



IBP 1049_06
NOVAS TÉCNICAS DE ESTIMULAÇÃO APLICADAS EM
CAMPOS MADUROS
Ricardo C. B. Melo¹, Ricardo S. Aboud²

Copyright 2006, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*, realizada no período de 11 a 14 de setembro de 2006, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*.

Resumo

Um dos grandes desafios de companhias operadoras é aumentar a recuperação de hidrocarbonetos em campos maduros, mantendo custos operacionais a níveis justificáveis. Empresas operadoras e prestadoras de serviços estão continuamente buscando novas tecnologias que gerem melhores relações benefício/custo, mantendo foco em excelência operacional, em segurança, meio ambiente e saúde.

Neste trabalho abordaremos novas técnicas de estimulação recém aplicadas no Brasil, em fraturamentos hidráulicos e em acidificações de matriz rochosa, em arenitos.

A aplicação em fraturamentos hidráulicos consiste num processo conhecido como “*batch-frac*” (“fraturamento por batelada”), que não ganhou ímpeto quando implantado anos atrás, devido às tecnologias de fluido e agentes de sustentação de então, pois é necessário que agentes de sustentação tenham uma decantação mínima no fluido de fraturamento, onde são carregados, desde a mistura, e até o final do processo de bombeio de fraturamento. O “*batch-frac*” renasce com a descoberta de agentes ultraleves de sustentação, alguns com gravidade específica inferior a 1,50. O agente é pré-misturado em um tanque de mistura, dispensando alguns equipamentos mais especializados, como o “*blender*” (“misturador”), hoje utilizado em serviços de fraturamento convencionais, reduzindo, assim, custos operacionais e de logística, além de reduzir as quantidades de aditivos químicos do fluido de fraturamento. Com o “*batch-frac*” é possível realizar desde “*by-pass*” (ultrapassar) da zona danificada do poço, fraturamentos convencionais, ou até fraturamentos com monocamadas parciais de agente de sustentação, mencionados neste trabalho.

Sobre acidificação matricial em arenitos, abordamos uma tecnologia de acidificação de uma única etapa, método este que dispensa o uso de estágios adicionais de fluidos, como colchões. A operação utiliza um estágio de ácido de reação controlada (fosfônico/fluorídrico), reduzindo volumes de fluidos deste tipo de tratamento, porém mantendo eficiências semelhantes a tratamentos convencionais. Como resultado, temos um menor inventário de produtos químicos, menos potencial de corrosão aos equipamentos metálicos existentes no poço e, também, maior segurança e logística para execução de trabalhos em poços de óleo e gás.

Abstract

One of the biggest challenges for operators is to increase hydrocarbon recovery on mature fields, keeping reasonable operational costs. Therefore, operators and services companies are continuously looking for new technologies that provide the best yield on benefit/cost ratio, keeping focus on operational and HSE excellencies (HSE = health, safety and environmental).

In this paper we will go over the new stimulation techniques recently being applied onshore Brazil, on hydraulic fracturing techniques, and new matrix acidizing system for sandstones.

The fracturing application is known as “Batch-Fracturing”, not a great success in the past, when introduced, due to the available frac fluid and proppant technology at that time, as it is required that proppants have minimum settlement in the frac fluid, where they are carried from the time they are mixed into it, until the end of the pumping process. “Batch frac” is coming up again, due to the new ultra lightweight proppant, some with specific gravities below 1.50. The

¹ Engenheiro Eletricista – BJ Services – Coordenador de Engenharia NO/NE

² Engenheiro Civil – BJ Services - Latin American - Business Development Manager

proppant is pre-mixed in conventional mixing tanks, thus avoiding the use of specialized equipment such as blenders, today it is used on conventional frac jobs, reducing operational and logistics costs, besides using less chemicals on frac fluids. With “Batch-fracs” is possible to perform “skin-by-pass” over the damaged zone, conventional hydraulic fracturing jobs, or even partial mono layer fracturing, mentioned on this paper.

We will be also describing the applications of a new single step sandstone acidizing system, a system that avoids pre or post acid flushes. The new system consists in only one single stage, with controlled acid reaction (phosphonic/fluoridic), thus using less fluid volumes, yet providing similar efficient results than conventional fluoridic acid systems. As a result, we have less chemical inventory, lower corrosion issues, higher safety (more environmentally friendly system), and less logistics requirements to execute this type of work on oil and gas wells.

