

PROJETO DE FRATURAMENTO HIDRÁULICO EM ROCHAS CRISTALINAS PARA ESTIMULAÇÃO DE POÇOS E RECARGA ARTIFICIAL NA ÁREA PILOTO DE SAMAMBAIA, CUSTÓDIA-PE.

José Carlos da Silva¹; Waldir Duarte Costa Filho² & João Alfredo da C. Lima Neves¹

Resumo - A CPRM – Serviço Geológico do Brasil desenvolve, no Nordeste brasileiro, em parceria com o governo canadense, um programa de trabalho visando à otimização de metodologias de prospecção de água subterrânea em rochas cristalinas. Entre as tecnologias em desenvolvimento destaca-se o fraturamento hidráulico, executado em poços de baixa produtividade com objetivo de aumentar, em volta dos poços, os espaços para armazenamento de água. Esta alteração na geometria do reservatório é possível devido à ruptura da rocha, que ocorre quando submetida a um diferencial de pressão, aplicado dentro do poço através do bombeamento de um fluido de fraturamento. A abertura das fraturas pode provocar a interligação de sistemas de fraturas pertencentes a condutores hidráulicos diferentes, podendo ou não se constatar um incremento na capacidade de produção do poço. Em qualquer situação criam-se condições favoráveis para realização de recarga artificial, onde água de chuva coletada na superfície, através dos meios mais convenientes para cada área, pode ser armazenada para posterior recuperação, livre da evaporação e de contaminações. A expectativa, baseada em experimentos similares, é que com a execução da programação proposta, seja obtido um aumento de produtividade em cerca de 70% dos poços fraturados e que processos de recarga artificial sejam sempre adotados.

Abstrat - The Geologic Survey of Brazil - CPRM, develops in the Northeast of Brazil, in partnership with the Canadian government, a work program seeking to introduce the best methodology in searching for underground water in crystalline rocks. Among the technologies in development, stands out the hydraulic fracturing, executed in wells of low productivity with the objective of increasing in the wells vicinities, the spaces for storage of water. This alteration in the geometry of the reservoir is possible due to the rupture of the rock, that happens when an overpressure is applied inside he well through the pumping of a fracturing fluid. The opening of the fractures can provoke the interconnection of systems of fractures belonging to different hydraulic layers, being able or not to make an increment in the capacity of production of the well. In any situation, favorable conditions are created for accomplishment of artificial recharge, where water

¹ - Engenheiro de Minas e de Perfuração. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Av. Sul, 2291, Afogados, Recife-PE. CEP 50.770-011. Fone (81) 3428.0623, e-mail: gehitepe@fisepe.pe.gov.br

² - Geólogo, Mestre em Hidrogeologia, consultor da CPRM/SUREG/RE. Av. Sul, 2291, Afogados, Recife-PE. CEP 50.770-011. Fone (81) 3428.0623, e-mail: waldir@webfile.com.br

coming from rain, collected in surface, can be stored for posterior recovery, free from the effects of evaporation and contaminations. The expectation, based on similar experiments, is that with the execution of the programming proposal, be obtained a productivity increase in about 70% of the fractured wells and artificial recharge.

Palavras-chave - Fraturamento Hidráulico; Recarga artificial.

FRATURAMENTO HIDRÁULICO E RECARGA ARTIFICIAL

Os primeiros registros sobre o uso do fraturamento hidráulico reportam-se ao ano de 1947, em rochas sedimentares, pela indústria petrolífera dos Estados Unidos e, em 1954 na União Soviética. Atualmente, é intensamente utilizado, em todos os campos produtores de hidrocarbonetos, para estimulação dos reservatórios.

