

# REPROGRAMAÇÃO DOS FLUIDOS DE PERFURAÇÃO EM POÇOS DA SABESP NO VALE DO PARAÍBA

Eugênio Pereira<sup>1</sup>, César Bianchi Neto<sup>2</sup>, Fernando Wili Bastos Franco Filho<sup>2</sup>  
e João Carlos Simanke de Souza<sup>2</sup>

## 1. RESUMO

A Reprogramação dos Fluidos de Perfuração utilizados na construção dos poços da SABESP fez-se necessária face a intensa evolução tecnológica deste item essencial nas sondagens rotativas. A utilização de Polímeros modernos como os PAC's associados a aditivos químicos importantes no controle do Fluido, transformou-se em experiência inovadora no sentido de oferecer tratamento tecno-científico às antigas lamas hidroargilosas e dos Fluidos simplificados de CMC. Criando Programas Preliminares segundo características litológicas locais, a execução das sondagens foram monitoradas visando obter parâmetros adequados de controle, o que permitiu maior rapidez, menor risco e aumento de produtividade na construção dos poços.

## 2. INTRODUÇÃO

A evolução das técnicas de perfuração nas três últimas décadas resultaram em visível melhoria na performance das sondagens. Ao se reduzir dificuldades em perfurar, as atenções voltaram-se a necessidade de otimizar os demais itens ligados ao resultado final da construção dos poços, ou seja, a produtividade. As perfurações executadas pelo método rotativo tem no Fluido de Perfuração elemento importante para execução dos furos e fundamental para a eficiência dos trabalhos de desenvolvimento. Os Fluidos de Perfuração obtiveram enormes avanços pela introdução da tecnologia de polímeros em sua formulação. Através desta, é possível programar individualmente cada Fluido de acordo com a litologia a ser seccionada. A utilização de Fluidos balanceados e o conceito de *Critical Polymer Concentration (CPC)* são apontados atualmente como a chave do sucesso para Fluidos de Perfuração.

Os poços construídos pela SABESP sempre primaram em se utilizar das mais modernas tecnologias disponíveis no mercado. Necessitavam, neste momento, de uma reprogramação na área de Fluidos capaz de proporcionar aumento de eficiência e produtividade. Em uma série de sondagens projetadas para a região do Vale do Paraíba, os Fluidos de Perfuração foram formulados de acordo com a natureza litológica de cada local, levando-se em consideração as duas Formações da Bacia de Taubaté: Fm

<sup>1</sup> TRIONIC COMERCIAL LTDA Fone/Fax: 011 6951 4242 Rua Guajarás, 393 - Bairro Jaçanã - São Paulo - CEP: 02262 000

<sup>2</sup> SABESP Fone: 011 883 4261 Fax: 011 280 2155 Rua Pe. João Manuel, 755 8º. Andar São Paulo - CEP: 01411 900



Caçapava e Fm Tremembé. Além disso, as aplicações dos novos produtos e o controle do Fluido ao longo da reabertura (os furos-guias contaram com lama bentonítica ou mista de bentonita mais polímero) foram supervisionados por técnicos da TRIONIC, empresa especializada em Fluidos de Perfuração, que orientaram os trabalhos até a execução do “Colchão Lavador” para aplicar pré-filtro, onde se encerra o ciclo de atuação do Fluido na construção de um poço.

Ressalte-se que a introdução dos novos programas, e das metodologias adequadas para controle dos Fluidos, teve que se adaptar a realidade das sondagens para poços de água. Estes poços são construídos com orçamentos incomparavelmente inferiores aos poços de petróleo (de onde provém tais novidades tecnológicas), dado a aspectos intrínsecos de cada setor. Os custos diretos dos Fluidos Poliméricos são três vezes maiores que as lamas bentoníticas. É a relação custo-benefício que acaba tornando-os vantajosos - a rapidez na construção e o aumento de produtividade são evidentes.

### 3. HISTÓRICO RECENTE DOS FLUIDOS DE PERFURAÇÃO

A tecnologia dos Fluidos de Perfuração vem evoluindo largamente nos últimos tempos. É factível associar tal desenvolvimento a introdução dos polímeros na composição dos Fluidos. Com efeito, os polímeros foram capazes de reduzir drasticamente o teor de sólidos presentes em lamas hidroargilosas. No Gráfico 1 observa-se o teor de sólidos de várias argilas e aí já se configura o grande avanço que foi a introdução das bentonitas sódicas. O teor de sólidos em termos de volume não ultrapassa 5% para concentrações de 60 a 70 kg/m<sup>3</sup> na preparação das lamas, enquanto que nas lamas de argilas nativas utilizadas no passado podem ser superiores a 30% com concentrações 10 vezes maiores (>700 kg/m<sup>3</sup>).