1. Introdução

A grande maioria dos campos de petróleo de hoje são considerados maduros e muitos deles com decrescentes níveis de produção. Como consequência, as empresas operadoras estão continuamente procurando tecnologias que incrementem recuperação, com custos que justifiquem a viabilidade de suas operações.

O fraturamento hidráulico é um tipo de serviço prestado de certa complexidade e magnitude e, por isso, relativamente oneroso. Ele normalmente requer vários equipamentos, como de armazenagem de fluidos e de agentes de sustentação, de mistura, de bombeio, de segurança e de controle e monitoração, com custo de manutenção elevado.

O produto de um bom trabalho de fraturamento é o incremento de produção do poço. Simplificando-se a complexidade deste tipo de tratamento pode gerar benefícios adicionais, além do incremento de produção, por utilizar menos equipamentos, menos complexos, com menor custo de manutenção e com menos pessoal para executar a operação. Uma das principais diferenças é a substituição de um “blender” por um pré-misturador. Quando assim executado, tem o nome de “Batch Frac”, revisado por Cramer e Songer, em 1990. Os primeiros “batch-fracs” datam de meados de 1950, porém rapidamente substituídos por equipamentos que permitiam bombeios de mistura contínua. Porém hoje está técnica está renascendo devido à descoberta de propantes ultra-leves, apresentados por Rickards “et al” em 2003. Estes propantes ultra-leves ajudam a reduzir os custos finais de um fraturamento, pois nos permitem revisar o conceito de fraturamentos em mono-camadas parciais de propantes, técnica antiga defendida por Hewit e Darin, na qual permite reduzir consideravelmente o volume de propante necessário em um fraturamento.

Em alguns reservatórios areníticos não necessitam serem sempre fraturados para recuperar a produção ou injeção a níveis econômicos. Em muitos casos, uma acidificação com ácido fluorídrico pode remover o dano e trazer o poço a um patamar desejado de produção. Esta simples acidificação hoje pode tornar-se mais simples, pois um novo sistema de ácido, com base em ácido fosfônico / fluorídrico, apresentado por Di Lullo e Rae em 1996, que dispensa o bombeio de pré-colchões e colchões posteriores ao sistema principal de ácido. Este sistema tem como principal vantagem precipitações mínimas devido à reação do ácido fluorídrico (HF) com possíveis carbonatos presente na rocha matrix arenítica e outras de caráter secundário, como precipitações de hidróxido de ferro.

2. Técnicas aplicadas em fraturamento hidráulico

Abordamos agora o “batch frac” já aplicado no nordeste brasileiro, citando casos históricos e melhor explicando a técnica de fraturamento em camadas parciais de propante.

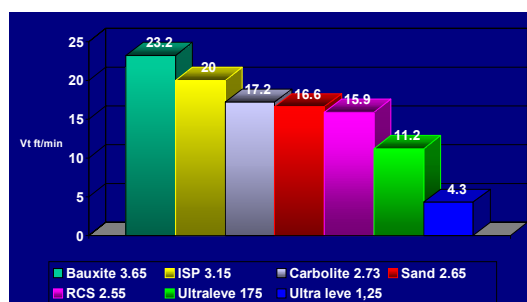


Figura 1: Velocidade de decantação em água, Lei de Stokes

O fraturamento com camada parcial de propante é possível devido à descoberta de propantes ultraleves com gravidade específica inferior a 1,5, onde a decantação e convecção do propante são minimizados (ver Fig.1, velocidades de decantação de vários propantes – Lei de Stokes), proporcionando uma melhor distribuição do propante ao longo da altura da fratura.

2.1. Fraturamento em batelada “Batch-Frac”, BF

O fraturamento em batelada pode ser aplicado a diversos tipos formações, de baixa até moderadas permeabilidades, a fim de ultrapassar o dano. Para ambos os casos, a logística operacional é simples, utilizando em geral menor potência hidráulica (menos equipamentos na locação) e pré misturadores ao invés de “blenders”. O número de pré misturadores depende do volume a ser utilizado, como ilustrado na Fig. 2, de um lay-out típico de “batch frac”.