Em terrenos cristalinos, o fraturamento hidráulico vem sendo testado a pouco mais de uma década. Smith (1989), descreve experiências nos Estados Unidos e Bonnet et al (1989) também relata um projeto piloto com fraturamento em 21 poços, na África. Durante os anos de 1991 e 1992, o Serviço Geológico Britânico, realizou experimentos significativos no Zimbábue, África, em poços fornecedores de baixíssimas vazões. Nestes, foi utilizada água como fluido de fraturamento e sem agentes de sustentação, obtendo-se um incremento de produtividade em mais de 50 por cento dos poços estudados (Herbert et al, 1991) e (Talbot et al, 1992). A partir daí, tem-se informação da realização de fraturamentos em rochas cristalinas em vários países, entretanto os resultados precisam de uma melhor análise crítica e de sistematização.

Com relação ao armazenamento de água em reservatórios constituídos a partir do fraturamento hidráulico em rochas cristalinas, a bibliografia especializada não apresenta relatos conclusivos. Contrariamente, o armazenamento em meio poroso, realizado através da recarga artificial, é largamente utilizado, por mais de cinquenta anos, em países como: os Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, Israel e Austrália, entre outros.

PROGRAMA DE TRABALHO

Por tratar-se de um experimento desenvolvido em área piloto, será testada a maioria dos recursos metodológicos operacionais e interpretativos conhecidos, equipamentos disponíveis no mercado e as equações matemáticas envolvidas nas operações de fraturamento hidráulico, recarga artificial, armazenamento e recuperação da água, obedecendo, inicialmente, o seguinte roteiro:

Área selecionada

Em princípio, os trabalhos serão realizados na área piloto de Samambaia, onde estão sendo realizados estudos integrados tais como: levantamentos aeromagnético e de geofísica terrestres, orientados para a pesquisa de água subterrânea, mapeamento geológico de detalhe, estudos morfoestruturais e de drenagem, estudos hidrogeológicos, entre outros. A área está localizada no perímetro da bacia hidrográfica do alto vale do rio Moxotó, município de Custódia, estado de Pernambuco, abrangendo uma área de 104 km², distando aproximadamente 30 km da sede municipal e delimitada pelas coordenadas UTM 636 000E – 644 000E, 9 079 000N – 9 092 000N.

Quanto ao contexto geológico, segundo Almeida et al. (1977) a área está regionalmente posicionada na Província da Borborema, entre os Lineamentos Patos e Pernambuco. Predominam as rochas pré-cambrianas pertencentes ao Complexo Sertânia (Santos et al. 1999) e ocorrências subordinadas de coberturas cenozóicas. A litologia é constituída predominantemente por: ortognaisses, migmatitos indiscriminados, augengnaisses, quartizitos, paragnaisses, micaxistos e biotita-xistos (Angelim et al. 2000).

Foram cadastrados doze poços tubulares, registrando-se valores medianos de vazão de 1.0 m³/h e três poços improdutivos.

Caracterização geológica da locação do poço

Ainda é incipiente o conhecimento a respeito da geometria natural das fraturas que constituem o domínio hidráulico de um poço - dimensões, aberturas, conectividades, entre outros parâmetros. Assim, a primeira etapa a ser cumprida na execução do programa de trabalho, na área selecionada, é caracterizar da forma mais completa possível, a situação geológica e estrutural da locação do poço e seu entorno. Devem ser identificadas, como por exemplo, as unidades estratigráficas, a litologia e a mineralogia, falhas e fraturas, orientações das fraturas, entradas d'água no poço, espessuras do solo e de rochas alteradas.

Perfil construtivo do poço

Um outro requisito, essencial para o sucesso da operação, é o conhecimento da configuração mecânica do poço: profundidade, diâmetro(s) do intervalo em poço aberto, diâmetro e tipo do

revestimento, intervalos de cimentação, zonas passíveis de desmoronamentos, etc. Caso não haja registros confiáveis, tais informações terão de ser obtidas, em campo, da forma mais conveniente.

