



**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo**

DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES ATUANTES NOS MACIÇOS ROCHOSOS PARTE 3

**PMI3305 - Mecânica das Rochas Aplicada à Mineração I
Prof. Eduardo César Sansone**

MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES ATUANTES NOS MACIÇOS ROCHOSOS



PRINCIPAIS MÉTODOS

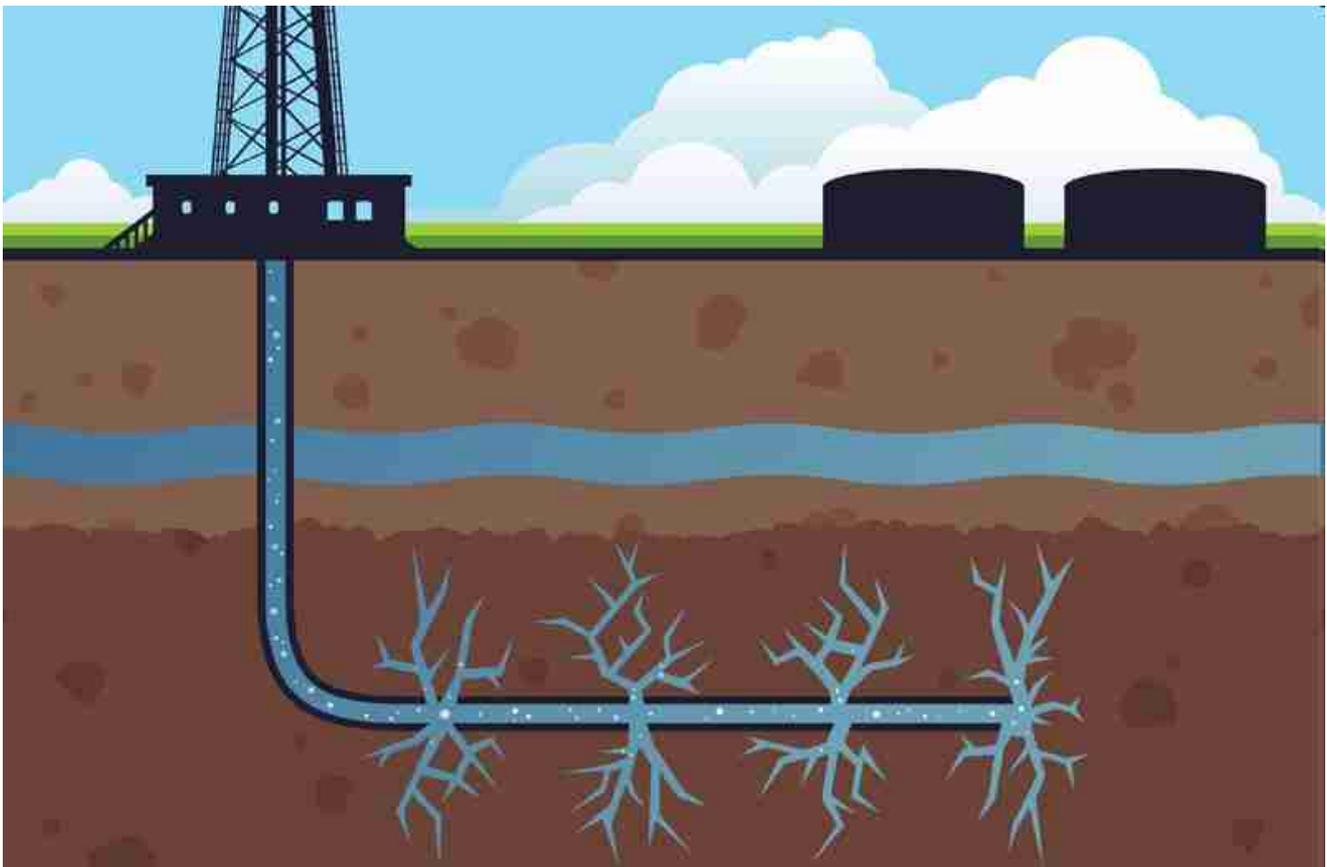
- Macaco Plano (Flat Jack) ⇒ Método de Pressurização
- USBM Overcoring Torpedo } ⇒ Métodos de Sobrefuração
- CSIRO Overcoring Gauge }
- Fraturamento Hidráulico ⇒ Método de Pressurização