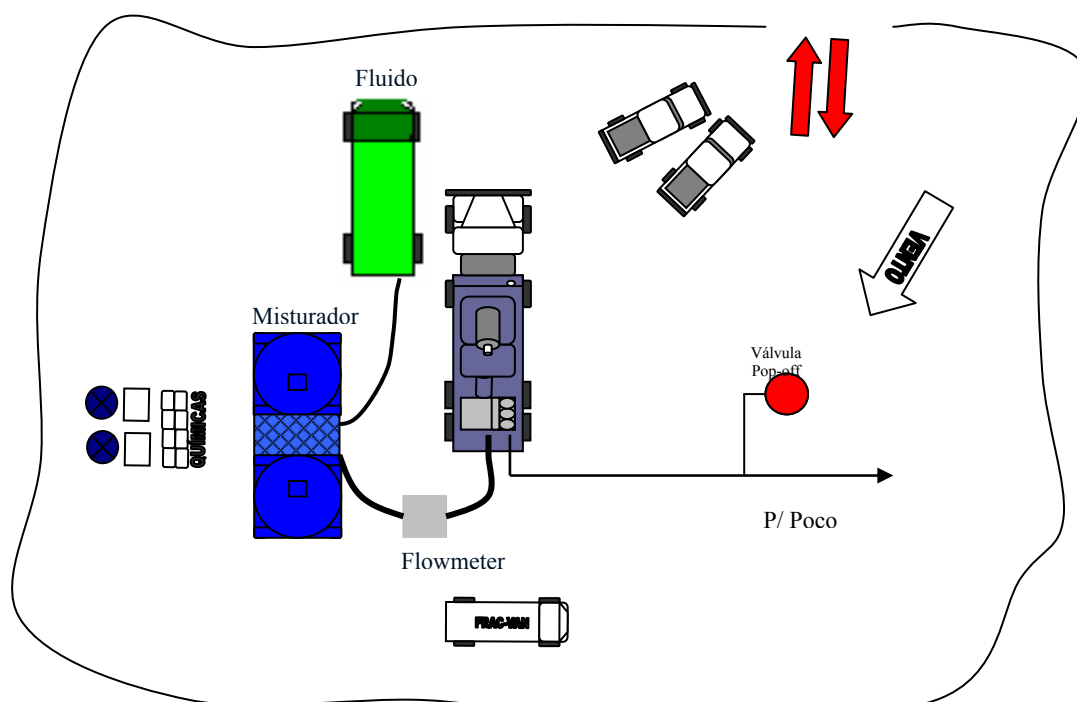


Figura 2: Lay-out para um Batch Frac

A baixa decantação do propante permite utilizar relativamente altas concentrações de propantes, pré misturados em fluidos sem polímeros ou de baixa carga polimérica, com a finalidade de reduzir a perda carga por fricção, durante o bombeio. Esta concentração pode ser alterada durante o bombeio, para se atingir concentrações programadas.

A permeabilidade da formação é o principal fator para o desenho do tratamento, pois dependendo desta, a definição de utilizar polímero ou não nos fluidos do trabalho. Para tal, é importante realizar um teste de injeção, feita com vazões que originem pressões de fundo de poço maiores que a pressão de fratura, bem como avaliar o declínio de pressão e perda de filtrado durante este teste de calibração, para melhorar a eficiência do desenho da fratura. Em casos de eficiências baixas de fluido, considera-se ou a utilização de fluidos viscoelásticos, sem polímeros (definidos por Di Lullo et al em 2001), ou agregação de polímero ao fluido. Quando necessária a utilização de polímeros, é importante a utilização de quebradores eficientes, como enzimas específicas, para melhor limpeza do polímero de dentro da fratura, atualizado por Branon et al em 2003.

Também a utilização de programas de análise nodal, onde se pode avaliar o efeito de um trabalho de estimulação sobre um poço, permite um melhor desenho de fratura, para melhor dimensionamento do volume de propante e correspondente geometria da fratura, para alcançar os parâmetros de produção ou injeção esperados pelos operadores, com a condutividade produzida pela fratura, através da zona danificada.

2.2. Caso histórico de fraturamento em batelada

Dentre vários tratamentos já realizados citaremos o poço “AA” . O objetivo da fratura era o de aumentar a injetividade do poço, que antes era de 8 m³/dia. O intervalo tratado possuía uma permeabilidade de 50 mDa e uma altura porosa de 9 metros. A operadora desejava uma injetividade após tratamento de 40 m³/dia. O poço foi fraturado com fluido de completação adensado com cloreto de cálcio de 1,2 g/cm³, sem polímeros, carregando 408 kg de propante ultraleve, de gravidade específica de 1,25, em estágios de 0,5 e 1 ppa (libra de propante adicionado a um galão de

fluido), com uma vazão média de 10 bpm (barris por minuto). O desenho final da fratura foi definido após um teste de injetividade. Após a fratura, a vazão de injeção passou para 130 m³/dia, no mesmo patamar de pressão de injeção, com a vazão anterior à fratura. Um dos pontos que podemos observar no tratamento é o incremento de pressão quando o propante atinge a formação, explicado pela estreita fratura criada, gerando um aumento na perda de carga nas faces da fratura.