Avaliação das propriedades hidráulicas

Existe alguma dificuldade na avaliação de propriedades hidráulicas em meios geológicos fraturados, heterogêneos e, principalmente quando o caso considerado trata-se de poços de baixa capacidade produtiva. Assim, está prevista uma ampla análise sobre os diversos métodos de interpretação de testes de bombeamento disponíveis. Buscar-se-á um melhor entendimento sobre as características do fluxo, antes e após a operação de fraturamento, estabelecendo relações entre nível estático, rebaixamentos ao longo do tempo de bombeamento e vazão bombeada. Importante para a operação é a identificação correta das entradas d'água no poço, tanto para o assentamento do "packer" (artefato de pressurização) como para a avaliação final das alterações provocadas pelo fraturamento.

Estudos sobre a mecânica do fraturamento

Os estudos relativos à mecânica do fraturamento serão desenvolvidos com o objetivo de aprimorar o conhecimento existente envolvendo os problemas de mecânica das rochas, afetados pelo processo de fraturamento hidráulico. Procurar-se-á atribuir valores para o grau de significância, de fatores como: constantes elásticas, resistência a incrustação, gradiente de pressão, tensões na subsuperfície, tensões na parede do poço, entre outras que definam o padrão de ruptura da rocha, propagação da fratura e pressão de fechamento.. Importante, nesta fase, é a elaboração de um modelo simulando a geometria das fraturas, existente no poço, antes do fraturamento. Poderão ser utilizados modelos bidimensionais com solução analítica ou numérica, assim como simuladores tridimensionais.

A figura 1 representa, de forma esquemática, a simulação do comportamento das pressões, durante a operação de fraturamento, quando utilizado um agente de sustentação.

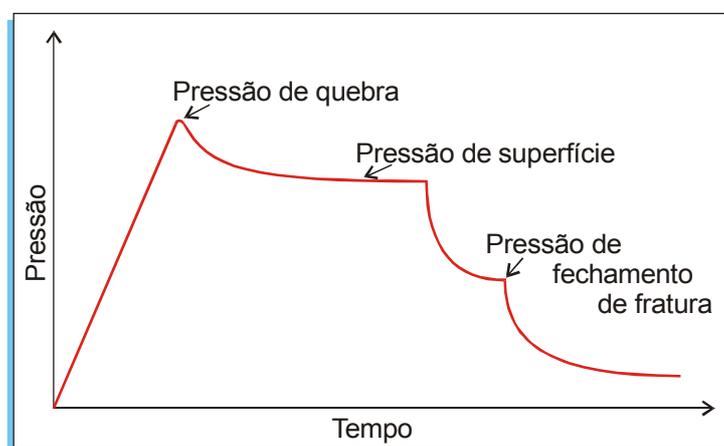


Figura 1 - Gráfico simplificado do comportamento das pressões durante uma operação de fraturamento.

OPERAÇÕES PROGRAMADAS

A seguir, estão descritas as etapas de serviços de campo programadas para execução dos experimentos realizados em nível de estudo piloto:

Perfilagem geofísica do poço

A razão essencial da realização de uma etapa de perfilagem, antes da operação de fraturamento, é fornecer subsídios para que os resultados desejados sejam alcançados sem atropelos. Por tratar-se de estudos em área piloto, pretende-se testar vários perfis. O perfil caliper define com precisão o(s) diâmetro(s) do poço, indicando rugosidades e intervalos alargados, permitindo a seleção do diâmetro do “packer” e o cálculo do volume de injeção do fluido de fraturamento. Os perfis raio gama e resistividade são utilizados para a delimitação da camada intemperizada, enquanto a resistividade pode indicar a localização de fraturas. Por tratar-se de um estudo em área piloto, pretende-se testar os resultados de outros perfis, como: perfis de temperatura, perfis óticos (câmara de TV, em cores e com giro de 360 graus), perfil de densidade e perfil sônico.

Realização de teste de bombeamento

O objetivo principal é o conhecimento das propriedades hidráulicas as quais serão utilizadas para avaliar o aumento da capacidade produtiva do poço, após a operação de fraturamento. Testes de bombeamento executados a baixas vazões, oferecem dificuldades adicionais para serem interpretados. Deve ser observada a vazão crítica de bombeamento, acima da qual será provocado o esgotamento do poço, assim como a influência da água armazenada no poço, sobre as primeiras medidas de rebaixamento do nível d'água. A correta escolha do método de interpretação dos testes será de extrema relevância para avaliação dos resultados obtidos com o fraturamento.