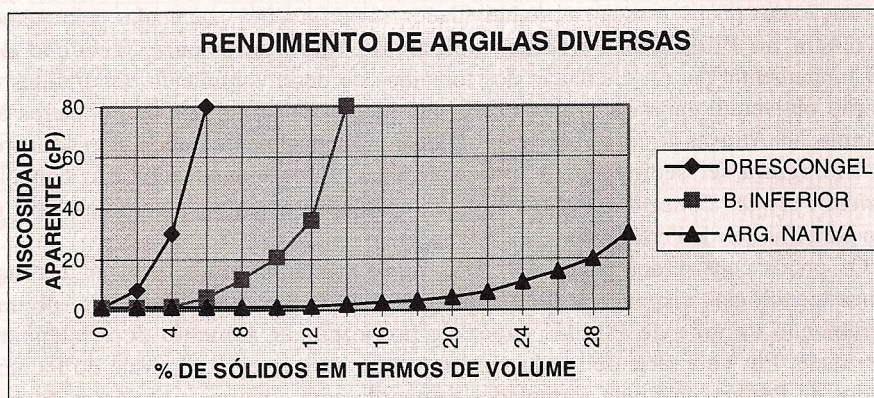


Gráfico 1 Comparativo entre bentonita sódica, cálcica e arg. Nativa

Os Fluidos de baixos teores de sólidos, ou Fluidos Poliméricos, firmaram-se desde há muito como a principal alternativa em otimizar sondagens para poços de água. É notável a diferença em trabalhar com uma lama de baixo peso, que proporciona rebocos



- FM ARENOSAS ➡ viscosidade; controle de filtrações
- FM ARGILOSAS ➡ inibidor de argilas e enceramentos; visc. inicial
- FM ARENO-ARGILOSAS ➡ formulação completa
- FM DE ALTA PRESSÃO ➡ adicionar adensante (barita ou sal)

Os polímeros e aditivos inorgânicos aplicados para compor estes itens são os seguintes:

- VISCOSIFICANTES ➡ polímeros naturais de celulose de alta viscosid.
- VISCOSIFICANTES ➡ biopolímeros xantânicos
- VISCOSIFICANTES ➡ polímeros sintéticos

- INIBIDORES DE ARGILAS ➡ polímeros orgânicos
- INIBIDORES DE ARGILAS ➡ polímeros sintéticos
- INIBIDORES DE ARGILAS ➡ sais de Na e K e dispersantes

- CONTROLADOR DE FILTRAÇÕES ➡ polímeros de celulose de baixa viscosid.
- CONTROLADOR DE FILTRAÇÕES ➡ polímeros de celulose de alta viscosidade
- CONTROLADOR DE FILTRAÇÕES ➡ dispersantes ligníticos ou taninos

## 5. POLÍMEROS DIVERSOS DISPONÍVEIS

Os polímeros disponíveis no mercado são classificados em 4 categorias abrangentes:

### 5.1 Polímeros Naturais de Celulose

São obtidos por processos de industrialização de celuloses de cadeias longas originárias de madeiras como os pinheiros, que são separadas para este fim junto ao setor de papel e celulose industriais. Tal tratamento vai tornar a celulose solúvel em água, de forma que esta ganhe viscosidade. De acordo com a pureza do polímero (deve ser em torno de 100%) e seu peso molecular, verificaremos sua eficiência como doador de viscosidade. Utiliza-se também um parâmetro conhecido como Grau de Substituição (DS), que tem seu valor máximo conhecido em 1,4. Relaciona-se com a solubilidade, resistência a bactérias e contaminações químicas por Ca, Mg, NaCl, entre outros. Outro valor considerado é seu rendimento em água doce. Segundo a Norma 1805/1806 da PETROBRÁS, o rendimento não pode ser inferior a 380 m<sup>3</sup>/ton, isto é, deve proporcionar uma Viscosidade Aparente de 15 cP (cerca de 37 seg/quart no Funil Marsh) com no máximo 2,6 kg/m<sup>3</sup> de polímero aplicado.

