

ÁGUA SUBTERRÂNEA

POR

F.P.Silva¹ e R.J.Passerini²

RESUMO-- O emprego de fluído de perfuração com características inibitivas em alguns poços perfurados no Estado de São Paulo tem proporcionado bons resultados durante as operações de perfuração e algum controle sobre o dano de formação, contribuindo para o aumento da produtividade das zonas aquíferas sedimentares.

INTRODUÇÃO

A utilização de fluídos de perfuração ligeiramente tratados e com algum controle de suas características físico-químicas em alguns poços perfurados pelo D.A.E.E. - departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, tem proporcionado bons resultados quanto à produtividade das zonas aquíferas testadas.

Os fluídos utilizados na perfuração de zonas potencialmente produtoras tem a finalidade de formar rebôco impermeável de pequena espessura ao longo das paredes do poço e evitar a filtração exagerada e a invasão muito profunda. A água de compensação do fluído, de características diversas daquelas existentes nos aquíferos, através do processo normal de filtração, acaba provocando danos irreparáveis nas zonas produtoras, refletidos na diminuição das propriedades de porosidade e permeabilidade das rochas.

O presente trabalho procura esclarecer as vantagens de se operar com fluídos de perfuração levemente inibitivos, tratados com sal comum de cozinha (NaCl), para se minimizar o dano de formação, diminuir a contaminação do fluído por sólidos ativos e melhorar a resposta do perfil elétrico corrido no poço.

Este tipo de fluído foi utilizado em poços em algumas localidades do Estado de São Paulo, com excelentes resultados, como Araraquara, Bauru e Ibaté.

PRINCIPAIS FUNÇÕES DOS FLUÍDOS DE PERFURAÇÃO

O fluído de perfuração desempenha papel de capital importância na perfuração pelo método rotativo. Dentre o grande número de funções que o fluído deve cumprir, as mais importantes, sem dúvida, referem-se ao carregamento do material perfurado no fundo do poço até a superfície e posterior decantação, estabilização das paredes do poço, minimização dos processos de filtração e invasão e constituição de meio condutivo para realização da perfilagem elétrica.

¹Geólogo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, SP.

²Engenheiro, Departamento de Águas e Energia Elétrica, Araraquara, SP.

Transporte e remoção de sólidos

O material recortado e fragmentado pela broca é trazido à superfície através da lama de perfuração e separado pelos extratores mecânicos de sólidos (peneiras, desareadores, dessiltadores, etc.) e canaletas e tanques de decantação apropriados.

A eficiência de um fluido na limpeza do poço depende basicamente de sua densidade (pêso específico), viscosidade e velocidade de bombeamento, sendo que a natureza e a finalidade do fluido determinarão o balanceamento ideal destes fatores.

A remoção dos sólidos indesejáveis do fluido de perfuração, na superfície, também depende das propriedades do fluido (principalmente pêso e viscosidade), utilização de extratores mecânicos e dos tanques de decantação.

Os fluidos no início de qualquer perfuração apresentam-se condicionados às propriedades desejáveis. Na medida em que se prossegue a perfuração existe uma incorporação gradual de sólidos da própria formação no fluido, devido à processos insatisfatórios de remoção, perda das propriedades desejáveis ou presença de grande quantidade de sólidos ativos.

Os chamados sólidos ativos são aqueles que apresentam carga elétrica não balanceada, ou seja, possuem atividade elétrica e susceptibilidade para reação de trocas iônicas em meio adequado. São exemplificados pelas argilas naturais, folhelhos e argilas comerciais. Gozam de propriedades que permitem a hidratação, inchamento e dispersão através do fluido, e são controladas pelo ambiente químico da fase contínua (fase de água) da lama.

Os sólidos classificados como inativos ou inertes são partículas eletricamente neutras, como areia, cascalho e carbonatos. Possuem dimensão superior à 74 microns e são mais facilmente removidos da lama na superfície pelos processos normais mecânicos e de decantação.

