

PROCESSO SELETIVO N° 06/2023

Área de Conhecimento: Engenharia de Petróleo

PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

Questão 1: A Engenharia de Petróleo é um ramo de engenharia que se concentra no estudo e aplicação de conhecimentos técnicos necessários para explorar e produzir óleo e gás. Desde a descoberta das reservas de petróleo e gás natural até alcançar o processamento primário desses fluidos são realizadas as atividades do segmento *upstream* (E&P). Descreva as atividades de E&P de maneira a destacar as relações entre elas no contexto de desenvolvimento de um campo de petróleo marítimo.

Solução: O desenvolvimento de um campo de petróleo marítimo é uma tarefa multidisciplinar que envolve especialistas de diversas atividades da engenharia de petróleo. Inicia-se com o levantamento sísmico do bloco exploratório adquirido pela empresa operadora cuja finalidade é identificar as áreas mais prováveis de conter as acumulações de petróleo. Os dados sísmicos coletados são tratados e avaliados pelos especialistas de geofísica, geologia e geoprocessamento. As atividades de “geo” interagem entre elas para extrair informações relevantes, tais como, profundidade da rocha reservatório, localizações e características das litologias. O conhecimento gerado a partir dessas atividades é essencial para a elaboração do projeto de perfuração do poço exploratório. Neste ponto, a equipe de perfuração projeta e executa a construção do poço exploratório do campo o qual fornecerá dados reais para a geologia, através da obtenção de testemunhos das rochas, além de permitir obter amostras de fluidos do meio poroso uma vez que se alcança a rocha reservatório. Nesta etapa, a equipe de engenharia de reservatório também participa da operação para a realização e análise das operações de avaliação do poço, como por exemplo, a realização de análises petrofísica de testemunhos para determinar a porosidade e permeabilidade, testes de build-up e draw-down para identificar as dimensões físicas e capacidade de fluxo do meio poroso. Ao final desse processo, a equipe de engenharia de reservatório determina a viabilidade técnica-econômica do reservatório para produção. Portanto, esse sendo deferido como viável, a equipe de completação com interface com o time

de elevação e escoamento, equipa o poço para produção. A equipe de elevação definirá o método de elevação artificial mais eficiente diante das características do fluido, do reservatório e do sistema de produção submarino considerando uma projeção de produção de no mínimo 25 anos para o campo. A equipe de produção, projetará o arranjo submarino capaz de escoar o fluido desde a Árvore de Natal Molhada até a Unidade Estacionária de Produção (UEP). Esta etapa envolve a definição de linhas de produção (flowline e riser), equipamentos submarinos (manifolds, jumpers, umbilicais, etc.) e todos os sistemas auxiliares necessários para a operação. Ressalta-se que as atividades de elevação e escoamento precisam considerar os aspectos de garantia de escoamento que estão associados as características do fluido e as condições de pressão e temperatura. O sistema de produção também faz interface com a definição da UEP e da planta de processamento projetada para a separação dos fluidos produzidos e, posteriormente, o tratamento das correntes individuais para atender as especificações da ANP para cada fluido. Portanto, as atividades de E&P estão interrelacionadas de maneira que cada grupo de especialista contribui com suas expertises para o desenvolvimento de um campo marítimo.

Questão 2: Todo os equipamentos de uma sonda rotativa responsáveis por determinada função na perfuração de um poço são agrupados nos chamados “sistemas” de uma sonda. Disserte sobre os seguintes sistemas: de sustentação de cargas, de movimentação de carga, de rotação e de circulação.

Solução:

- a) Sistema de sustentação de cargas:

Constituído do mastro ou torre, da subestrutura e da base ou fundação. A carga correspondente ao peso da coluna de perfuração ou revestimento que está no poço é transferida para o mastro ou torre, que, por sua vez, a descarrega para a subestrutura e esta para a fundação ou base.

Torre ou mastro: estrutura de aço, de forma piramidal, de modo a prover um espaçamento vertical livre acima da plataforma de trabalho para permitir a execução das manobras.

Subestruturas: constituída de vigas de aço especial montadas sobre a fundação ou base da sonda, de modo a criar um espaço de trabalho sob a plataforma, onde são instalados os equipamentos de segurança do poço.

Fundações: são estruturas rígidas construídas em concreto, aço ou madeira que, apoiadas sobre solo resistente, suportam com segurança as deflexões, vibrações e deslocamentos provocados pela sonda.

b) Sistema de movimentação de carga:

Tem a função de realizar a movimentação das colunas de revestimento, de perfuração e outros equipamentos para dentro e para fora no poço. Ele possui uma série de componentes, onde os principais são: guincho, bloco de coroamento, catarina, cabo de perfuração, gancho e elevador.