Os tipos utilizados em perfuração são os seguintes:

5.1.1. *Celulose Carboximetilica (CMC's)* - deve ter grau de pureza até 99,5%, Peso Molecular próximo a 200.000 e DS entre 0,50 e 0,85. Basicamente 2 tipos de CMC's devem ser adicionados ao Fluido:



5.1.1.1. **CMC Alta Viscosidade (AV):** tem função de doar viscosidade ao Fluido e controlar filtrados. É constituído de celuloses de cadeias longas

5.1.1.2. **CMC Baixa Viscosidade (BV):** tem função de controlar filtrações, fazendo selamento nas paredes do furo, e funciona também como um bom defloculante. É constituído por celuloses de cadeias curtas (CMC ADS Tipo I)

5.1.2 **Celulose Polianiônica (PAC's)** - deve ter pureza em torno de 100%, Peso Molecular acima de 200.000 e DS de 1 a 1,2. Os PAC's são oriundos da mesma matéria prima dos CMC's e obtidos segundo o mesmo processo, diferenciando-se somente pelo DS final, isto é, o número de carboxilas presentes nas unidades monoméricas do polímero (chamado de Grau de Substituição, ou DS) é muito superior, tornando os PAC's mais reativos com as argilas, com maior solubilidade e resistência a contaminações de Ca, Mg e sais. Rende pelo menos 20% a mais que o CMC em termos de viscosidade (vide Gráfico 3), reduzindo os custos pois tem preço equivalente. Como os CMC's, também dois tipos de PAC's são adicionados ao Fluido:

5.1.2.1 **PAC de Alta Viscosidade (AV):** doador de viscosidade

5.1.2.2 **PAC de Baixa Viscosidade (BV):** controlador de filtrados, mas diferencia-se do CMC BV por não afinar o Fluido.

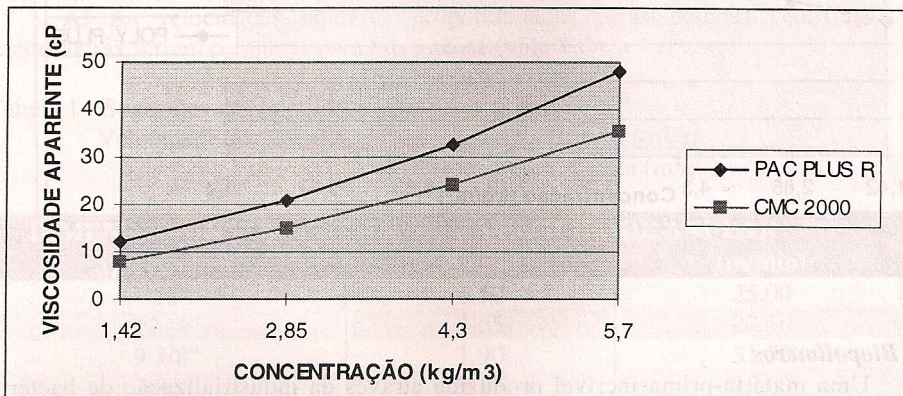


Gráfico 2: Comparativo de Rendimento PAC x CMC

## 5.2 Polímeros Orgânicos

São industrializados a partir de duas espécies de matérias primas obtidas de fontes naturais que lhe atribuem natureza catiônica e fortemente reativa (cerca de 30% maior que Polímeros Sintéticos) para inibir as argilas hidratáveis. Por ser catiônico age sobre as superfícies das plaquetas de argila, que são negativas, tendo maior área de atuação que os produtos aniônicos que anulam as extremidades positivas. Não viscosificam e podem ser utilizados em condições de rigoroso controle ambiental.

