurações Ltda.

EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO: Ingersoll-Rand T4

PERFURAÇÃO

| PROFUNDIDADE | | DIÂMETROS | MÉTODO | FLUIDO |
|--------------|--------|-----------|-----------------|----------------------------------|
| de (m) | a (m) | (pol. ") | | |
| 0 | 18,30 | 20" | rotativo direto | água doce + bentonita + aditivos |
| 18,30 | 261,47 | 12¼" | rotativo direto | água doce + CMC + aditivos |

DESCRIÇÃO LITOLÓGICA

| PROFUNDIDADE de (m) a(m) | | LITOLOGIA |
|-----------------------------|--------|---|
| 0,00 | 4,00 | argila de coloração bege claro com tonalidade avermelhada, com presença de grãos finos de areia; |
| 4,00 | 18,00 | folhelho cinza escuro esverdeado, com estrutura acamada; |
| 18,00 | 40,00 | folhelho cinza escuro esverdeado intercalado com argilito cinza esverdeado, com presença de raros grãos angulosos de quartzo; |
| 40,00 | 60,00 | argilito cinza esverdeado; |
| 60,00 | 66,00 | folhelho cinza escuro esverdeado maciço; |
| 66,00 | 95,00 | argilito cinza esverdeado; |
| 95,00 | 186,00 | argilito marrom escuro, intercalado com argilito cinza esverdeado, com presença de argilitos arenosos de granulometria fina e coloração verde esbranquiçada. A partir dos 100,00 m acréscimo de grãos finos de areia associado com grãos de quartzo e granito, irregulares, angulosos e de granulometria de até 5 mm; |
| 186,00 | 220,00 | argilito marrom escuro com presença de argilitos arenosos, com presença de grãos quartzo fino e grãos de quartzo de até 5 mm, subangulosos; |
| 220,00 | 236,00 | arenito argiloso ou granitóide interperizado de cinza escuro composto por quartzo e micas, pouco alterado e feldspatos alterados para argila associadas a argilas marrom escura |
| 236,00 | 261,47 | arenito argiloso ou granitóide cinza escuro alterado. |

PERFIL ESTRATIGRÁFICO

| PROFUNDIDADE de (m) a(m) | | GRUPO OU FORMAÇÃO |
|-----------------------------|--------|-------------------|
| 0 | 261,47 | Formação Tremembé |

REVESTIMENTO LISO

| PROFUNDIDADE de (m) a (m) | | ESPECIFICAÇÕES | UNLÃO | DIÂMETRO (pol. ") | ESPESSURA (mm) |
|------------------------------|--------|-------------------------|-------|----------------------|----------------|
| + 0,38 | 18,30 | aço preto ASTM-A-120 RR | solda | 14" | 6,35 |
| +0,50 | 247,00 | aço preto DIN 2440 RR | solda | 6" | 6,35 |

REVESTIMENTO FILTRO

| PROFUNDIDADE de (m) a (m) | | ESPECIFICAÇÕES | UNLÃO | DIÂMETRO (pol. ") | ABERTURA (mm) |
|------------------------------|--------|---------------------------------------|-------|----------------------|---------------|
| 111,00 | 241,00 | espiralado, reforçado, inox marca Pak | solda | 6" | 0,75 |

TESTES DE BOMBAMENTO

| TIPO | DURAÇÃO (h) | EQUIPAMENTO UTILIZADO |
|--------------|-------------|--|
| vazão máxima | 26 | submersa Leão, R25-11, 20 CV, instalada a 108 m |
| recuperação | 4 | RESULTADOS (vazão máxima) |
| escalonado | 4 | Q = 38,5 m ³ /h NE = 0 ND = 31,74 m Qesp = 1,22 m ³ /h.m |

OBSERVAÇÕES GERAIS

- ocorrência de desmoronamentos devido hidratação de argilas a partir da profundidade 160 metros, controlados com acréscimo de DRILLHIB no fluido e aumento da velocidade anular com colocação de 3 bombas de lama.
- pressão de surgência próxima a zero

5.2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA OCORRIDO

O transcurso da perfuração foi normal, sem nenhum registro de prisão do ferramental ou caimento. O fluido utilizado contou, segundo com viscosificante (CMC AV) e nenhum inibidor (item 4.1).

Na passagem de folhelhos e argilitos houve incorporação de sólidos com elevação expressiva do peso, o que foi remediado com descartes sucessivos de parte do fluido.

O problema ocorreu na operação de revestimento – a tubulação parou de descer em 160 m ao tocar o fundo obstruído por caimento de folhelhos. Retirou-se a coluna e removeu-se todo material depositado. Detectou-se em seguida que o caimento persistia, já que o furo assoreava após algumas horas. As tentativas de limpeza e revestimento persistiram por uma semana sem obter resultados.

5.3. SOLUÇÃO ENCONTRADA

Programou-se então uma operação especial:

-instalação de 3 bombas de lama em série para elevar a vazão e conseqüentemente a velocidade anular para incrementar limpeza.

-aplicação de um produto químico inibidor a base de sais de potássio agregado ao fluido de CMC AV na concentração de 10 kg/m³.

-circulação por várias horas para estabilizar folhelhos, extração de sólidos do fluido e limpeza total do furo. Peso e filtração permaneceram controlados.

A operação resultou em absoluto sucesso permitindo a completação final do poço.

5.4. CONCLUSÃO

A presença de aquífero sob pressão (poço surgente), em panorama típico da situação teórica descrita em 3.2, indicava desde o início a necessidade de ajuste no fluido. Se inibidores tivessem entrado na composição inicial, tanto os descartes quanto os problemas no revestimento seriam evitados. Além disso, seriam poupados o CMC AV aplicado nos fluidos de reposição dos descartes (produtos inibidores tem custo muito inferior a CMC) e a demanda de tempo empregada.

6. BIBLIOGRAFIA

- DRILLING FLUIDS ENGINEERING MANUAL. M-I Drilling Fluids. Houston, USA. Revision 03-31-1998. 1025 p., pag. 4B-1 a 4B-23, fig. 3,4, 6,7, 8, 10,11,12,13; pag. 7,1, fig. 1; pag. 15.7, fig. 12; pag. 15.9, fig. 14
- Quezada, A.E.D.; Oliveira, T; Barboza; A.L.F.; *Aplicações de Carboximetilcelulose em Fluidos de Perfuração*, Gr.Ultra, 1992
- Pereira, E.; Bianchi, C.; Filho, F.W.B.F.; Souza, J.C.S de.; *Reprogramação dos Fluidos de Perfuração em Poços da SABESP no Vale do Paraíba*, X Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, Campo Grande (MS), pp. 73-83, 1997
- Pereira, E; *Aspectos Práticos Importantes dos Fluidos de Perfuração Modernos, X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Fortaleza (CE), 1998*
- UNIPER Hidrogeologia e Perfurações Ltda., *Relatório Técnico de Serviço de Construção do Poço Tubular Profundo P-03, Loteamento Flor do Campo, Município de Tremembé (SP), Cia. De Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, 03/2001*

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Geól. César Bianchi Neto – SABESP e Geól. André Vagner Aragoni – UNIPER pelas informações técnicas sobre a obra citada neste artigo.