Guincho: O guincho de perfuração é formado por um tambor principal de grande diâmetro que fica próximo à área de perfuração. É um equipamento pesado composto também por um tambor auxiliar ou de limpeza, freios, molinetes e embreagens. Para realizar a movimentação de cargas dentro do poço, este utiliza energia mecânica, sendo sua função enrolar e desenrolar o cabo de perfuração de forma contínua.

Bloco de coroamento: É um conjunto estacionário de 4 a 7 polias montadas em linhas num eixo suportado por dois mancais de deslizamento, localizado da parte superior do mastro ou torre. O bloco suporta todas as cargas que lhe são transmitidas pelo cabo de perfuração.

Catarina: É um conjunto composto por 3 a 6 polias, as quais são móveis e montadas em um eixo que tem apoio nas paredes externas da estrutura da catarina. Esta fica erguida pelo cabo de perfuração que passa de forma alternada pelas suas polias e pelas do bloco de coroamento. A catarina fica presa ao gancho por uma alça localizada na parte inferior. Desta forma, ela não fica fixada a torre, realizando os movimentos de subida ou descida dos equipamentos no poço de petróleo.

Cabo de Perfuração: É um cabo de aço trançado, onde cada trança é composta por diversos fios de aço, os quais possuem diâmetro reduzido. O cabo proveniente do carretel é passado e fixado em uma âncora, que está situada próxima a torre, onde se

localiza um sensor que é usado para fazer medições de tensão no cabo. Isto está relacionado ao peso final que é sustentado pelo guincho.

Elevador: Utilizado para movimentar elementos tubulares (tubos de perfuração e comandos).

c) Sistema de rotação:

O sistema convencional é composto por equipamentos que realizam a rotação da coluna de perfuração, são eles: mesa rotativa, kelly e swivel. Nas sondas equipadas com top drive, a rotação é transmitida através de um motor de forma direta ao topo da coluna de perfuração. Existe também a opção da perfuração utilizando um motor de fundo, que é colocado acima da broca. O torque necessário é gerado pela passagem do fluido de perfuração no seu interior.

Mesa rotativa: transmite rotação à coluna de perfuração e permite o livre deslizamento do kelly em seu interior. Por vezes, deve suportar o peso da coluna de perfuração.

Kelly: é a primeira seção de tubo abaixo do swivel. Transmite a rotação proveniente da mesa rotativo à coluna de perfuração.

Swivel: suporta o peso da coluna de perfuração e permite a rotação. Separa os elementos rotativos dos estacionários na sonda de perfuração. Através do swivel é injetado o fluido de perfuração na coluna de perfuração.

Top drive: motor conectado no topo da coluna em que elimina a necessidade de uso da mesa rotativa e do kelly. Permite perfurar o poço de 3 em 3 tubos. Permite também que a retirada ou descida da coluna seja feita tanto com rotação como com circulação de fluido de perfuração pelo seu interior.

Motor de fundo: Motor posicionado acima da broca. O giro só se dá na parte inferior do motor de fundo, solidário à broca. Utilizado em perfuração de poços direcionais.

d) Sistema de circulação:

Esse sistema tem como função promover a circulação do fluido de perfuração e seu o tratamento. O fluido é bombeado por dentro da coluna de perfuração até a broca

e volta para a superfície pelo espaço anular, carreando com ele os detritos gerados pela ação da broca. Após o seu tratamento, o fluido fica armazenado em tanques, sendo os cascalhos removidos úteis para os geólogos coletarem informações e dados sobre o reservatório. Composto de três fases:

1. **Fase de injeção:** O fluido de perfuração é bombeado dos tanques para dentro da coluna de perfuração através das bombas de lama e chega ao anular entre a coluna e as paredes do poço ou revestimento por meios dos jatos da broca. Durante a perfuração, alguns parâmetros, como pressões de bombeio e vazões, variam com a profundidade e geometria do poço e devem ser observados e ajustados pelo sondador para que a perfuração seja bem-sucedida.

2. **Fase de retorno:** tem-se início com a saída do fluido de perfuração nos jatos da broca e termina ao chegar na peneira vibratória, percorrendo o espaço anular entre a coluna de perfuração e a parede do poço ou o revestimento.