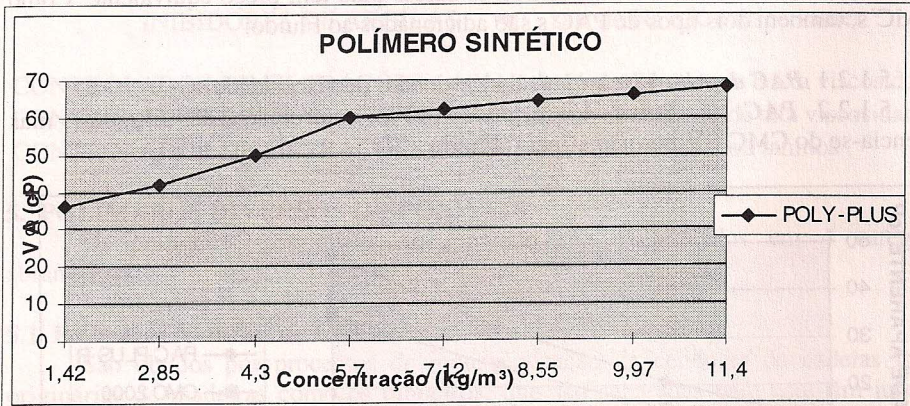


### 5.3 Polímeros Sintético

Constituído basicamente por moléculas de Poliacrilamida Parcialmente Hidrolizada (PHPA 30%), polímero sintético de alto peso molecular e de caráter aniônico.

São importantes pelas características de envolver os sólidos reativos (principalmente argilas do grupo montmorilonita) presentes na solução e nas paredes do poço, neutralizando suas cargas positivas e fazendo que liberem a água adsorvida. Em seguida forma um filme ou película em volta dos flocos de argilas desidratados (processo de encapsulamento), trazendo-os a superfície completamente preservados para que depositem e não retornem mais ao circuito fluido. Aumenta a lubrificação do sistema e mantém broca e ferramenta limpos, diminuindo o tempo de penetração nas argilas plásticas. Secundariamente é doador de viscosidade (veja Rendimento no Gráfico 3).

Gráfico 3: Rendimento do Polímero Sintético



### 5.4 Biopolímeros

Uma matéria-prima incrível produzida através da industrialização de bactérias conseguidas em processos com fermentações, resultando em biopolímeros como as *gomas xantanas* que viabilizaram os furos horizontais do petróleo, pois é o único fluido com capacidade de arraste para limpeza nestes furos. Isto se deve a seu altíssimo gel e excelente reologia. Em poços de água doce pode ser usado em ocasiões emergenciais formando tampões viscosos acima dos locais de prisão ou quebra de ferramenta, impedindo deposição de materiais de caimento das formações. Para levantar recortes pesados que os Fluidos normais não conseguem é também extremamente útil e pode ser acrescentado como aditivo. Observe no Gráfico 4 as quantidades a ser adicionadas de Biopolímero para se conseguir viscosidade (tomar sempre 15 cP como referência):



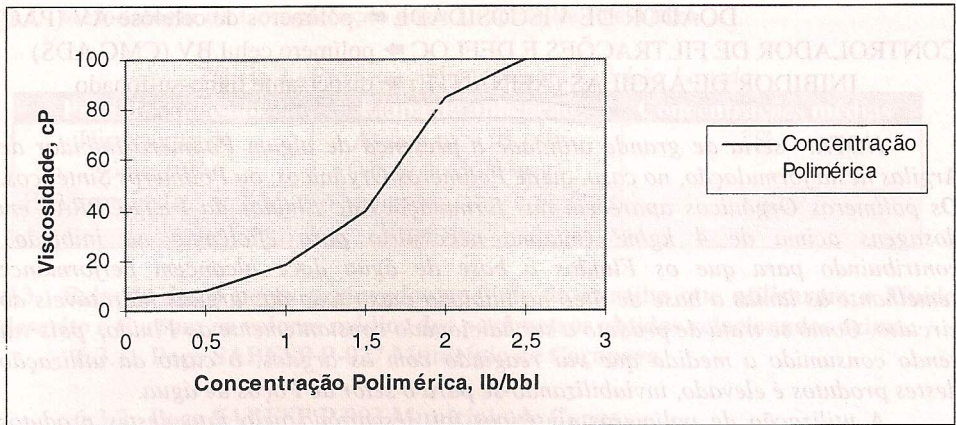


Gráfico 4: Rendimento dos biopolímeros 1lb/bbl = 2,853 kg/m<sup>3</sup>

## 6. Formulações para 4 poços da SABESP no Vale do Paraíba

A escolha dos materiais para compor o Fluido valeu-se das características dos projetos dos Poços que teriam em sua maioria diâmetros de reabertura de Ø 17½" e profundidade final de 220 m, isto é, necessitariam de Fluido com alta capacidade de arraste, pois:

