

ANÁLISE DOS PROCESSOS DE CANHONEIO DA ROCHA RESERVATÓRIO DE POÇOS DE PETRÓLEO, GERAÇÃO DE ONDAS DE DETONAÇÃO E TAXA DE REAÇÃO DE COMBUSTÃO EM HIDROCARBONETOS

Kayk B. Martins¹, Luan N. Vilkevicius², Thiago M. Souza³

¹Instituto Federal do Paraná IFPR - Câmpus Curitiba/Médio Técnico em Petróleo e Gás/kaykbuenomartins@gmail.com

²Instituto Federal do Paraná IFPR- Câmpus Curitiba/Médio Técnico em Petróleo e Gás/luan_nogueira_vilkevicius@hotmail.com

³Instituto Federal do Paraná IFPR - Câmpus Curitiba/Médio Técnico em Petróleo e Gás/thiagomazettodesouza@gmail.com

Resumo: Neste trabalho será feito um estudo dos processos e tipos de canhoneio, especificadamente das suas características, discriminando as vantagens e desvantagens de cada tipo de canhoneio. Concomitantemente serão analisadas as ondas de detonação decorrentes destes processos e a taxa de reação de hidrocarbonetos surgentes da rocha reservatório, por exemplo, a combustão do metano quando entra em contato com o ambiente. A taxa de reação é uma grandeza que expressa a frequência das colisões reativas consideradas na reação química, por unidade de tempo. Diversos fatores devem ser analisados para compreender as influências que as grandezas moleculares exercem na taxa de reação dos gases metano e etano, tais como a massa molecular, o diâmetro molecular, a energia de ativação da reação e principalmente a temperatura. A metodologia utilizada neste trabalho consistirá na realização de revisão bibliográfica, especialmente sobre ondas de detonação, processos e formas de canhoneio e taxa de reação de combustão em hidrocarbonetos como metano e etano, além da realização de simulações computacionais para o comportamento da taxa de reação em função da temperatura e do comportamento da temperatura em função da propagação da onda de detonação. Os resultados obtidos indicam que a temperatura aumenta significativamente a ocorrência de eventos reativos para as reações de combustão estudadas, assim como ocorre aumento da temperatura na zona de reação, onde a onda de detonação se propaga.

Palavras-chave: Taxa de reação. Canhoneio. Ondas de detonação. Petróleo.

1. INTRODUÇÃO

Os primeiros trabalhos que envolvem a área do canhoneio deram-se pelo fato de que os poços estavam cada vez mais profundos, e com isso os fatores que determinavam as condições no fundo do poço estavam sendo cada vez mais complexas. Com isso fez-se necessário realizar o procedimento chamado completação do poço, denominado como um conjunto de operações destinadas a equipar o poço para produzir óleo ou gás (também conhecido como canhoneio), ou ainda, permitir a injeção de fluidos nos reservatórios (KARINA, 2003, P.01). No princípio eram utilizados projéteis reais para fazer a perfuração do poço, e as pesquisas baseavam-se no aprimoramento da penetração da bala no revestimento do poço. Atualmente as pesquisas dão maior ênfase no desenvolvimento de cargas moldadas.

O estudo da taxa de reação em sistemas gasosos tem como fundamento teórico a Teoria Cinética dos Gases. Essa teoria é vista como um aprimoramento das teorias clássicas da termodinâmica. Essas teorias clássicas não compreendiam as propriedades microscópicas do gás, e então que se estudou sob perspectivas microscópicas um gás com características ideais. Um gás ideal segundo KREMER (KREMER, 2003, p.01) é caracterizado pelo mínimo grau de interação intermolecular das partículas, pela densidade uniforme do gás perante todo o recipiente que o contém.