A contaminação por sólidos apresenta muitos inconvenientes durante a perfuração, como dificuldades em manter as propriedades reológicas do fluido, redução da taxa de penetração, da vida útil da broca e componentes do sistema de circulação, perigo de prisão diferencial, tendência de pistoneio, perda de circulação e elevado custo de manutenção do fluido. A incorporação de sólidos ao fluido pode ocasionar agravamento de pêso e aumento de viscosidade principalmente em decorrência da presença de sólidos ativos e elevada taxa de filtração.

Controle de filtração e invasão

A filtração é um processo associado à formação de película de rebôco e representa a perda da fase líquida sofrida pela lama através de rochas permeáveis. Seu controle é função da existência de rebôco impermeável e viscosidade da fase líquida da lama.

A formação de depósito de rebôco de pequena espessura e impermeável ao longo das paredes do poço é fator decisivo ao bom desempenho de uma lama. O rebôco é constituído pelos sólidos gerados durante a perfuração e pelos sólidos existentes na própria lama e tem a finalidade de consolidar as paredes do poço, minimizar os riscos de desmoronamentos e reduzir a filtração frente

às camadas permeáveis, evitando perda da fase contínua do fluido através das rochas.

A formação de reboco é função de pressão diferencial exercida pela coluna de lama no poço e presença de zonas permeáveis. Sua espessura está condicionada ainda, ao teor de sólidos da lama, distribuição, formato e dimensões das partículas.

Taxas de filtração elevadas indicam, em geral, zonas mais permeáveis, contudo, o raio de invasão será maior em rochas com menores valores de permeabilidade e vice-versa. A penetração do filtrado nas formações expulsa o fluido contido nos poros ao redor do poço, conduzindo a leituras atenuadas dadas pelas ferramentas perfiladoras e a interação da fase líquida do fluido de perfuração, de composição química diferente do fluido existente nas formações, com os sólidos ativos (argilas e folhelhos) presentes nas rochas, pode reduzir a permeabilidade destas.

Perfilagem

Os perfis corriqueiramente corridos nos poços de água subterrânea para avaliação do potencial de produção são classificados em perfis elétricos e perfis radioativos.

Os perfis radioativos sofrem influência desprezível com relação às características do fluido de perfuração empregado.

Já os perfis elétricos, compostos pelas curvas de potencial espontâneo, resistência e resistividade, são grandemente influenciados pelas características da lama de perfuração.

Em realidade, todos os meios que cercam a sonda de perfilagem, como lama de perfuração, zona invadida (zona onde o filtrado substituiu o fluido da formação), zona virgem (zona contendo somente água da própria formação), influenciam as medidas elétricas executadas pelas ferramentas, sendo as respostas uma somatória destas influências.

CARACTERÍSTICAS DO FLUÍDO DE CMC UTILIZADO PELO DAEE

O tipo de fluido atualmente utilizado na perfuração de zonas produtoras pode ser classificado como de baixo teor de sólidos, composto por CMC (carboximetilcelulose) e água, juntamente com aditivos como soda cáustica (NaOH) e carbonato de sódio (Na₂CO₃) para, respectivamente, controlar o pH e remover a dureza da água de compensação, causada pela presença de íons bivalentes, prejudiciais às características deste tipo de fluido.

Nas concentrações usuais, de 3 a 5 g/l deste polímero, as viscosidades resultantes, medidas no funil Marsh, variam de 37 à 50 s API, e o peso específico é mantido constante em 8,33 lb/gal. Acréscimos nestas propriedades são normais durante a perfuração e devem-se à incorporação de sólidos ativos ou inertes dentro do sistema.

Neste tipo de fluido apenas os sólidos gerados durante a própria perfuração irão constituir o rebôco nas paredes do poço. Embora esta película de rebôco não tenha as características desejáveis, a ação conjunta viscosificante do CMC, agindo sobre a fase líquida da lama, auxilia no controle da filtração.

Conforme dados fornecidos pela IMCO SERVICES, o filtrado inicial deste fluido é de 50 cc/30 min. À medida em que se prossegue a perfuração, a mínima entrada de sólidos no sistema reduz a filtração para valores de 7 a 10cc/30 min, fato constatado em vários poços do DAEE.