Instalação do “packer”

Deve ser assentado em local constituído de rocha não alterada, logo acima do trecho que será submetido a altas pressões. Sua função é a de vedação do intervalo a ser fraturado. Através do “packer” é injetado o fluido de fraturamento e, se for o caso, conduzir o agente de sustentação das fraturas abertas durante a operação.

Realização do fraturamento hidráulico – registro de pressão

Está programado, inicialmente, utilizar-se somente água, sem aditivos e, posteriormente, em um outro poço, água com aditivos químicos e agentes de sustentação. A operação é iniciada com a sucção do fluido para um misturador, onde são dosados e misturados os produtos químicos e o agente de sustentação. Em seguida, através de uma bomba de alta pressão, a mistura é injetada no poço através da coluna de assentamento do “packer”. Toda a operação é controlada na superfície,

onde a variação dos valores de pressão é registrada em uma carta de pressão de fraturamento. São controlados também o volume de fluido injetado, a taxa de injeção e a quantidade de agente de sustentação, quando utilizado.

A figura 2 ilustra, de forma estilizada, as fases de uma operação de fraturamento hidráulico e o efeito sobre a geometria das fraturas, em um condutor hidráulico, com posterior recarga artificial.

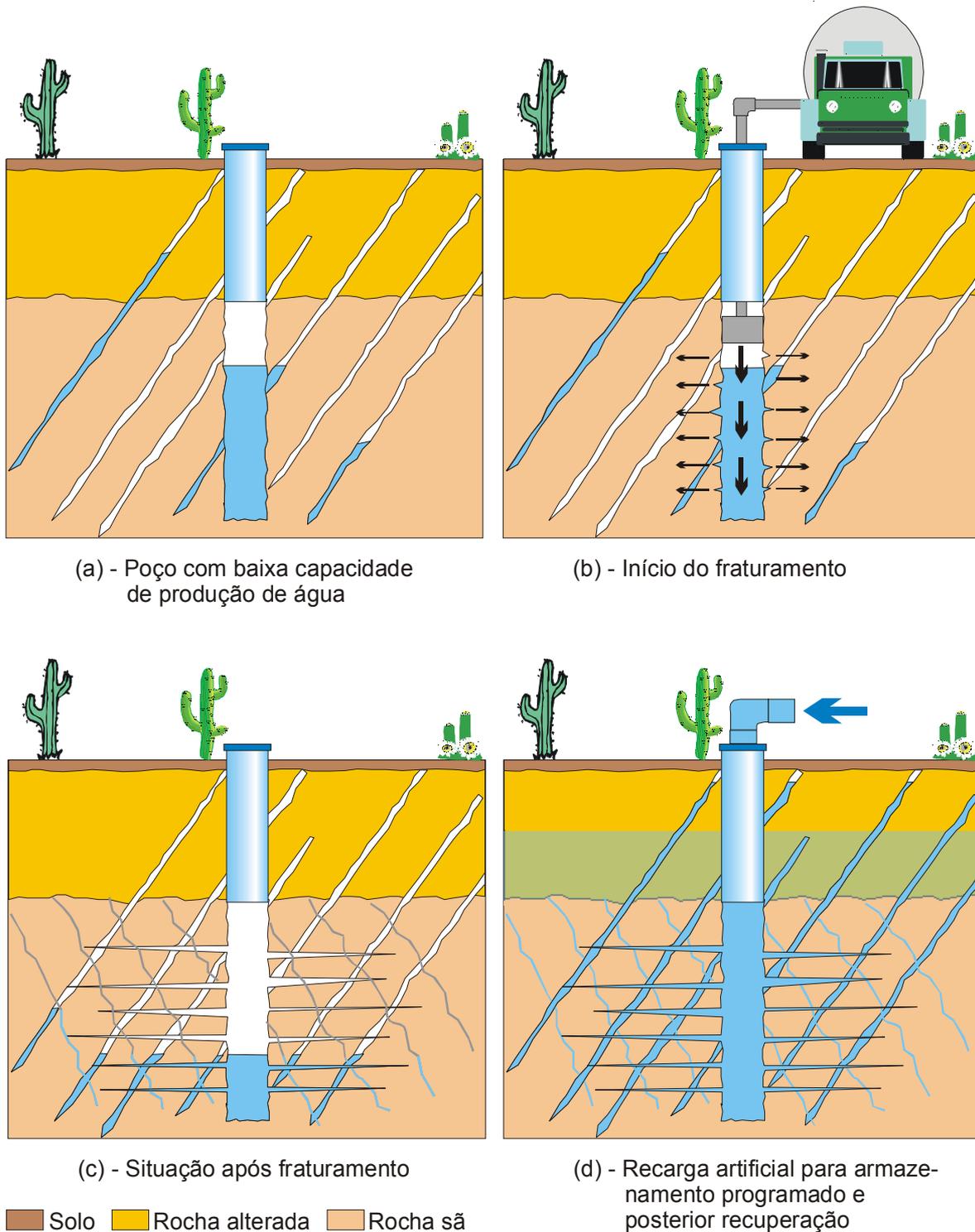


Figura 1 - Operação de fraturamento hidráulico e o efeito sobre a geometria das fraturas, com posterior recarga artificial.

Realização de teste de bombeamento, pós-fraturamento

Será realizado com a mesma metodologia, do teste anterior ao fraturamento. A interpretação dos dados obtidos, nesta fase, reveste-se de grande importância pois, a medida que quantifica o resultado da operação, define também os parâmetros da nova utilização do poço com relação a vazão e tempo de bombeamento.

Perfilagem geofísica do poço, pós-fraturamento