FRATURAMENTO HIDRÁULICO (PRESSURIZAÇÃO)

3

FRATURAMENTO HIDRÁULICO

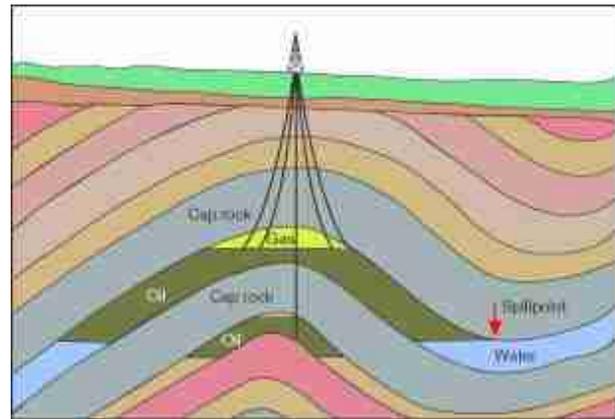


Ruptura da rocha pela injeção de fluido sob pressão

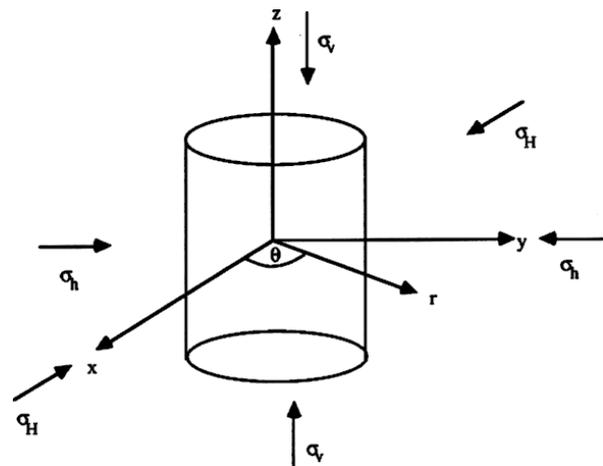
4



ESTIMULAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO



MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES ATUANTES NO MACIÇO ROCHOSO



5



Métodos de estimulação por fraturamento:

- Fraturamento por explosivos (obsoleto já na década de 1960).
- Fraturamento hidráulico.

O fraturamento adicional da camada produtora de petróleo visa ao aumento da permeabilidade da rocha com conseqüente aumento da vazão de petróleo que é retirada do reservatório.

6



BENEFÍCIOS

Estima-se que o uso do fraturamento hidráulico é responsável por um aumento de cerca de 15% na produção mundial de petróleo.

O fraturamento hidráulico pode reduzir em até 4 vezes o número de poços necessários para o desenvolvimento de um campo.

O fraturamento hidráulico é essencial para o desenvolvimento de camadas de baixa permeabilidade, como arenitos com alta cimentação.