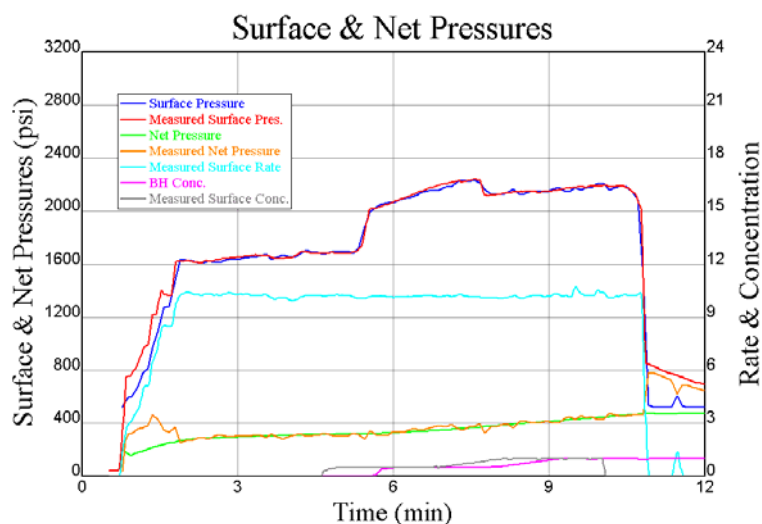


Figura 3: Parâmetros de bombeio do fraturamento em Batelada

2.3. Fraturamento em mono-camada parcial de propante, *MCP*

A técnica de fraturamento em mono-camada parcial de propante é proveniente de uma teoria antiga, que nos últimos anos foi pouco utilizada devido às dificuldades com transporte de propantes pelos fluidos para dentro da fratura. Propantes de densidades muito elevadas causa forte convecção e decantação de seus grãos, com considerável perda de condutividade e geometria de fratura. Por muito tempo têm-se procurado incremento de condutividade em várias áreas: selecionando propantes de melhor qualidade, ie propriedades mecânicas (esmagamento, esfericidade e angulosidade); recuperação de condutividade de fratura pelo emprego de quebradores eficientes, ie enzimáticos, quando utilizados fluidos com polímeros; uso de fluidos com baixo poder de dano, tais como fluidos viscoelásticos de última geração, definido por Di Lullo (2001), onde se recupera em média, cerca de 95% da condutividade original.

Diferente dos fraturamentos convencionais, onde a condutividade é provida por múltiplas camadas de propante dentro da fratura (Figura 4), através do bombeio de grandes volumes de propante, em fraturamentos MCPP procuramos apenas uma única camada, não completamente repleta de propante, ficando assim mais condutiva, devidos aos espaços vazios entre os grão (Figura 5).



Figura 4: Múltiplas camadas de propantes

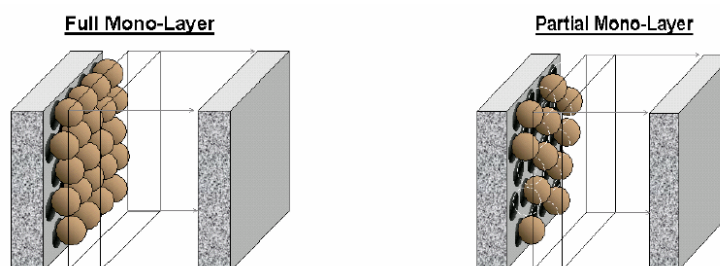


Figura 5: Mono-camada de propante (MCP) e Mono-camada parcial de propante (MCPP)

MCPP utiliza concentrações de propante ultraleve da ordem de 0,05 lb/ft² até 0,08lb/ft², como estudado e explicado por Branon et al (2004), fornecendo altas condutividades como demonstrado na Figura 6. Para alcançarmos uma condutividade similar, com propantes convencionais (areia), precisaríamos de mais de 1 lb/ft², o que representa mais de 10 vezes o volume final de propante, observando que pela equação 1, para termos uma camada completa de propante ultraleve, 1,25 g/cm³ e granulometria 14/30, precisaríamos de uma concentração de 0,15 lb/ft² e múltiplos deste para cada camada extra, ou seja, seriam necessárias mais de 7 camadas para alcançar uma condutividade similar.