Outra característica deste fluido é a viscosificação da fase líquida que tem a função de envolver os sólidos oriundos da perfuração, retardando a hidratação e dispersão dos sólidos ativos.

No âmbito da avaliação das formações através do perfil elétrico, as altas resistividades das rochas e do fluido de perfuração, os valores de salinidade muito próximos do fluido de perfuração e da água da formação e a ausência de meio condutivo ideal, são fatores prejudiciais à qualidade do perfil.

DANO DE FORMAÇÃO

Princípios

O dano de formação é um processo que conduz à redução da porosidade e permeabilidade de zonas produtoras devido à ação de fatores físicos e químicos decorrentes das atividades de perfuração.

O processo de fragmentação, corte e destruição provocado pela broca, implica nas formações rochosas drásticas alterações físicas junto às paredes do poço e imediações, de modo a alterar substancialmente as características primárias das rochas refletindo num decréscimo nos valores de porosidade e permeabilidade.

O processo físico-químico de danificação das formações produtoras causa danos pelo fluido de perfuração está relacionado à invasão de filtrado e formação de rebôco.

O depósito de rebôco conduz ao tamponamento dos espaços porosos dos corpos rochosos permeáveis, através da inserção de partículas sólidas provenientes da própria lama, durante o processo de filtração. Em geral, a fração predominante destes sólidos é composta de partículas argilosas, minúsculas, que penetram inicialmente entre os grãos arenosos das formações e em seguida, recobrem toda a parede do poço, obstruindo a passagem dos fluidos produzidos.

A filtração faz com que haja um deslocamento do fluido pré-existente e substituição pela fase líquida da lama de perfuração nas vizinhanças do poço. A modificação do ambiente químico natural das formações geológicas produtoras contendo argilominerais expansíveis, do grupo da montmorilonita, ocasiona um desequilíbrio químico, que na presença de filtrado de baixa concentração iônica (água doce), proporciona reações de hidratação e inchamento destas argilas, com conseqüente redução das propriedades de permoporosidade do aquífero.

Presença de argilominerais expansíveis

Os argilominerais são silicatos hidratados de alumínio, de dimensões de 0,005mm até coloidais, resultantes de processos de alteração de outros silicatos aluminosos.

Os principais grupos de minerais de argila presentes nas rochas sedimentares

são a caulinita, illita, clorita e montmorilonita. Estes minerais podem ocorrer isolados ou associados num determinado tipo de sedimento, sendo também comum a ocorrência de cristais mistos, nos quais, mais de uma espécie mineral está presente.

Dentre os citados grupos de argilominerais, aquele que merece consideração especial devido às suas propriedades físicas peculiares, é o da montmorilonita.

A montmorilonita é composta por uma camada de alumina-hidroxila, colocada entre duas camadas de sílica (SiO_4), existindo moléculas de água, em quantidade variável, entre suas unidades. Diz-se, portanto, que esta argila apresenta retículo expansivo. Outra característica deste argilomineral é a considerável possibilidade de substituição atômica em sua estrutura, onde o Al pode ser substituído pelo Fe, Mg, Zn, etc. Em virtude de sua estrutura cristalina, apresenta carga elétrica negativa, equilibrada pelos cátions passíveis de troca adsorvidos entre suas arestas e camadas, representados muitas vezes pelo Ca, Na, Mg, etc. Esse arranjo atômico conduz à ligações iônicas muito fracas, favorecendo a entrada de água entre camadas adjacentes, ocasionando hidratação, inchamento e expansão até total separação das mesmas.

A quantidade de água que penetra no retículo cristalino da montmorilonita provocando sua expansão é controlada pela natureza da estrutura cristalina, pela natureza dos cátions trocáveis, pH do ambiente químico e pelos eletrólitos presentes no sistema.

Argilominerais da Bacia do Paraná

Os principais grupos de argilominerais presentes nas rochas sedimentares da Bacia do Paraná são a illita, caulinita, clorita e montmorilonita.