3. **Fase de tratamento:** consiste na eliminação de sólidos ou gás que se incorporam ao fluido de perfuração durante a perfuração e, quando necessário, na adição de produtos químicos para ajustes de suas propriedades. A peneira vibratória tem a função de separar os sólidos mais grosseiros do fluido. Após, o fluido passa por um conjunto de hidrociclones (desareidores) que retiram a areia do fluido. O dessiltador descarta partículas de dimensões equivalentes ao silte. O mud cleaner é um dessiltador com uma peneira que permite recuperar partículas. Parte do material é descartado e parte retorna ao fluido, de forma a reduzir gastos com aditivos. Também pode ser usada uma centrífuga, que retira partículas ainda menores. O desgaseificador elimina o gás do fluido.

Questão 3: Na indústria de petróleo é comum utilizar a equação da perda de carga na forma de gradiente de pressão, ou na forma diferencial visto que em geral o gradiente varia em cada seção do escoamento. Desta forma, mostre o desenvolvimento da equação geral da perda de carga na forma diferencial (Equação 1) utilizando as equações da conservação de massa e quantidade de movimento e explique o significado físico de cada termo da Equação 1.

$$\frac{dP}{dL} = f_D \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2 \cdot d} + \rho \cdot g \cdot \text{sen}\theta + \rho \cdot v \cdot \frac{dv}{dL} \quad (1)$$

Solução:

Considere o escoamento no trecho diferencial de tubulação $[dL]$ _i_ mostrado na Figura 1.

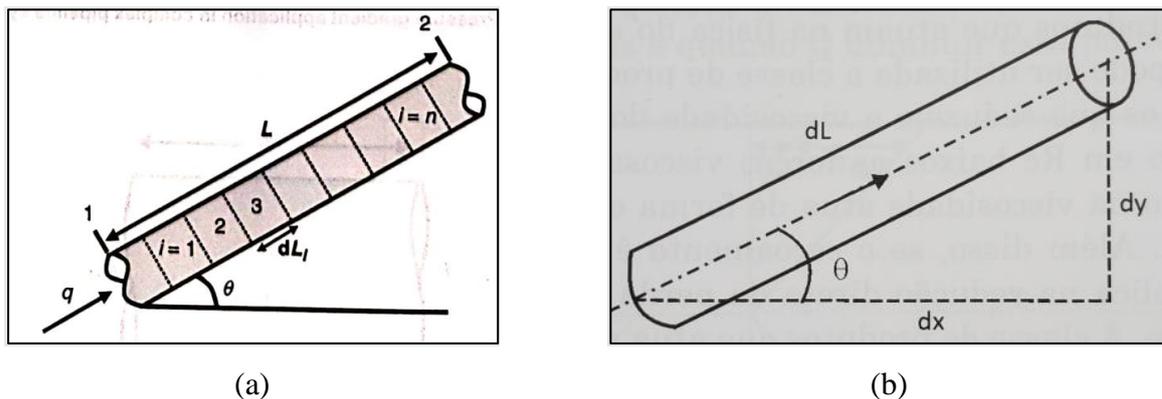


Figura 1 – (a) Esquema de discretização da tubulação para análise diferencial no elemento dL_i . (b) Trecho diferencial de tubulação.

Pode-se escrever para o volume de controle da seção dL_i a equação da conservação da massa e da quantidade de movimento.

A conservação de massa significa que para um dado volume de controle tal como um segmento de tubulação, a massa que entra menos a massa que sai deve ser igual à massa acumulada no trecho dL_i . Matematicamente, a equação da conservação de massa na forma diferencial resulta em:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot v)}{\partial L} = 0 \quad (1)$$

A equação de momento linear com base na Figura (b) e aplicando-se a segunda Lei de Newton para o escoamento no elemento dL pode ser anunciada como: a variação de momento da saída menos a variação de momento de entrada mais a variação de momento acumulada no trecho deve ser igual à soma das forças que agem sobre o fluido.

Considerando apenas as forças de pressão, gravitacionais, aceleração e de cisalhamento resulta na Equação (2).

$$\frac{\partial(\rho \cdot v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot v^2)}{\partial L} = -\frac{\partial P}{\partial t} - \frac{\tau_w \cdot S_p}{A_p} - \rho \cdot g \cdot \sin \theta \quad (2)$$

Ainda considerando escoamento em regime permanente pode-se escrever a Equação (3).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial(\rho \cdot v)}{\partial t} = 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

Também o termo $\frac{\partial(\rho \cdot v^2)}{\partial L}$ pode ser escrito como $\frac{\partial(\rho v \cdot v)}{\partial L}$ e com base na regra da cadeia de diferenciação pode-se escrever:

$$\frac{\partial(\rho \cdot v^2)}{\partial L} = \frac{\partial(\rho v \cdot v)}{\partial L} = v \cdot \frac{\partial(\rho v)}{\partial L} + \rho v \cdot \frac{\partial v}{\partial L} \quad (4)$$