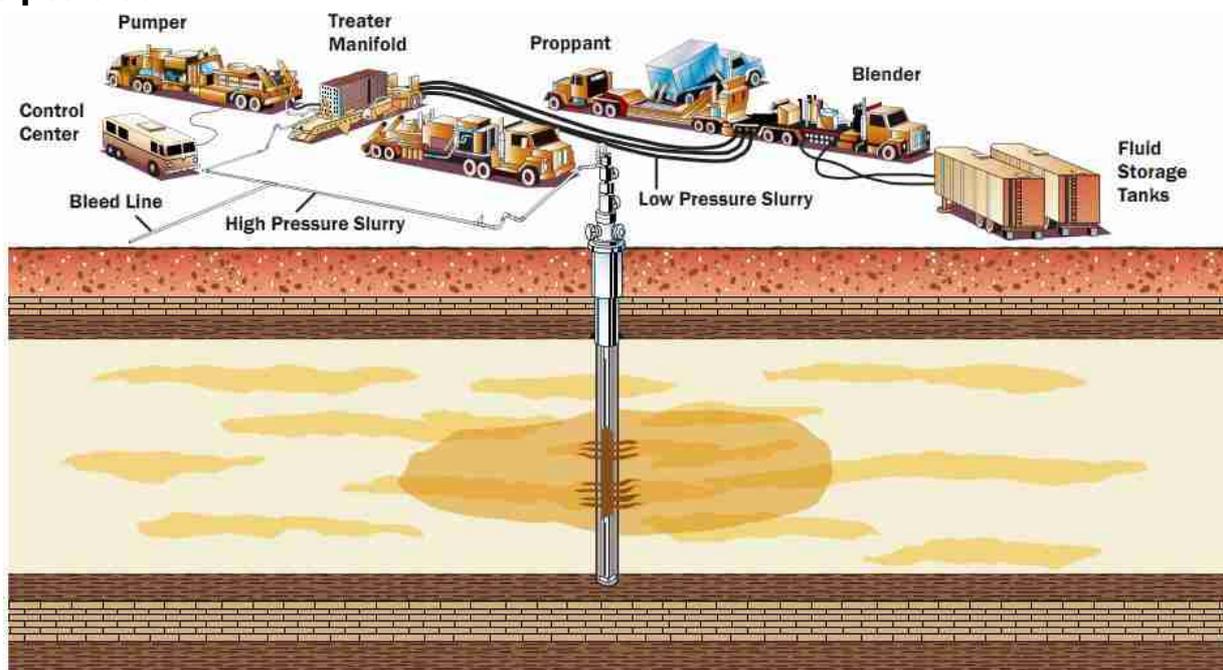
7

F. H. - ESTIMULAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO



No método, água ou um gel viscoso é injetado juntamente com um agente escorante ("proppant"), normalmente areia grossa com grãos arredondados ou outro material semelhante natural ou artificial (por exemplo: grãos cerâmicos).

Em rochas sensíveis à água são utilizados gases, espumas ou líquidos derivados de petróleo.