$$C_a = 5,20 \times (1 - \Phi) \times \gamma_p \times d_p \quad (1)$$

Onde;

C_a = Volume mínimo de propante para cada camada cheia (lb/ft²)

Φ = Porosidade mínima do pacote de propante (fração)

γ_p = Gravidade específica do propante (g/cm³)

d_p = Diâmetro médio do grão (polegadas)

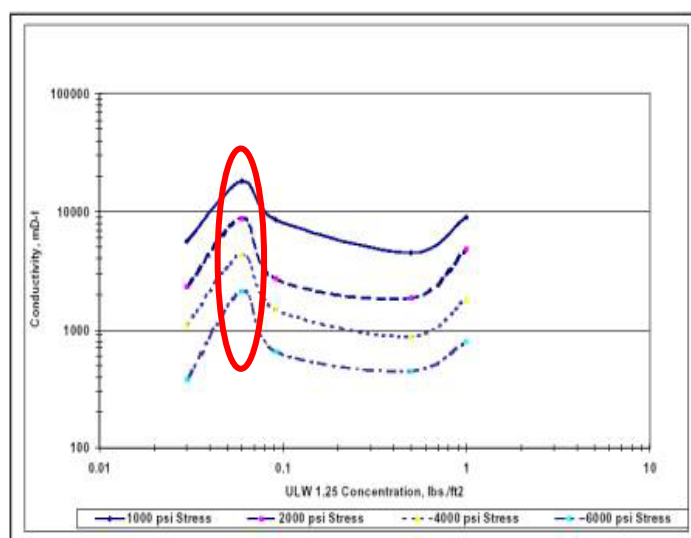


Figura 6: Condutividade em várias pressão de confinamento – Propante Ultraleve 1,25 g/cc³.

A tecnologia de MCPP resulta em uma redução considerável de custos devido à redução no volume de propante necessário na operação, além da redução de equipamento, pois pode perfeitamente ser aplicada em fraturamentos por bateladas, com excelentes resultados em injeção / produção do poço (Figura 7).



Figura 7: Comparação de produção em poços correlatos (vermelho mono-camada parcial de propante)

2.4. Caso histórico de fraturamento em mono-camada parcial de propante (MCPP)

Vários tratamentos já foram realizados em vários países, porém exemplificamos um poço “BB” que estava com (baixa) produtividade cerca de 3 m³/dia. O intervalo tratado possuía uma permeabilidade de 4,8 md e uma altura porosa de 8 metros. A operadora desejava um incremento na produção com um tratamento com boa taxa benefício/custo. Após algumas simulações de análise nodal e testes em laboratório para estudar a rigidez da rocha a fim de que esta não absorvesse a camada parcial de propante, o intervalo foi fraturado com adição de vinil-amida terciária ao fluido de fraturamento, para futuro controle de água. Este tipo de fraturamento é conhecido por “Conform Fracturing”, relatado em vários casos históricos aplicados no nordeste brasileiro e relatados por Altamiro, Melo e Di Lullo (2005). Outra técnica que foi aplicada neste tratamento para tentar reduzir a altura de fratura foi de fraturamento híbrido, com casos estudados por Russing and Sullivan (2003). Após análise do “minifrac”, durante o teste de calibração, foram bombeados 50 bbl de colchão de gel linear, seguidos por 86 bbl de fluido de fratura com 850 kg de propante ultraleve, 1,25 g/cm³, e granulometria 14/30, com concentrações agregadas de propante variando de 0,4 ppa até 0,6 ppa, a uma vazão média de 9 bpm. O resultado inicial foi logo animador, pois mesmo teoricamente atingindo a zona de água, quadruplicou a produção de hidrocarboneto, com um corte de água abaixo de 5%, resultado este muito próximo ao do simulador de análise nodal, calculando-se uma concentração média de propante por unidade de área de fratura de 0,075 lb/ft².