Considerando as Equações (1) e (3), pode-se escrever:

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial L} = 0 \quad (5)$$

Substituindo esse resultado na Equação (4) resulta em:

$$\frac{\partial(\rho \cdot v^2)}{\partial L} = \rho v \cdot \frac{\partial v}{\partial L} \quad (6)$$

Com base nas Equações (2), (3) e (6), obtém-se a Equação (7).

$$\rho v \cdot \frac{\partial v}{\partial L} = -\frac{\partial P}{\partial t} - \frac{\tau_w \cdot S_p}{A_p} - \rho \cdot g \cdot \sin \theta \quad (7)$$

Considerando escoamento unidimensional e rearranjando os termos da Equação (7) obtém-se uma expressão para o gradiente de pressão total no segmento dL :

$$\frac{dP}{dL} = -\frac{\tau_w \cdot S_p}{A_p} - \rho \cdot g \cdot \sin \theta - \rho \cdot v \cdot \frac{dv}{dL} \quad (8)$$

A Equação (8) é chamada de equação de balanço de energia mecânica e é oriunda da aplicação da conservação da massa e da quantidade de movimento para o escoamento permanente em tubulação.

Cada termo da Equação (8) pode ser expresso na forma de parcelas de gradientes de pressão conforme mostra a Equação (9).

$$\left(\frac{dP}{dL}\right)_{Total} = -\left(\frac{dP}{dL}\right)_F - \left(\frac{dP}{dL}\right)_G - \left(\frac{dP}{dL}\right)_A \quad (9)$$

O gradiente de pressão por fricção, $\left(\frac{dP}{dL}\right)_F$, em Pa/m, é calculado de:

$$-\left(\frac{dP}{dL}\right)_F = \frac{\tau_w \cdot S_p}{A_p} \quad (10)$$

em que a tensão de cisalhamento na parede da tubulação (τ_w) é definida em função do fator de fricção de Darcy (f_D), da densidade (ρ) e velocidade (v) do fluido escoando, como mostra a Equação (11).

$$\tau_w = \frac{f_D \cdot \rho \cdot v^2}{8} \quad (11)$$

A área da seção transversal (A_p) e o perímetro molhado (S_p) são expressos pelas Equações:

$$A_p = \frac{\pi \cdot d_h^2}{4} \quad (12)$$

$$S_p = \pi \cdot d_h \quad (13)$$

Então, usando essas equações obtém-se a expressão final do gradiente de pressão por fricção mostrado na Equação (14).

$$-\left(\frac{dP}{dL}\right)_F = f_D \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2 \cdot d_h} \quad (14)$$

O gradiente de pressão gravitacional é dado por:

$$-\left(\frac{dP}{dL}\right)_G = \rho \cdot g \cdot \sin \theta \quad (15)$$

em que g é aceleração da gravidade constante, $9,81 \text{ m/s}^2$ e θ é o ângulo de inclinação da tubulação em relação à posição horizontal.

O gradiente de pressão por aceleração é definido:

$$-\left(\frac{dP}{dL}\right)_A = \rho \cdot v \cdot \frac{dv}{dL} \quad (16)$$

em que $\frac{dv}{dL}$ é o diferencial da velocidade em relação ao comprimento do segmento de tubulação, s^{-1} .

Portanto, substituindo as expressões finais de cada termo de gradiente de pressão na Equação (9) obtém-se a Equação Geral de Perda de Carga (EGPC) representada pela Equação (17).

$$\left(\frac{dP}{dL}\right)_{Total} = -f_D \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2 \cdot d_h} - \rho \cdot g \cdot \sin \theta - \rho \cdot v \cdot \frac{dv}{dL} \quad (17)$$

Nota-se na Equação (17) que para um elemento dL da tubulação têm-se uma perda de carga dP correspondente em função de um conjunto de variáveis e propriedades. A aplicação da EGPC considera valores médios das propriedades do fluido representativos para o segmento em análise. Isto implica que cada trecho dL da tubulação possui uma pressão e temperatura média.

Analisando a contribuição individual de cada termo do lado direito da Equação (17) sabe-se que:

O primeiro termo representa o gradiente de pressão por fricção e está associado as resistências de escoamento associadas ao atrito entre as camadas de fluidos bem como o contato desse fluido com a parede interna da tubulação.

O segundo termo consiste no efeito da aceleração gravitacional sobre o fluido escoando em uma tubulação. Para escoamento ascendente o gradiente gravitacional remove energia na forma de pressão do fluido enquanto para escoamento descendente ele é favorável adicionando energia ao fluido.