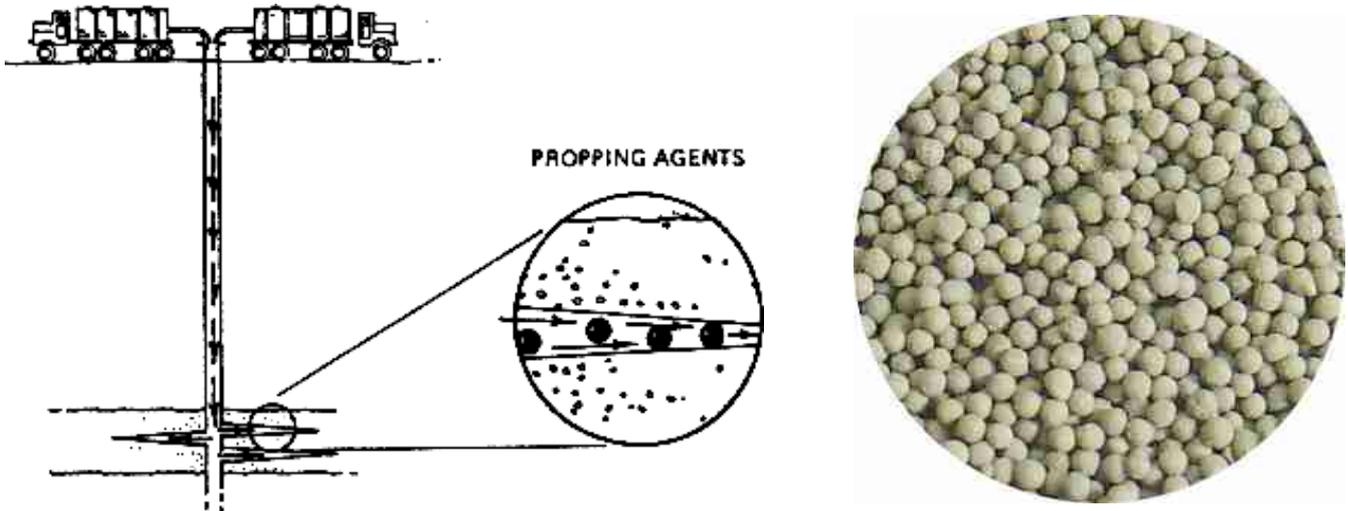
Operação de fraturamento hidráulico

8



O agente escorante tem a função de manter as paredes das fraturas separadas após a abertura da fratura e penetração do fluido.

A seleção do agente escorante mais adequado é função da tensão a que este estará submetido, da permeabilidade da formação, presença de dano na formação etc.



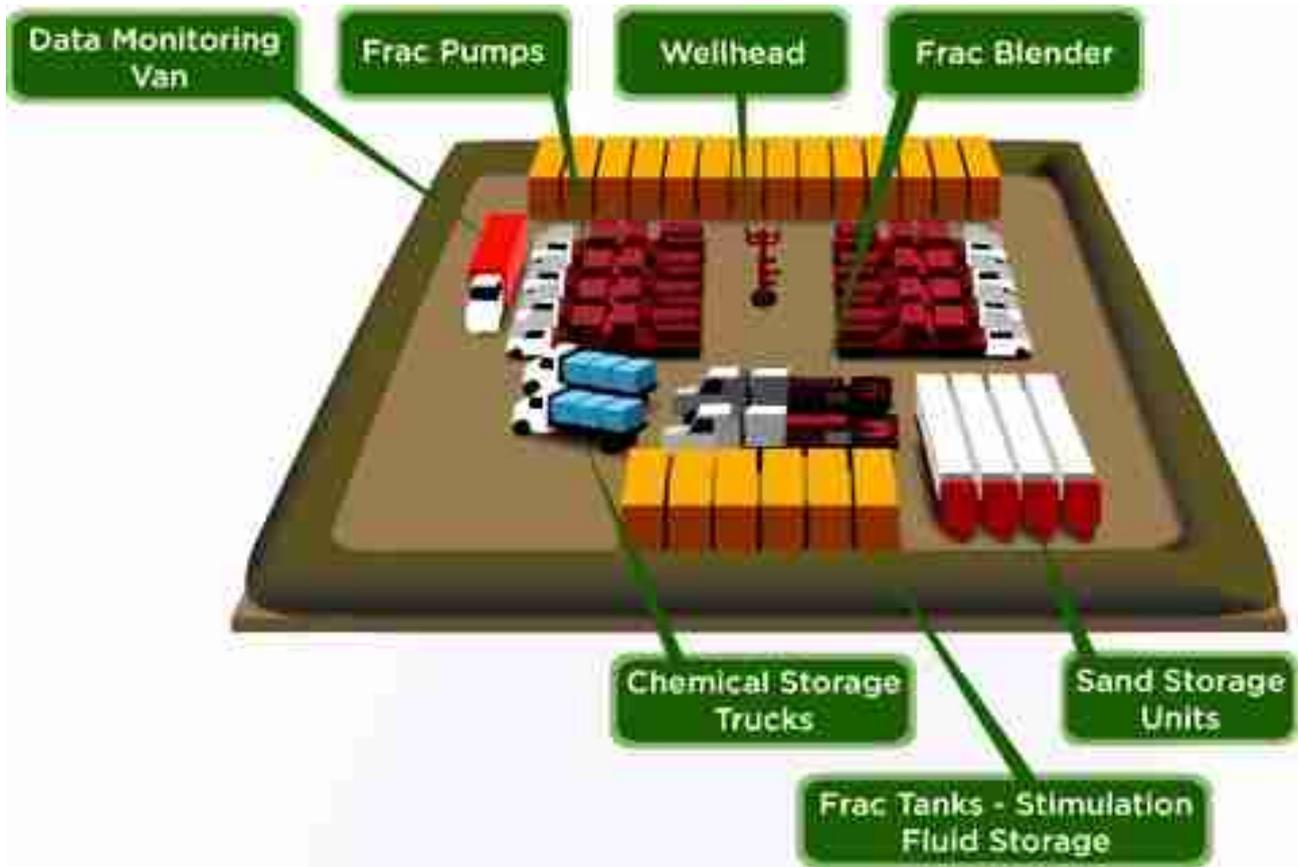
Agente escorante ("proppant")