Surface & Net Pressures

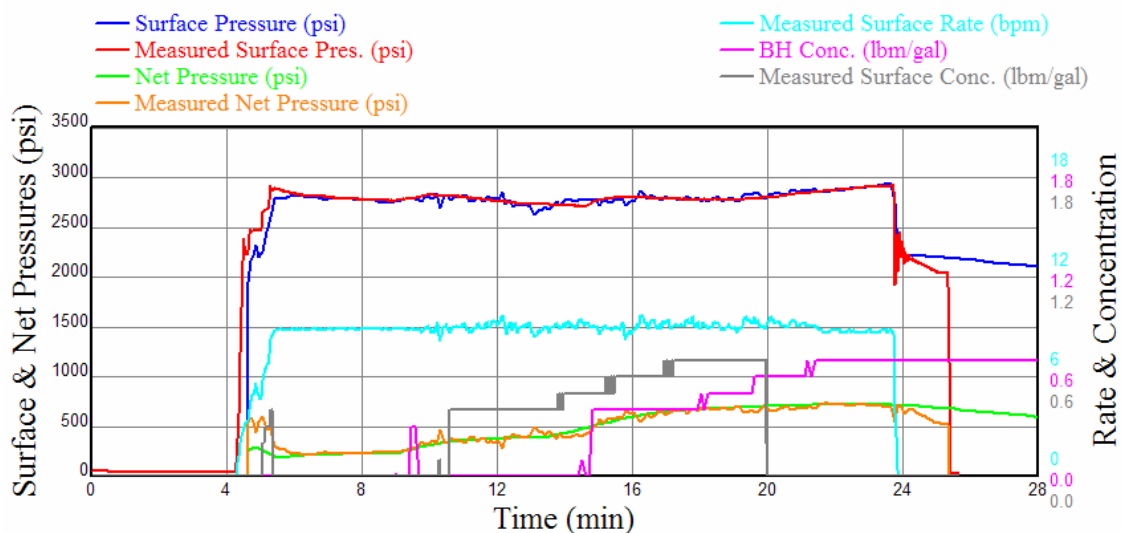


Figura 8: Parâmetros de bombeio do “Conform Fracturing” no poço “BB”

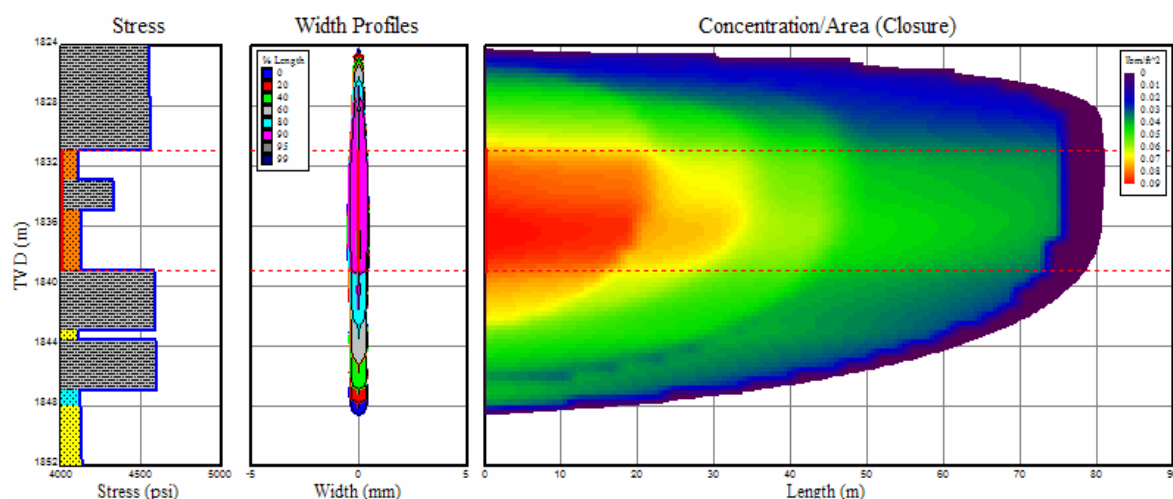


Figura 9: Concentração de propante por área calculado pós frac

3. Novo sistema de acidificação de arenito em estágio único

A acidificação de único estágio deriva de um outro sistema ácido, amplamente utilizado em diversos países, que utiliza múltiplas etapas e é à base de ácido fosfônico, HV, e fluorídrico, HF, explicado por Di Lullo e Rae (1996), que devido às propriedades recém constatadas, pode ser aplicado sem necessidade de pré ou pós colchão de ácido, apenas um estágio de HV/HF.