A) As velocidades anulares proporcionadas pelas bombas centrífugas das Empreiteiras seriam pequenas para tais vazões (vide Tabela 1 abaixo):

Tabela 1 - Sugestões de Velocidades Anulares mínimas

$$\text{Velocidade Anular} = \frac{\text{Vazão da Bomba (m}^3\text{/h)}}{\text{Vol Poço} - \text{Vol Deslocado ferramenta (m}^3\text{/m)}}$$

DIMENSÃO DO POÇO (polegadas)	VELOCIDADE ANULAR	
	(km/h)	(m/min)
15	1,50	25,00
12 ¼"	1,65	27,50
9 7/8"	1,90	31,50
8 ½"	2,15	35,00
6"	2,60	43,50

B) Outra característica a se levar em conta: argilas extremamente reativas existentes na Bacia de Taubaté, principalmente da Fm Tremembé, expansivas e causadora de prisões de ferramental com incorporações excessivas no Fluido, aumento de peso e teor de sólidos, ficando este último em valores elevadíssimos.

Para isso formulou-se um Fluido que contasse com as seguintes características:



DOADOR DE VISCOSIDADE ➔ polímeros de celulose AV (PAC)  
 CONTROLADOR DE FILTRAÇÕES E DEFLOC. ➔ polímero celul. BV (CMC ADS)  
 INIBIDOR DE ARGILAS (AFINANTE) ➔ dispersante ligno-sulfonado

*NOTA: seria de grande utilidade a presença de algum Polímero Inibidor de Argilas nesta formulação, no caso, ou de Polímeros Orgânicos, ou Polímeros Sintéticos. Os polímeros Orgânicos aparecem nas formulações de Fluidos da PETROBRÁS em dosagens acima de 4 kg/m<sup>3</sup> (mínimo necessário para eficiência na inibição), contribuindo para que os Fluidos a base de água doce alcancem performance semelhante às lamas a base de óleo na inibição e extração das argilas hidratáveis do circuito. Como se trata de produto a ser adicionado constantemente ao Fluido, pois vai sendo consumido a medida que vai reagindo com as argilas, o custo da utilização destes produtos é elevado, inviabilizando-se para o setor de Poços de água.*

*A utilização de polímeros sintéticos foi descartada pelo fato destes produtos serem inadequados para perfurar os aquíferos arenosos, proporcionando danos pela invasão de um filtrado viscoso nos espaços porosos do anel envoltório ao furo, diminuindo a permeabilidade. Sua aplicação restringe-se mais a Fm argilosas e neste caso nos deparamos com Fm multicamadas, sendo impossível adaptar o Fluido a cada estrato seccionado.*

Optou-se então por uma combinação de CMC BV ADS - Tipo I, que além de controlar filtrações é um excelente defloculante, e um dispersante eficiente, também capaz de controlar filtrados, sendo escolhido o dispersante ligno-sulfonado Spersene.

## 6.1 Metodologia de Controle de Fluido Empregada

Tabela 2 - Monitoramento dos Fluidos em campo

Parâmetros de Controles	Média max. obtida	Valores Desejáveis
Viscosidade Marsh (seg/quart)	48	40 a 60
Peso (lb/gal)	9.8	< ou = 9
pH	9.5	8,5 a 10
Viscosidade Aparente (cP)	28.5	20 a 40
Viscosidade Plática (cP)	20	8 a 20
Limite de Escoamento (lb/100pés <sup>2</sup> )	20	10 a 20
Gel (lb/100pés <sup>2</sup> )	6	3 a 6
Teor de Areia (%)	1.8	< 1
Teor de Sólidos (vol. %)	11.6	< 5
Filtrado (cm <sup>3</sup> )	15	< 15
Reboco (mm)	1	< 1
Rendimento de CMC ou PAC AV (kg/m <sup>3</sup> )	2.2	< ou = 2,6
Concentração de CMC ADS BV (kg/m <sup>3</sup> )	1	0.5 a 1.0
Concentração de Soda Cáustica (kg/m <sup>3</sup> )	0.5	0.1 a 1.0
Concentração de Spersene (kg/m <sup>3</sup> )	0.4	0.3 a 0.5