9

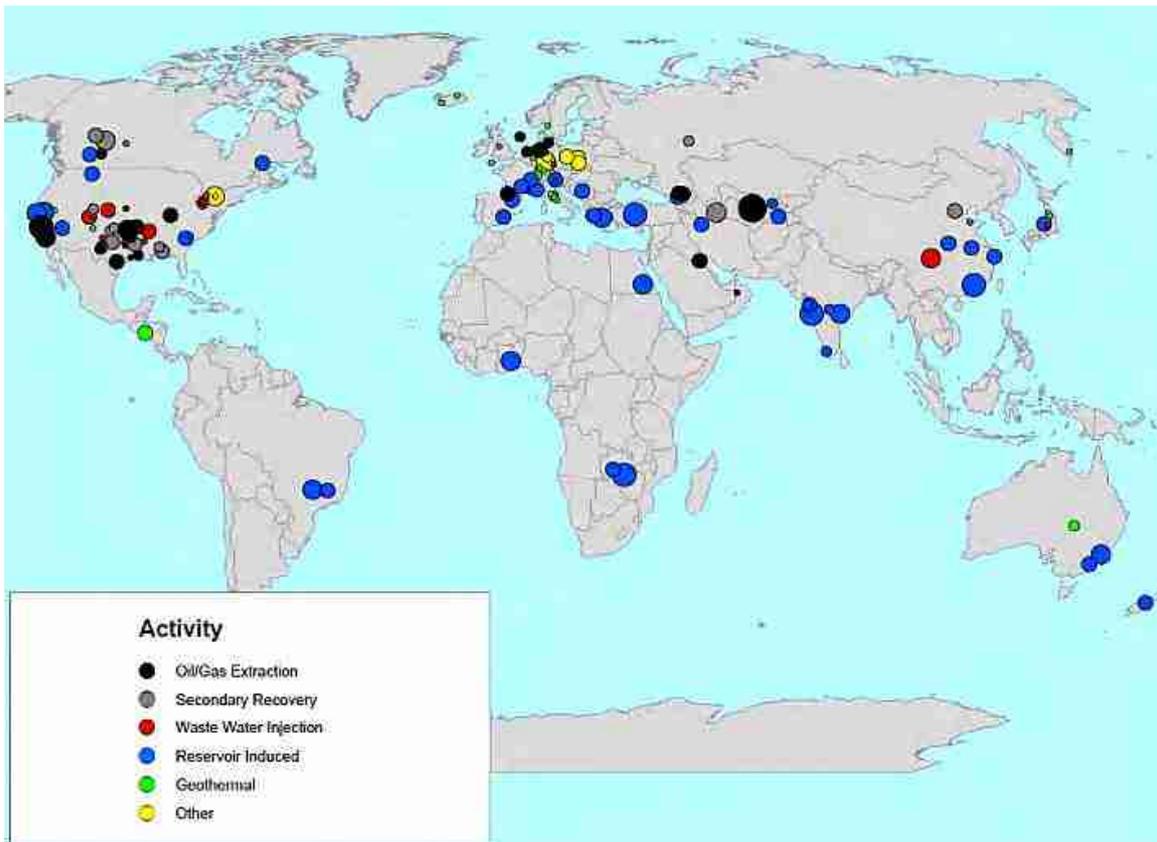


Operação de fraturamento hidráulico

10



Equipamentos em uma operação de fraturamento hidráulico