Este sistema é possível devido à reação controlada do HV/HF com o quartzo da formação apenas e baixíssima reação com possíveis carbonatos existentes na formação, por conta da baixa concentração de ácido clorídrico HCl em sua formulação, menor que 1,5%. O sistema tem um alto pH, maior que 2,5, tornando-o insusceptível à liberação de íons de cálcio. Consequentemente não há a indesejável precipitação dos insolúveis fluoretos de cálcio. Outro ponto importante é que a reação com o íon ferroso, seja na superfície ou na formação, forma complexos solúveis de fluor-ferratos.

Para remoção de ferrugens e deposição de parafina ou asfaltenos, ou ainda graxa da coluna, que podem tamponar a formação, é sempre aconselhado realizar uma lavagem da coluna, circulando uma solução neutra de aditivo quelante e solvente orgânico à base de terpeno, sistema descrito por Curtis e Kalfayan (2003).

O tratamento pode ser resumido na tabela abaixo, comparando-o com um tratamento comum à esquerda.

Tratamento Comum	Acidificação em estágio único
Lavagem da coluna	Lavagem da coluna
Colchão de Diesel e Solventes	Colchão NH_4Cl + Solvente Terpeno
Pré colchão ácido	HV / HF (Única fase ácida)
HCl / HF	Deslocamento (NH_4Cl)
Pós colchão ácido	
Deslocamento	

3.1. Caso histórico

Entre várias aplicações de sucesso no nordeste do Brasil, para diferentes operadoras, abordaremos uma para limpeza de tela de gravel, utilizada em sinergia com uma ferramenta de jatos rotativos e pulsantes, descida por tubo flexível, proposta por Campbell e Brunskill (2000). Esta combinação desagrega e dissolve os finos alojados no “pack” do gravel. O tratamento foi feito para limpar 7 metros de tela. No passado tentaram-se tratamentos ácidos convencionais e com querosene de aviação sem sucesso. O tratamento de estágio único iniciou-se com a limpeza do tubo flexível por solução quelante neutra, seguido de 1000 gal de diesel, devido ao óleo da formação ser bastante pesado e com tendência emulsiva. Na sequência foram jateados 5 bbl de HV/HF, com resultado final acima de qualquer expectativa. A produção histórica era de 40 m³/dia, declinando até 0 antes do tratamento. Após o tratamento, o intervalo ficou com uma produção mensal média de 55m³/dia, acima da média histórica do intervalo. A Figura 10 é o tratamento, evidenciando o momento em que o HV/HF atinge as telas.