## 6.2. Metodologia de Completação para Descida de Pré-Filtro

Tabela 3 - Produtos aplicados para *Colchão Lavador*

Produto Aplicado	Etapa de aplicação	Concentrações médias
Hipoclorito de Sódio(10%)	Afinou para revestir (Vmarsh=32/33seg)	2%
Hexametafosfato de Sódio	Afinou para empedregulhar (Vmarsh<29seg)	3 kg/m <sup>3</sup>

## 6.3. Relação dos 4 poços perfurados no Vale do Paraíba que utilizaram o Fluido descrito e tiveram os valores médios dos parâmetros obtidos relacionados acima:

### 6.3.1. Poço SABESP P-027 Município de Caçapava

### 6.3.2. Poço SABESP P-003 Município de Canas

### 6.3.3. Poço SABESP P-155 Município de São José dos Campos

### 6.3.4. Poço SABESP P-156 Município de São José dos Campos

## 6.4. Quadros Comparativos dos Resultados Obtidos com Poços Próximos

### 6.4.1. Quadro 1 P-027 - Município de Caçapava

Poço n.º	PROF.(m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/S (m <sup>3</sup> /h.m)	Ø FILTROS ABERT. (mm)	
12	145.00	107.00	5.63	10 / 8" Esp.	1
13*	177.0*	88.0*	2.28*	10 / 8"* Esp.	1*
14	165.00	99.00	6.52	10 / 6" Esp.	?
15	132.00	40.00	2.56	8 / 6" Esp.	0.75
16	204.00	87.40	6.03	10 / 6" Esp.	0.75
17	213.86	101.65	6.35	10 / 6" Esp.	0.75
18	82.00	87.10	3.10	10 / 6" Esp.	0.75
19	229.00	117.70	4.11	10 / 6" PVC	0.50
20	220.00	132.70	5.51	10 / 6" Esp.	0.75
21	90.00	89.90	2.16	12" PVC	0.75
21 <sup>A</sup>	210.00	122.90	7.62	12" PVC	0.75
22	162.00	110.70	4.33	12" PVC	0.75
23	180.00	80.60	4.65	8" PVC	0.75
24	200.00	104.10	5.59	8" PVC	0.75
25	241.00	103.20	4.12	8" PVC	0.75
26	201.00	41.50	0.75	8" PVC	0.75
27	<b>200</b>	<b>113.14</b>	<b>9.78</b>	<b>8" PVC</b>	<b>0.75</b>

\*Obs.: o poço P-13 (construído em 1979) está localizado a 10 m de distância de P-27



#### 6.4.2. Quadro 2 P-003 - Município de Canas

Poço nº.	PROF. (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/s (m <sup>3</sup> /h.m)	Ø FILTROS	ABERT. (mm)
2	138	33	2,08	6" Esp.	0.75
3	89	38,11	1,43	6" PVC	0,75

Obs.: o poço P-02 (construído em 1985) está localizado a 550 m de distância de P-03  
Dado de Q de P-02 da época do teste em 85, atualmente Q/s caiu 50%

#### 6.4.3. Quadro 3 P-155 e P-156 - Município de São José dos Campos

Poço nº.	PROF. (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/s (m <sup>3</sup> /h.m)	Ø FILTROS	ABERT. (m)
098	190.00	19.31	0.25	8" Esp.	0.75
140	174.00	23.50	1.82	8" PVC	0.75
141	250.00	36.00	1.07	8" PVC	0.75
155	250.82	80.60	2.95	8" PVC	0.75
156	250.40	77.66	1.71	8" PVC	0.75

Obs.: o poço P-156 está numa cota bem mais elevada que os demais

## 7. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

7.1. O resultado mais interessante para estabelecer comparações foi, sem dúvida, o de Caçapava. Além de P-13 estar localizado ao lado de P-27, este situa-se razoavelmente centralizado em relação aos demais no contexto local da Fm Caçapava. Ressalta-se também que o controle de dados hidrogeológicos neste município é um dos mais regulares no banco de dados da SABESP.

7.2. A aplicação dos PAC's demonstrou-se positiva. O grau de substituição elevado deste polímero torna-o mais reativo com as argilas hidratáveis, ajudando no processo de inibição. Seu rendimento como doador de viscosidade foi também superior ao do CMC POLYSAFE 2000, ficando em 2 a 2.2 kg/m<sup>3</sup>.