O processo de canhoneio é basicamente um método onde se bombeia uma carga dentro da coluna de perfuração com o intuito de perfurar o revestimento da coluna recém cimentada para que haja o contato da coluna de extração com a rocha reservatório, permitindo assim que possa haver o fluxo de petróleo pela coluna (SILVA, 2007, p. 01). O canhoneio pode ser feito através de vários métodos, porém esse trabalho dará um enfoque especial ao método de canhoneio que usa cargas a bala pois esta utiliza do processo de combustão para o bombeamento da sua carga. A combustão dessas cargas geram dois tipos de ondas, as ondas de deflagração e as ondas de detonação, ambas se diferem de acordo com suas velocidades sendo subsônicas e supersônicas respectivamente(SOARES, p.123).

O objetivo desse trabalho é fazer uma revisão bibliográfica das principais formas de canhoneio, investigar o comportamento das ondas de detonação geradas no processo de canhoneio dos poços de petróleo e analisar as taxas de reação de combustão do metano e etano em função da temperatura, além da influência da propagação da onda de detonação sobre os sistemas sobre a temperatura. Para tais resultados foram usados os softwares *Maple 8* e *Mathematica 5.0* para realizar algumas simulações matemáticas dessas taxas e realizar a análise dos gráficos gerados.

2. CANHONEIO DOS POÇOS DE PETRÓLEO

O canhoneio se baseia em um processo em que perfura-se o revestimento, o cimento e a formação fundamentando-se no emprego de cargas explosivas . Para SILVA (2007 p. 23), um processo efetivo de complementação do poço se dá à medida que se estabelece uma comunicação limpa e efetiva entre o poço e a formação.

Em uma operação de perfuração, é necessário muitas vezes que o poço seja revestido com tubos de aço. Esse revestimento viabiliza o alcance de uma série de objetivos, como possibilitar uma seletividade na produção ou injeção de fluídos para dentro do poço, uniformizar o diâmetro do poço e evitar desmoronamentos. O espaço anular é cimentado para a fixação. De acordo com a pressão gerada no sistema, pode-se dividir o canhoneamento em três grupos: Overbalance, Underbalance e Extreme Overbalance (EOB), conforme explicitado por SILVA (2009, p. 25 a 27).

3. ONDAS DE DETONAÇÃO

Detonação é um processo de combustão supersônica em que a energia liberada na zona inicial de reação propaga-se através do material na forma de uma onda de choque (SOARES, p. 25). Esta onda de choque comprime as moléculas do material, elevando sua temperatura até o ponto de ignição. A detonação difere da deflagração, que se propaga a uma velocidade subsônica e não gera onda de choque ou grandes variações de pressão. Devido às altas pressões desenvolvidas, detonações costumam ser muito mais destrutivas que deflagrações.

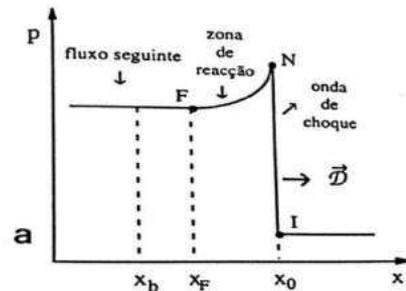
As ondas de detonação são essencialmente um choque alimentado por reações exotérmicas. Trata-se de uma onda que se propaga através de um meio altamente combustível ou quimicamente instáveis, como uma mistura de oxigênio - metano ou um alto explosivo. Uma onda de detonação segue regras ligeiramente diferentes de uma onda de choque normal, uma vez que é conduzido através de reação química que ocorre por trás da frente de onda de choque.

3.1. TEORIA DE ZELDOVICH, VON NEUMANN E DOERING

O modelo ZND afirma que uma onda de choque que se propaga em um gás com caráter explosivo, desencadeia uma série de reações químicas irreversíveis e exotérmica. Nesse modelo é considerado uma detonação que libera uma grande quantidade de energia em forma de calor em uma pequena quantidade de tempo, ou seja um detonação extremamente energética, onde após essa imensa liberação de energia ainda contém energia o suficiente para propagar a onda (SOARES, p. 199).