Objetiva o cálculo do aumento de produtividade do poço, depois de realizada a operação de fraturamento. Os dados interpretados serão comparados com aqueles obtidos no primeiro teste, definindo-se valores de rebaixamento máximo disponível para que a máxima vazão de exploração seja utilizada.

Interpretação dos dados obtidos

O objetivo principal é certificar-se do aumento da capacidade de armazenamento do reservatório, condição essencial para a realização da recarga artificial. Isto será obtido através da interpretação dos dados coletados durante a operação, conjugando o modelo da geometria das fraturas com a análise do comportamento hidráulico do poço, antes e depois do fraturamento hidráulico. Além das dimensões das fraturas abertas, serão interpretadas as situações de condutividade, especialmente quando se constatar a interligação de sistemas de fraturas do poço com outros sistemas armazenadores de água, o que deverá possibilitar o aumento de produtividade.

EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS DE TRABALHO

Para cumprir o programa de operações previstas, serão necessários, sucintamente, os seguintes equipamentos e ferramentas:

- Uma bomba de alta pressão, aproximadamente 5 000 PSI.
- Um tanque para fluido de fraturamento, capacidade de 10 000 litros.
- Jogo de “packers” para poços abertos.
- Registrador de pressão.
- Uma bomba submersa, com tubos edutores e dispositivos de medição de vazão.
- Um gerador de energia elétrica.
- Unidade de perfilagem (caliper, resistividade, temperatura,...).
- Unidade de perfilagem ótica.
- Ferramentas mecânicas diversas.

FLUÍDOS DE FRATURAMENTO

Os primeiros experimentos serão realizados utilizando-se água, sem aditivos, como fluido de fraturamento. É a primeira opção por constituir-se no fluido de menor custo de aquisição e de manuseio, assim como para estabelecer uma primeira experiência que sirva para comparação e conhecimento de pressões de fechamento das fraturas. Como conseqüência, um agente de sustentação como areia selecionada, só será utilizada em uma fase posterior, carregada por um fluido à base de gelificantes ou espessantes.