7.3. As dificuldades encontradas na sondagem referem-se ao controle das argilas da Fm Tremembé, que enceram as brocas e incorporam-se ao Fluido aumentando o Peso Específico e Teor de Sólidos. No caso das sondagens em São José dos Campos estes valores ficaram acima dos parâmetros adequados, mesmo com a presença no Fluido de CMC ADS Tipo I e do dispersante lignosulfonado Spersene. Tais produtos foram eficientes no controle de Filtrado e do Reboco, que se manteve sempre fino e flexível. Não conseguiram segurar o peso em torno de 9, chegando muitas vezes próximo a 10. A presença de um Polímero inibidor e encapsulante de argilas no Fluido (Polímero Orgânico) seria de grande valia, inclusive para aumentar ainda mais os índices de penetrações com a redução dos processos de enceramentos.

7.4. A Etapa de Completação para revestimento e descida de pré-filtro é também fundamental para "coroar" os trabalhos. A aplicação dos produtos oxidantes, no caso do hipoclorito de sódio (excelente para quebrar os polímeros), e dos dispersantes químicos, no caso Hexametáfosfato de Sódio (excelente para as argilas nativas residuais e remoção do reboco), tem sua maior eficiência neste momento, onde o poço está aberto e com o reboco exposto. Após o revestimento e empedregulhamento fica mais difícil atingir o anel circundante da Fm.



7.4. Os resultados atestam melhoria na eficiência das sondagens e da produção, mas o processo de adequação do Fluido deve continuar com as sugestões descritas no item 8 - Conclusões, a seguir:

## 8. CONCLUSÕES

Os Fluidos de Perfuração apresentam-se neste momento como ferramenta importantíssima nos trabalhos de sondagem tipo rotativa. As formulações utilizadas foram um primeiro passo para se chegar a um Fluido próximo do ideal para as perfurações na Bacia de Taubaté e também em Bacias análogas como a de São Paulo, de Rezende, de Curitiba e outras do Cenozóico. Problemas históricos em perfuração nestas regiões como enceramentos de brocas e ferramental; incorporação de argilas hidratáveis ao Fluido; excesso de diluições para afinar; prisões da coluna de fundo por argilas expansivas; prisões diferenciais; parâmetros de Peso, Filtrados e Rebocos elevados; baixas taxas de penetrações; dificuldades nos trabalhos de desenvolvimento dos poços e consequentemente reduções na produtividade, começam a ser enfrentados de maneira técnica e científica. As questões relativas aos itens filtrado, reboco, prisões em geral e desenvolvimentos prolongados já estão equacionadas com a utilização dos Fluidos Poliméricos, de baixo teor de sólidos, doadores de viscosidade e reativos, associados a dispersantes controladores de argilas, diluições e elevação do pH para 10 ou 10.5 (adição de soda cáustica) para reduzir peso e sólidos indesejáveis. Resta ainda os problemas de enceramento e incorporações excessivas, que mesmo com diluições e pH altos, ainda são excessivas. A utilização dos Polímeros Orgânicos, que dobraria, ou triplicaria em alguns casos, o custo do Fluido, seria a alternativa mais viável para resolver a questão. A experiência do Petróleo demonstrou ser factível este procedimento. Em relação aos enceramentos a adição de detergentes surfactantes minimizaria bastante o problema, mas neste caso seria necessário a utilização de bombas de pistão e de pH acima de 10, já que os surfactantes produzem espumas que podem ser reduzidas pelo pH elevado, mas mesmo assim inviabilizam o uso de bombas centrífugas (que pegam ar).

## 9. BIBLIOGRAFIA

- 8.1. Manual de Engenharia dos Fluidos de Perfuração - M-I Drilling Fluids - Revisão 1972
- 8.2. Performance Through Engineering - M-I Drilling Fluids, M-I Product Bulletins and M-I Technology Reports 1996
- 8.3. E. B. Mano - "Introdução a Polímeros", Editora Edgard Blücher Ltda. 1985

## 10. AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos Geólogos, Técnicos de Campo, Sondadores e Auxiliares das Empresas CONSTROLI PROJETOS E CONSTRUÇÕES LTDA., GEOPLAN ASSESSORIA PLANEJAMENTO E PERFURAÇÕES LTDA e POLITI ENG. E CONSTRUÇÕES LTDA.; e também a Joel Felipe Soares (TRIONIC) e Antônio Carlos Mendes Oliveira (Casa do Perfurador).