A illita é o argilomineral mais abundante dentro da coluna estratigráfica da Bacia do Paraná. De origem normalmente detrítica, é derivada de áreas fontes continentais, como rochas plutônicas e metamórficas do Escudo Brasileiro, sendo predominante nos sedimentos paleozóicos, mormente nos de origem marinha (grupos Paraná, Tubarão e Passa Dois).

A clorita, também predominante nos sedimentos de natureza marinha, tem origem detrítica semelhante à illita.

A caulinita pode ter origem detrítica ou autigênica e representa produtos de alteração em ambientes lixiviantes de clima úmido, com diminuição da frequência do ambiente continental para o marinho.

A montmorilonita tem diversas origens, podendo formar-se pela alteração direta de material vulcânico (Formação Serra Geral) em ambiente não lixivian te ou em lagos básicos com predomínio de sedimentação química. Sua frequência aumenta nos sedimentos mesozóicos continentais como formações Pirambóia, Botucatu e Grupo Bauru. (Figura 1).

VANTAGENS DO FLUÍDO INIBITIVO

Conforme salientado no transcrito do texto, o fluido de perfuração deve cumprir funções básicas durante a execução do poço, como limpeza do furo, controle da filtração e invasão constituição de meio condutivo para realização

das perfilagens elétricas e minimização do dano de formação. O comprimento dessas funções está associado diretamente às características físico-químicas do fluido, compostas para atuar principalmente sobre os sólidos ativos presentes nas formações e incorporados na lama de perfuração.

Em poços realizados nas cidades de Araraquara, Bauru e Ibaté, Estado de São Paulo, a lama empregada na perfuração das zonas produtoras foi preparada à base de CMC e NaCl (sal de cozinha). O CMC utilizado foi o de alta viscosidade, na concentração normal, em água de compensação preparada com carbonato de sódio (Na_2CO_3) e soda cáustica (NaOH), pH na faixa de 8,0 a 9,5, na qual foi adicionada 1 a 2 g/l de sal, previamente dissolvido em água. A adição de sal (NaCl) em altas concentrações causa uma reação química com o polímero, resultando em perda de viscosidade, contudo, nesta concentração salina, a redução de viscosidade não é observada.

Rochas que contém argilas, principalmente as do grupo da montmorilonita, encontradas com maior frequência nos sedimentos mesozóicos da Bacia do Paraná, onde se localizam a maioria dos poços perfurados no Estado, sofrem processos de adsorção de água, devido às diferenças de potencial químico entre as águas contidas nas argilas e a água de compensação da lama (filtrado) com consequente alterações estruturais drásticas.

A inserção de íons de sódio e cloro no ambiente químico alteram o comportamento das argilas. Os íons de sódio satisfazem as valências negativas e aumentam a força de atração entre as lâminas argilosas, ao mesmo tempo em que a elevada carga negativa resultante no filtrado iônico obriga as partículas de argila a flocular ou agregar-se em aglomerados.

Uma vez evitados a desagregação e dispersão dessas partículas, será reduzida a quantidade de sólidos incorporados ao fluido em circulação, já que sua separação nas peneiras ou decantação nos tanques e canaletas será facilitada.

As taxas de filtração não são alteradas, assim como o raio de invasão do filtrado, contudo, a inibição química provocada pelo uso de eletrólitos, reduz a reatividade do filtrado, impedindo o inchamento e dispersão das partículas argilosas, que obstruem as formações produtoras reduzindo sua produtividade.

A alta resistividade do fluido de perfuração é amenizada e o potencial elétrico natural gerado no poço em decorrência da existência de dois meios eletrolíticos diferenciados tende a ser mais intenso, melhorando a qualidade dos dados obtidos pelas ferramentas de perfilagem.

A adição de sal no preparo deste fluido é um meio econômico e fácil de se obter uma lama de características inibitivas. A manutenção de suas propriedades ideais e o reaproveitamento do fluido na perfuração de outros poços torna-se viável em virtude da minimização da contaminação por sólidos ativos.

Os resultados conseguidos durante as operações de perfuração e testes de bombeamento comprovaram a eficiência deste tipo de fluido.

A Tabela 1 apresenta algumas características dos poços perfurados com fluido levemente inibitivo.