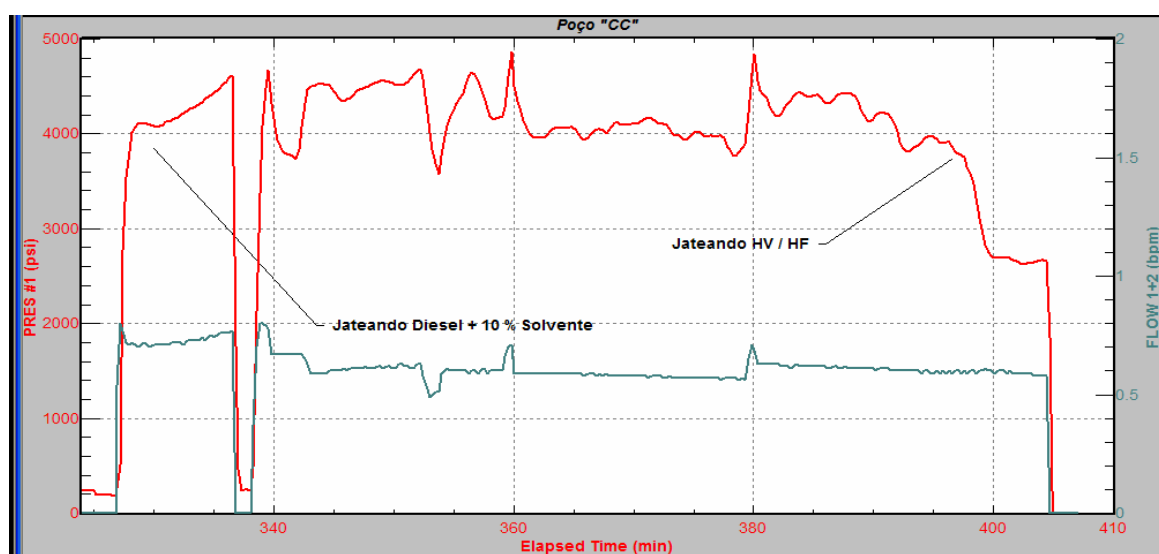


Figura 10: Parâmetros de bombeio ácido em estágio único

4. Conclusões

- As novas tecnologias proporcionam resultados de produção excelentes, com alto retorno sobre investimento;
- Antiga técnica de estimulação (MCP) renasce com o emprego de propantes ultraleves;
- Fraturamento em bateladas com propante ultraleve requer menos equipamento e tende a gerar menos dano à formação, por utilizar fluidos mais “limpos”;
- Fraturamento em mono camada parcial de propante (MCP) reduz consideravelmente o volume de propante necessário para alcançar uma determinada condutividade, em comparação com propante convencional, em múltiplas camadas;
- Fraturamento em mono camada parcial de propante (MCP) pode também ser realizado em bateladas;
- O sistema ácido de único estágio não reage com carbonatos nem gera dano por reações com íons de ferro;
- O sistema ácido de único estágio reduz os riscos com segurança, meio-ambiente e saúde;
- A sinergia entre o sistema ácido de único com a ferramenta de divergência de jato rotativo e pulsante resulta num tratamento mais eficiente e econômico até os que se praticavam.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a BJ Services pela permissão para publicação deste trabalho.

6. Referências

- CRAMER, D. D., SONGER, M. A. “Batch-Mix Fracturing: Na Effective Method of Stimulating Moderate – Permeability Reservoirs”. SPE paper 17500 – apresentado no SPE Production Engineering, November 1990
- DURAN, M. A.,
- RICKARDS, A. R., BRANNON, H. D., WOOD, W. D., STEPHENSON, C., “High Streng Ultra lightweight proppant lends new dimensions to hydraulic fracturing aplications”, SPE paper 84308, apresentado no SPE ATCE em Denver, CO, EUA, 5 a 8 de outubro de 2003
- DI LULLO, G., RAE, P.: “A New Acid System for True Stimulation of Sandstone Reservoirs” SPE paper 37015 apresentado no SPE International 6th Asia Pacific Oil and Gas Conference apresentado em Adelaide, Australia. 28 a 31 de outubro de 1996.
- DI LULLO, G., AHMAD, A., RAE, P., ANAYA, L., MELI, R., : “Toward zero damage: New fluids point the way” SPE paper 69453 apresentado no SPE LACPEC apresentado em Buenos Aires, Argentina. 25 a 28 de março de 2001.
- BRANNON, H. D., ROBERT M., TJON-JOE-PIN, CARMAN P. S., WOOD, W. D., “Ezyme break technologies: A decade of improved well stimulation”, SPE paper 84213, apresentado no SPE ATCE em Denver, CO, EUA, 5 a 8 de outubro de 2003
- DARIN, S.R. and HUITT, J.L., “Effect of partial monolayer of propping agent on fracture flow capacity”, SPE paper 1291-G, apresentado no SPE Annual Fall Meetnig, Dallas, TX, EUA, 4 a 7 de outubro de 1959
- BRANNON, H. D., MALONE, M., RICKARDS, A. R., WOOD, W. D., BRYANT, J.L., “Maximizing fracture conductivity with propant partial mono layer: Theoretical curiosity or highly productivity reality?”, SPE paper 90698, apresentado no SPE ATCE em Houston, TX, EUA, 26 a 29 de Setembro de 2004
- ALTAMIRO, J. M. S., MELO R.C.B., DI LULLO, G., “Case history evaluation of RPM’s on conform fracturing applications”, SPE paper 94352, apresentado no SPE LACPEC em Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 20 a 23 de Junho de 2004
- RUSHING, J. A., SULLIVAN, R. B., “Evaluation of a hybrid water frac stimulation technology in Bossier tight gas sand play”, SPE paper 84308, apresentado no SPE ATCE em Denver, CO, EUA, 5 a 8 de outubro de 2003
- DI LULLO, G., RAE, P., “A New Acid for True Stimulation of Sandstone Reservoirs”, SPE paper 30715, apresentado no SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference em Adelaide, Austrália, 28 a 31 de outubro de 1996
- CURTIS, J., KALFAYAN, L., “Improving Wellbore and Formation Efficiencies with environmental solvents and pickling solutions”, SPE paper 81138, apresentado no SPE LACPEC em Port Spain, Trinade e Tobago, Abril de 2002
- CAMPBELL, A., BRUNSKILL. D., “Advances in coiled tubing jeting technology”, SPE paper 60821, apresentado no SPE Coiled Tubing Roundtable em Houston, EUA, 5 a 6 Abril de 2000