ARMAZENAMENTO E RECUPERAÇÃO DA ÁGUA

Constatada a ampliação dos espaços vazios, nos reservatórios subterrâneos, a partir do fraturamento hidráulico, será realizado o armazenamento de água, utilizando-se de técnicas de recarga artificial. A opção pela recarga artificial, ocorre em função da velocidade de reabastecimento do reservatório ser extremamente superior às taxas de recarga natural. Obtêm, assim, o aumento da capacidade natural de reserva dos aquíferos subterrâneos. O sistema consiste em armazenar, a água excedente, em períodos de chuva e injetá-la em poços que ofereçam espaços de dimensões satisfatórias, para os fins desejados, possibilitando que a água seja recuperada, à vazão desejada, em períodos de estiagem, por exemplo. Dependendo do processo utilizado para acumular água na superfície, faz-se necessário o tratamento prévio da água, garantindo a manutenção das condições de potabilidade.

RESULTADOS ESPERADOS

O fraturamento hidráulico em rochas cristalinas, se utilizado no Nordeste brasileiro objetivando a recarga artificial, trará benefícios imensuráveis para a população e viabilização de empreendimentos locais de diversas naturezas. O experimento proposto será realizado pela CPRM, através do Projeto de Água Subterrânea no Nordeste-PROASNE, sendo esperados os seguintes resultados:

- Aumento da capacidade de armazenamento em 100% dos poços trabalhados.
- Que aproximadamente 70% dos poços estimulados, apresentem alguma melhoria na capacidade de produção, devido a conectividade obtida entre sistemas diferentes de fraturas ou a modificação nas condições de condutividade hidráulica, das fraturas preexistentes.
- Que seja um forte incentivo a utilização intensa da recarga artificial, considerando a possibilidade de recuperação de 100% da água injetada, seja nas pequenas propriedades ou, nos grandes empreendimentos.
- Melhoria da qualidade da água e conseqüente padrão de vida da população;

- Oferecer subsídios para definir dispositivos legais, que regulem a qualidade mínima da água para injeção em aquíferos subterrâneos.
- Evitar o efeito da intensa evaporação incidente sobre água acumulada em reservatórios superficiais, assim como as contaminações de quaisquer origem, por permitir o armazenamento subterrâneo.
- Que os custos de fraturamento, uma vez definida a metodologia mais adequada, sejam equivalentes a 40% do custo da construção de um poço com 50 metros de profundidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F. F. M., Hassuy, Y., Brito Neves, B. B, Fuck, R. A., 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: SBG/Nordeste, Simpósio de Geologia do Nordeste, 7, Campina Grande, Atas, p. 242-258.
- Angelim, L. A. A., Amaral, C. A., Galvão, M. J. T. G., 2000. Geologia da área piloto Caiçara-Samambaia. CPRM. Inédito.
- Bonnet, M., Hassane, A., Milcent, A., Peirol, J., Vaubourg, P., Waltz, J. e Zunino, C., 1989. Experimentation de la fracturation hydraulique sur forages d'eau au Burkino Faso. Hydrogeologic, 4, 271-278.
- Herbert, R., Talbot, J. C., Shedlock, S. L., Rastall, P., Sinnott-Jones, P. e Nhunhama, G., 1991. A pilot study of hydraulic fracturing used in low yielding wells in the basement rocks of Masvingo, Zimbabwe. BGS Report WD/91/4.
- Santos, E. J., Morais, F., Galvão, M. J. T. G. 1999. Mapa geológico do alto vale do rio Moxotó. CPRM. Inédito.
- Smith, S., 1989, Rock fracturing methods: their development and use. Water Well Journal. February. 41-47.
- Talbot, J. C., Buckley, D. K., Herbert, R., 1992. Hydraulic Fracturing: Further investigations on its use in low yielding boreholes in the basement rocks of Zimbabwe. BGS Report WD/93/16.