CONCLUSÕES

A utilização de fluido com características inibitivas apresentou bons resultados nos poços onde foi testado.

Devido à ação inibidora dos íons de sódio e cloro adicionados à lama, provocando a floculação das partículas argilosas e evitando o inchamento e dispersão das argilas das formações pelo contato com o filtrado, observou-se uma limpeza mais efetiva do furo, diminuição do teor de sólidos presentes e minimização do dano de formação, atestado pelos resultados de produtividade obtidos em poços nas cidades de Araraquara, Bauru e Ibaté.

Além do baixo custo do sal e pequena concentração necessária, esta lama, bem controlada, pode ser reaproveitada em outros poços, tornando o investimento mais econômico.

Novos estudos deverão ser feitos futuramente com vistas ao teor adequado de sal a ser colocado na lama em função das características peculiares dos diversos aquíferos existentes e suas variações regionais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à HIDROGESP - Hidrogeologia, Sondagens e Perfurações Ltda., na pessoa do Geólogo Valter Galdiano Gonçalves e à RAFAEL FARO POLITI - Engenharia e Construções Ltda., na pessoa do Engenheiro Celso Politi, pela oportunidade e incentivo na busca do desenvolvimento tecnológico na área de perfuração de poços de água subterrânea e ao Geólogo do D.A.E.E. Luiz Guidorzi e o Senhor Antonio M. Aoki, pelo auxílio, sugestões e colaboração nas operações de campo.

BIBLIOGRAFIA

- DIVISÃO MAGCOBAR, DRESSER INDUSTRIES - Manual de Engenharia dos Fluidos de Perfuração, Houston, Texas, 1977.
- RAMOS, A.N., FORMOSO, M.L.L. - Argilominerais das Rochas Sedimentares da Bacia do Paraná. Série Ciência - Técnica - Petróleo, Petrobrás S.A., Rio de Janeiro, 9:72p., 1975.
- KENITIRO, S. - Rochas Sedimentares: Propriedades, Genese e Importância Econômica. São Paulo, SP - Ed. Edgard Bluncher Ltda/EDUSP, 1980, 500p.
- MASON, B.H. - Princípios de Geoquímica; Tradução de Rui Ribeiro Franco. São Paulo, SP, EDUSP, 1971, 403p.
- HALLIBURTON - IMCO LTDA. - Seminário sobre Fluido de Perfuração. Araraquara SP, Coletâneas de Trabalhos Técnicos, 1985.
- STEFAN, P - Manual de Fluidos de Perfuração. Salvador, BA, Petrobrás, 1982, 537p.

TAB. I

CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS PERFURADOS COM FLUIDO LEVEMENTE INIBITIVO

		Nº POÇO CADASTRADO NO D.A.E.E.			
		170	171	60	14
MUNICÍPIO		BAURÚ	BAURÚ	ARARAQUARA	IBATÉ
PROFUNDIDADE (m)		406	310	386	338
COTA DA BOCA (m)		525	515	600	836
TIPO DO AQUIFERO		CONFINADO	LIVRE	CONFINADO	CONFINADO
ESPESSURA (m)		260	244	195	178
ESTRATIGRAFIA	TOPO DAS UNIDADES				
	G. BAURÚ	0	0	—	0
	F. SERRA GERAL	92	—	0	58
	F. BOTUCATU / PIRAMBOIA	146	60	190	338
	F. ESTRADA NOVA	—	304	—	—
NÍVEL ESTÁTICO (m)		84	57	67	123
VAZÃO (m³/h)		284	307	283	152
VAZÃO ESPECÍFICA (m³/h/m)		11,42	18,30	7,1	9,83
TIPO DE LAMA DE PERFURAÇÃO		CMC + SAL	CMC + SAL	CMC + SAL	CMC + SAL