A detonação pode ser dividida em três momentos, o um momento inicial R1 onde, o gás está em repouso até o ponto I, nesse ponto inicia-se um segundo momento denominado de R2 que é a zona de reação, onde ocorrem as reações químicas, e esse setor se estende até o ponto F onde as reações entram em equilíbrio dinâmico e inicia o setor R3 do gráfico a seguir.

Figura 01 - Divisão dos momentos da onda



Fonte: SOARES, p. 129

A passagem de R1 a R2 (de I a N) é considerado a problema, visto do ponto físico e matemático, da onda de choque e é possível, com justificações físicas e matemáticas, obter as equações conservativas de Euler (SOARES, p. 129).

4. TAXA DE REAÇÃO

A taxa de reação é compreendida como uma grandeza física que representa a ocorrência de eventos reativos por unidade de tempo (SILVA, 2008, p. 42). O estudo no qual se baseiam as propriedades de gases, entre elas a taxa de reação, é a teoria cinética dos gases. Essa teoria descreve a partir das propriedades microscópicas de um gás, as suas propriedades macroscópicas. Um evento reativo ocorre quando uma partícula colide com outra, na qual a natureza dessa colisão é inelástica, ou seja, quando os reagentes estão na fase de complexo ativado (maior nível energético da reação). Portanto, a partir dessa fase, as reações que acontecerem serão reativas, observando-se que na maioria das reações, a taxa de reação aumenta à medida que a temperatura aumenta.

4.1. ENERGIA DE ATIVAÇÃO

Para que uma colisão entre duas moléculas seja reativa, essa deve ter, necessariamente, uma energia pré colisional mínima. Arrhenius expressa essa

relação como sendo o mínimo de energia necessária para que haja a conversão de reagentes em produtos, e quando abordado sistemas reversíveis, a conversão de produtos em reagentes também.

$$k = Ae^{\frac{-Ea}{RT}}$$

Onde A é a constante pré-exponencial, R é a constante universal dos gases, T é a temperatura (em Kelvin), k é o coeficiente da taxa de reação e Ea descreve a energia de ativação. Outra característica importante para determinação da energia de ativação, direta ou reversa, é o calor de reação de cada componente envolvido na reação. A energia de ativação também pode ser expressa pela diferença dos calores de reação dos produtos pelos reagentes. Visto isso, caso essa soma seja maior do que zero ($E > 0$) a reação é considerada como endotérmica. Caso seja menor do que zero ($E < 0$) a reação é considerada como exotérmica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 02 encontram-se os dados para os gases metano e etano, os quais foram utilizados para calcular a taxa de reação nas reações de combustão para os dois gases. Para fins de estudo e comparação, a energia de ativação da combustão do metano é a mesma do gás etano. Segue abaixo, sendo respectivamente mostradas as reações de combustão do metano e etano.

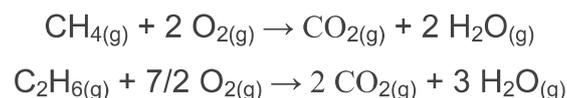


Tabela 02: Dados para as reações de combustão do metano e etano

	Metano	Etano
Massa molecular	16,04 g/mol	30,07 g/mol
Diâmetro molecular	3,8 A	5,30 A
Energia de ativação	$2,3 \times 10^5$ J/mol	$2,3 \times 10^5$ J/mol

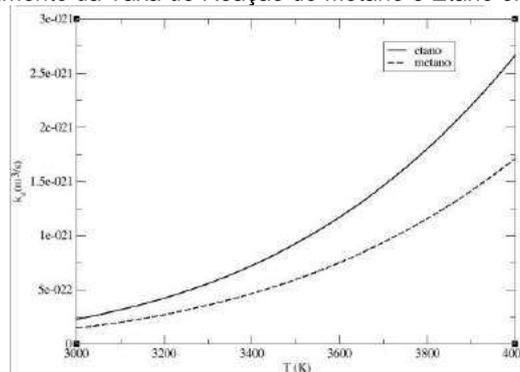
Fonte: próprios autores

O comportamento da taxa de reação em função da temperatura é visível nos gráficos apresentados acima. O aumento da temperatura acarreta no aumento da energia cinética do sistema, e quando essa energia é superior à energia de ativação, as colisões tornam-se efetivas. A partir da formação do complexo ativado,

a temperatura aumenta significativamente o valor da taxa de reação. Portanto, uma maior temperatura leva a um aumento da taxa de reação química, sendo que para o etano a taxa de reação é maior do que para o metano, uma vez que o diâmetro molecular do etano é maior do que o do metano.