Por fim, o gradiente de pressão por aceleração está associado principalmente a variação da velocidade do fluido que geralmente ocorre devido a mudança de área de seção transversal ao longo da tubulação.

Questão 4: Usando as definições de variáveis do escoamento gás-líquido mostre que:

$$\rho_M = \rho_{NS} + \rho \cdot J_G$$

em que ρ_M é a massa específica da mistura, ρ_{NS} é a massa específica da mistura sem escorregamento, a variável ρ deverá ser deduzida ao longo da dedução e J_G é o fluxo de deslizamento do gás.

Solução: Para Fluxos de deslizamento, sabe-se que:

$$J_G = \alpha (v_G - v_M) = v_{SG} - (\alpha \cdot v_M) \quad (1)$$

$$J_L = (1 - \alpha) (v_L - v_M) = v_{SL} - (1 - \alpha) v_M \quad (2)$$

De (1):

$$v_{SG} = \alpha \cdot v_M + J_G \quad (3)$$

De (2):

$$v_{SL} = (1 - \alpha) \cdot v_M + J_L \quad (4)$$

A partir de (3):

$$\alpha = \frac{v_{SG}}{v_M} - \frac{J_G}{v_M} \quad (5)$$

A partir de (4):

$$(1 - \alpha) = \frac{v_{SL}}{v_M} - \frac{J_L}{v_M}$$

Sabe-se que $J_L = -J_G$

$$(1 - \alpha) = \frac{v_{SL}}{v_M} + \frac{J_G}{v_M} \quad (6)$$

$$\rho_M = (1 - \alpha) \rho_L + \alpha \rho_G$$

$$\rho_M = \left(\frac{v_{SL}}{v_M} + \frac{J_G}{v_M} \right) \rho_L + \left(\frac{v_{SG}}{v_M} - \frac{J_G}{v_M} \right) \rho_G$$

$$\rho_M = \frac{v_{SL}}{v_M} \rho_L + \frac{J_G}{v_M} \rho_L + \frac{v_{SG}}{v_M} \rho_G - \frac{J_G}{v_M} \rho_G$$

$$\rho_M = \frac{v_{SL}}{v_M} \rho_L + \frac{v_{SG}}{v_M} \rho_G + (\rho_L - \rho_G) \frac{J_G}{v_M}$$

$$\rho_{NS} = \rho_{homog\acute{e}neo} = \frac{v_{SL}}{v_M} \rho_L + \frac{v_{SG}}{v_M} \rho_G = \lambda_L \rho_L + (1 - \lambda_L) \rho_G$$

$$\rho_M = \rho_{NS} + (\rho_L - \rho_G) \frac{J_G}{v_M}$$

Definindo $\rho = \frac{(\rho_L - \rho_G)}{v_M}$

$$\rho_M = \rho_{NS} + \rho \cdot J_G$$

Membros da Banca

Prof. Dr. Antonio Marinho Barbosa Neto

Profa. Me. Michele Schmitt

Prof. Dr. Gustavo Gondran Ribeiro
Presidente (nome e assinatura)



Assinaturas do documento



Código para verificação: **271SFAM8**

Este documento foi assinado digitalmente pelos seguintes signatários nas datas indicadas:



GUSTAVO GONDRAN RIBEIRO (CPF: 001.XXX.610-XX) em 20/11/2023 às 17:13:29

Emitido por: "SGP-e", emitido em 13/03/2023 - 18:18:22 e válido até 13/03/2123 - 18:18:22.

(Assinatura do sistema)



ANTONIO MARINHO BARBOSA NETO (CPF: 842.XXX.295-XX) em 20/11/2023 às 17:23:24

Emitido por: "SGP-e", emitido em 29/03/2019 - 14:25:14 e válido até 29/03/2119 - 14:25:14.

(Assinatura do sistema)



MICHELE SCHMITT (CPF: 025.XXX.350-XX) em 20/11/2023 às 17:26:56

Emitido por: "SGP-e", emitido em 29/04/2019 - 15:59:05 e válido até 29/04/2119 - 15:59:05.

(Assinatura do sistema)

Para verificar a autenticidade desta cópia, acesse o link <https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo/conferencia-documento/VURFU0NfMTIwMjJfMDAwNTI0ODFfNTI1MzFfMjAyM18yNzFTRkFNZA==> ou o site <https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo> e informe o processo **UDESC 00052481/2023** e o código **271SFAM8** ou aponte a câmera para o QR Code presente nesta página para realizar a conferência.