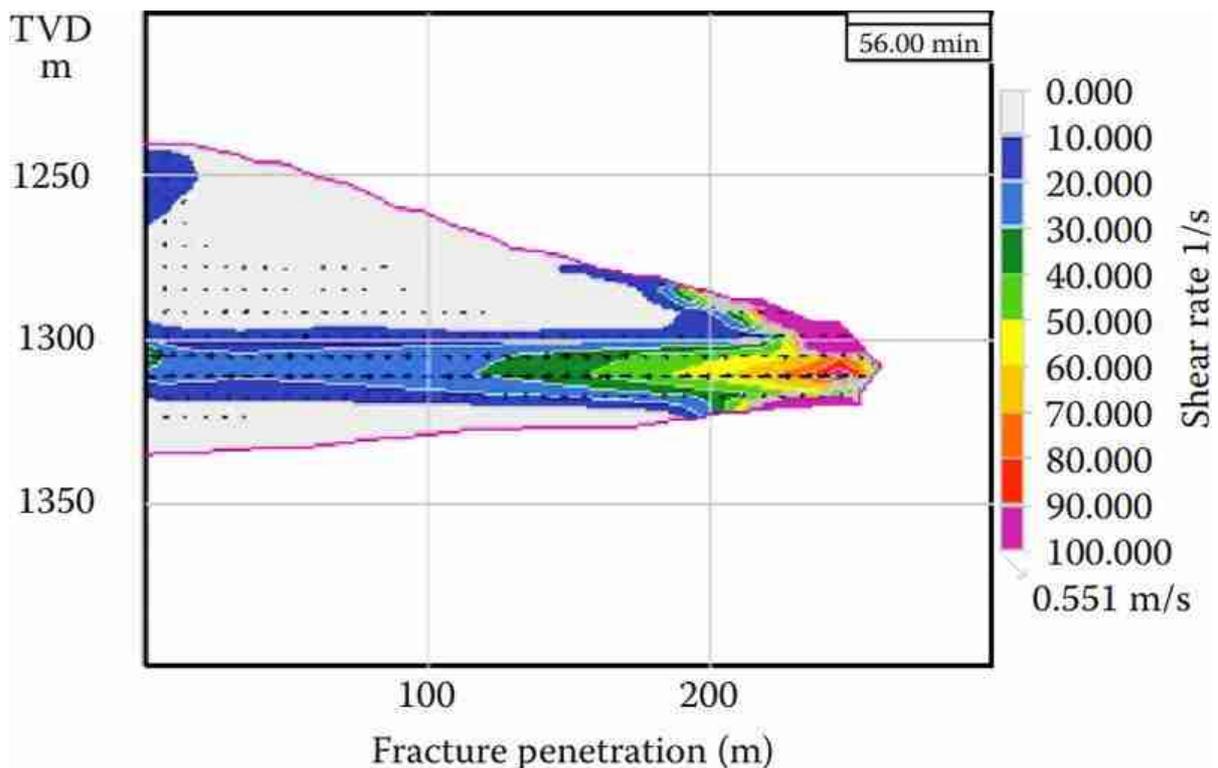
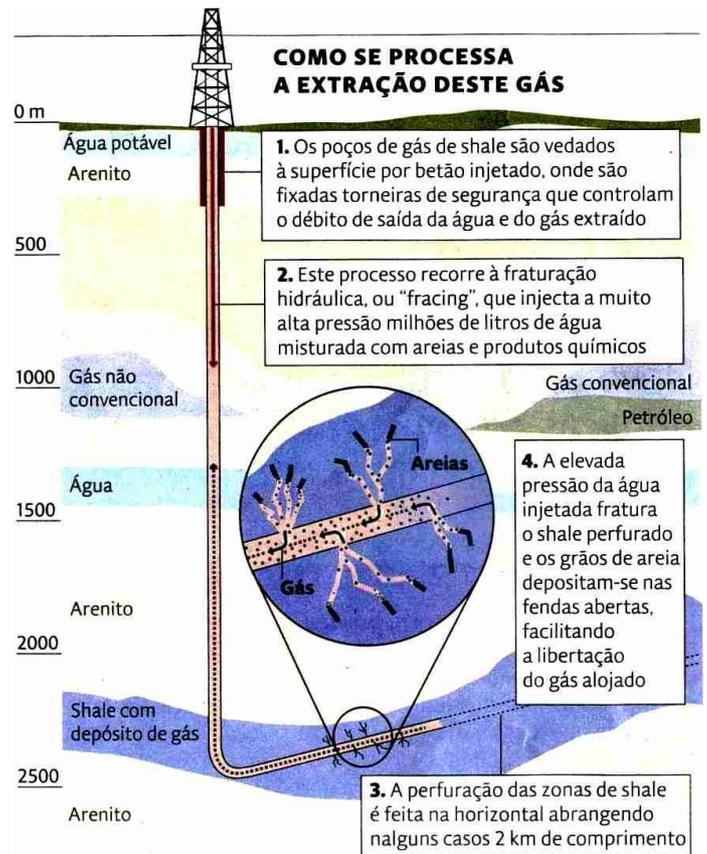
Operações de fraturamento hidráulico pelo mundo