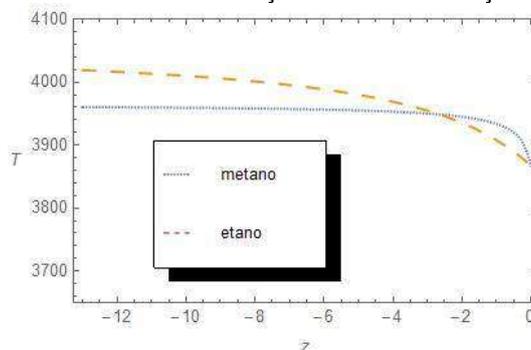
Quanto à propagação da onda de detonação, percebe-se que na zona de reação, a temperatura aumenta. Este comportamento decorre do fato da reação ser exotérmica, isto é, com liberação de calor e consequentemente, esta energia é utilizada para alimentar a onda gerada.

Figura 02: Comportamento da Taxa de Reação do Metano e Etano em função da temperatura



Fonte: Próprios autores.

Figura 03: Comportamento da Onda Detonação na Zona de Reação do Metano e do Etano



Fonte: Próprios autores.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos diversos estudos os quais abordam o processo de canhoneio, foi constatado que, inevitavelmente, existe o surgimento de uma região da rocha danificada ao redor do canhoneado, cuja permeabilidade pode ser reduzida significativamente em relação à rocha virgem devido à compactação e o fraturamento dos grãos. Assim acaba tornando a permeabilidade do dano do canhoneio responsável por uma redução na produtividade do poço e o controle deste processo é fundamental para otimização da exploração do poço.

Em operações de canhoneio quando há a explosão de uma carga, é perceptível que conforme a temperatura do sistema aumenta, a velocidade dos eventos reativos também aumenta. Tendo em vista o estudo de sistemas gasosos, quando se faz a comparação entre as taxas de reação entre o gás metano e etano, observa-se que a molécula cujo diâmetro molecular é maior, o gás etano, apresenta maior valor para a taxa de reação em função da temperatura. Embora o etano seja mais massivo do que o metano, essa influência não compensou a diferença do diâmetro molecular de uma molécula para outra.

Por sua vez, é típico ocorrer a formação e propagação das ondas de detonação, que são desencadeadas pelas reações exotérmicas citadas no trabalho. À medida que esta onda se desloca na mistura gasosa dentro do poço, o calor liberado nas reações tende a aumentar e este comportamento está relacionado à combustão das moléculas de etano e metano presentes na mistura.

O estudo da taxa de reação e propagação de ondas de detonação em gases presentes nos campos de petróleo é fundamental para o controle da operação, exploração e produção de hidrocarbonetos em poços de petróleo.

7 REFERÊNCIAS

- KREMER, G.M. **Uma Introdução à Equação de Boltzmann**. São Paulo: EDUSP, 2005.
- SILVA, K.F. **Simulação Numérica Pelo Método dos Elementos Finitos em Procedimentos de Canhoneio em Poços de Petróleo**. Dissertação. Rio de Janeiro - RJ, 2007;
- SOARES J.A., Universidade do Minho departamento de matemática “**Teoria Cinética Discreta de Gases Quimicamente Activos. Ondas de Detonação**”, 1997.
- SILVA, A.W. **Fenômenos de Transporte, Propagação de Ondas Sonoras e Espalhamento da Luz em Sistemas Gasosos Binários Densos Reativos e Colisões Reativas Inelásticas em Sistemas Gasosos Binários Rarefeitos**, 2008. 112 f. Tese (Doutorado em Física)-Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, 2008.