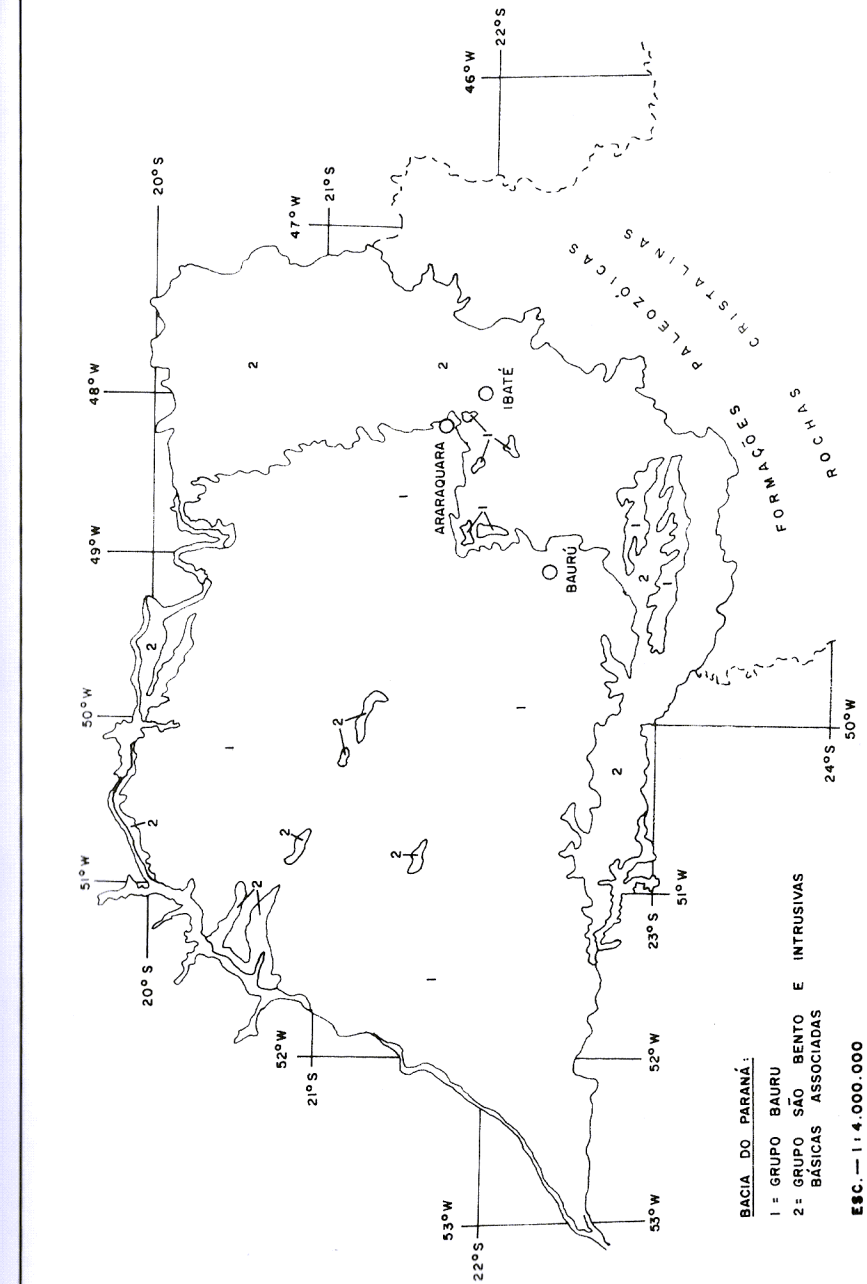


FIG. 01 — DISTRIBUIÇÃO DAS SEQUÊNCIAS MESOZOÍCAS DA BACIA DO PARANÁ NO ESTADO DE SÃO PAULO

*DRILLING MUD WITH SLIGHTLY INHIBITIVE CHARACTERISTICS EMPLOYED IN
WATER WELLS*

BY

F.P.Silva¹ e R.J.Passerini²

ABSTRACT--The drilling mud with inhibitive characteristics employed in some wells drilled in São Paulo State has provide good results during the drilling operations and a certain control over formation damage improving the increasing of productivity from the sedimentary aquifer zones.

¹Geólogo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, SP.

²Engenheiro, Departamento de Águas e Energia Elétrica, Araraquara, SP.