GÁS DE XISTO

O "Gás de Xisto" é o gás natural aprisionado nos minúsculos poros de camadas de folhelhos.

Sua extração é feita utilizando o método de "Fraturamento Hidráulico", onde uma mistura de água, areia e produtos químicos sob pressão é injetada de modo a fraturar a rocha e liberar o gás contido.



Extensão das fraturas e penetração do "propante"



1949:

Desenvolvimento da técnica de fraturamento hidráulico para aumento da produção (estimulação) de poços de petróleo.

Hubbert e Willis (1957):

Estudaram os fenômenos mecânicos envolvidos no processo de fraturamento da rocha sob o enfoque da teoria da elasticidade.

Conclusões:

- **A direção da fratura induzida e a pressão aplicada ao furo estão relacionadas às tensões principais atuantes.**
- **As fraturas são resultado de ruptura por tração das paredes dos furos.**
- **Furos verticais submetidos a estado de tensões gravitacional tendem a apresentar fraturas verticais em ensaios de fraturamento hidráulico.**



Fairhurst (1964):

Defendeu a utilização da técnica de fraturamento hidráulico com um propósito completamente diferente de sua utilização original, a determinação do estado de tensões "in situ".

Década de 1970:

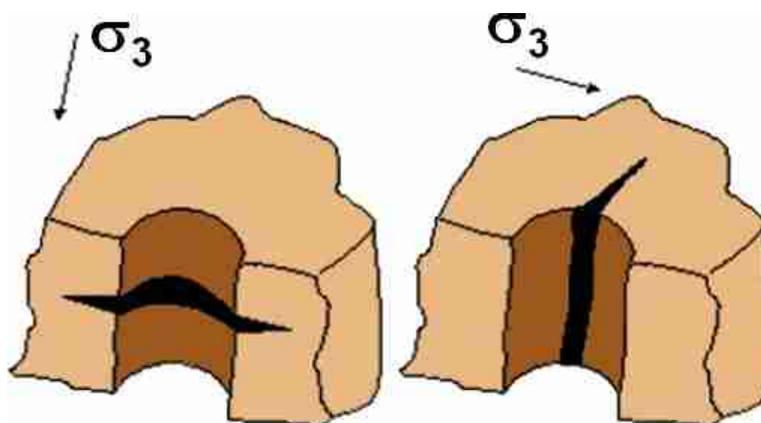
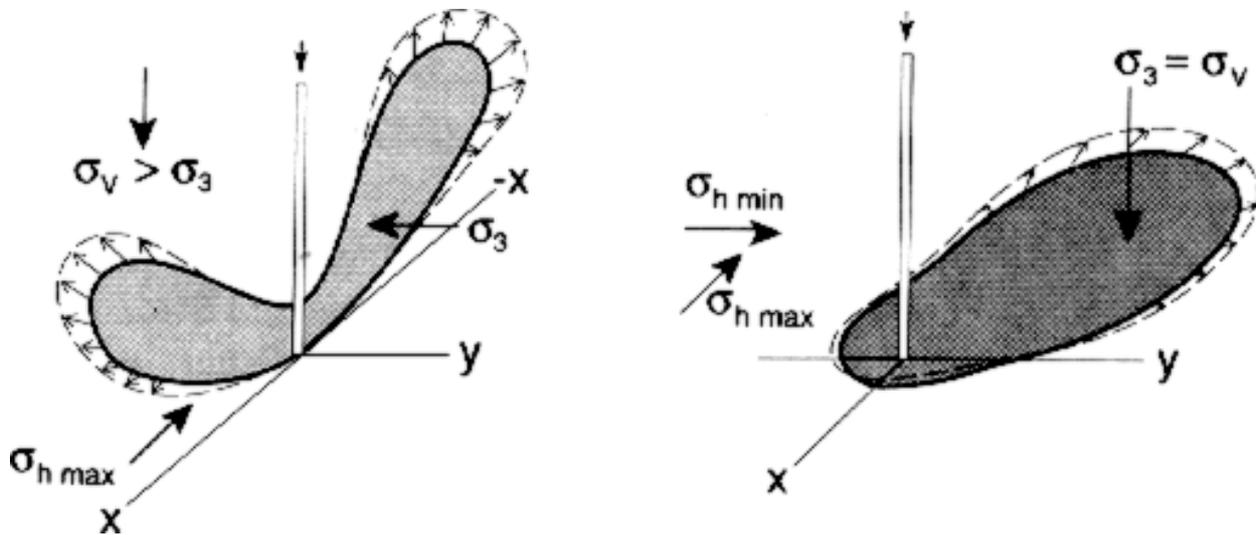
Aplicação da técnica ao projeto de túneis e usinas hidrelétricas.

Década de 1980:

Popularização da técnica na Europa, Ásia e Austrália com a realização de congressos específicos sobre o tema.



As fraturas tendem a se propagar na direção normal à da tensão principal menor, pois é esta a direção que oferece menor resistência.



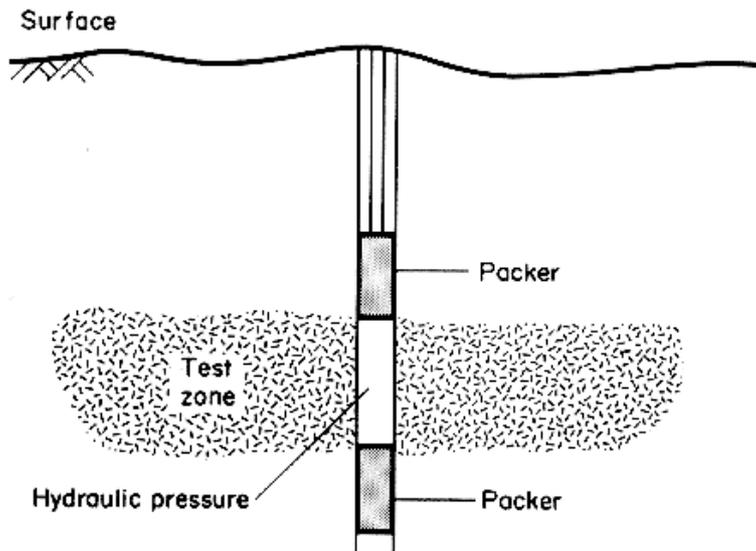
Fraturas geradas na direção normal à σ_3



Hydraulic fracturing

σ_1	0	0
Symm.	σ_2	0
	σ_3	

Principal stresses assumed parallel to axes i.e. plane of the fracture, two determined, say σ_1 and σ_3 , one estimated, say σ_2 .



OBRIGADO!

Contato:
 Prof. Eduardo César Sansone
esansone@usp.br