

MARINHA DO BRASIL  
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA

PROCESSO SELETIVO PARA INGRESSO NO CORPO DE ENGENHEIROS DA MARINHA  
(PS-EngNav/2010)

ENGENHARIA QUÍMICA

1ª PARTE  
INSTRUÇÕES GERAIS

- 1- A duração da prova será de 04 horas e não será prorrogada. Ao término da prova, entregue o caderno ao Fiscal, sem desgrampear nenhuma folha;
- 2- Responda as questões utilizando caneta esferográfica azul ou preta. Não serão consideradas respostas e desenvolvimento da questão a lápis. Confira o número de páginas de cada parte da prova;
- 3- Só comece a responder a prova ao ser dada a ordem para iniciá-la, interrompendo a sua execução no momento em que for determinado;
- 4- O candidato deverá preencher os campos:  
- PROCESSO SELETIVO/CONCURSO; NOME DO CANDIDATO; NÚMERO DA INSCRIÇÃO e DV;
- 5- Iniciada a prova, não haverá mais esclarecimentos. O candidato somente poderá deixar o seu lugar, devidamente autorizado pelo Supervisor/Fiscal, para se retirar definitivamente do recinto de prova ou, nos casos a seguir especificados, devidamente acompanhado por militar designado para esse fim: atendimento médico por pessoal designado pela Marinha do Brasil; fazer uso de banheiro e casos de força maior, comprovados pela supervisão do certame, sem que aconteça saída da área circunscrita para a realização da prova.  
Em nenhum dos casos haverá prorrogação do tempo destinado à realização da prova e, em caso de retirada definitiva do recinto de prova, esta será corrigida até onde foi solucionada;
- 6- A solução deve ser apresentada nas páginas destinadas a cada questão;
- 7- Não é permitida a consulta a livros ou apontamentos;
- 8- A prova não poderá conter qualquer marca identificadora ou assinatura, o que implicará na atribuição de nota zero;
- 9- Será eliminado sumariamente do processo seletivo e as suas provas não serão levadas em consideração, o candidato que:
  - a) der ou receber auxílio para a execução de qualquer prova;
  - b) utilizar-se de qualquer material não autorizado;
  - c) desprezar qualquer prescrição relativa à execução das provas;
  - d) escrever o nome ou introduzir marcas identificadoras noutro lugar que não o determinado para esse fim; e
  - e) cometer ato grave de indisciplina.
- 10- É PERMITIDO O USO DE CALCULADORA SIMPLES E RÉGUA SIMPLES.

NÃO DESTACAR A PARTE INFERIOR

RUBRICA DO PROFESSOR	ESCALA DE	NOTA	USO DA DEEnsM
	000 A 100		

CAMPOS PREENCHIDOS  
PELOS CANDIDATOS

PROCESSO SELETIVO: PS-EngNav/2010  
NOME DO CANDIDATO:

Nº DA INSCRIÇÃO	DV	ESCALA DE	NOTA	USO DA DEEnsM
		000 A 100		

**1ª PARTE: CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS (VALOR: 80 PONTOS)**

**1ª QUESTÃO (10 pontos)**

Considere uma extensa placa plana com geração interna de calor. A geração de calor na placa é uniforme e com taxa por volume  $q$  ( $W/m^3$ ). A placa tem área  $A$ , condutividade térmica  $k$  e espessura  $L$ . Uma face da placa tem temperatura  $T_F$  e é exposta a uma corrente de ar com coeficiente convectivo de transferência de calor  $h$  e temperatura  $T_{ar}$ . A outra face da placa pode ser considerada como perfeitamente isolada. Considere o sistema em estado estacionário. A partir dos dados fornecidos na questão, obtenha:

- a) uma expressão para o cálculo do fluxo de calor ( $W/m^2$ ) através da superfície exposta ao ar. (5 pontos)
  
- b) uma expressão para o cálculo da temperatura  $T_F$ . (5 pontos)

Continuação da 1ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

Continuação da 1ª questão

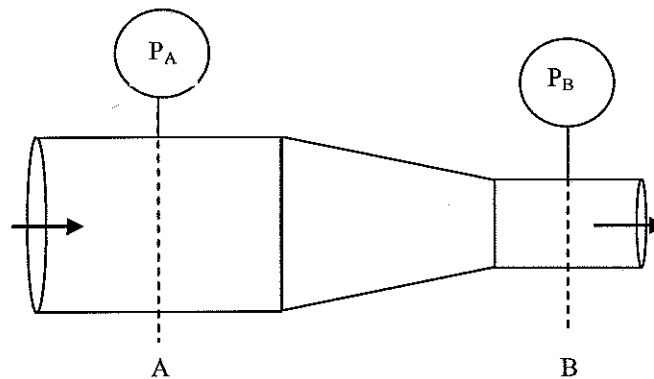
Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

2ª QUESTÃO (10 pontos)

Considere o escoamento de um líquido por um tubo de "Venturi" horizontal, conforme ilustrado na figura abaixo. As áreas das secções circulares dos tubos A e B são, respectivamente,  $S_A$  e  $S_B$ . As pressões medidas nas secções A e B são, respectivamente,  $P_A$  e  $P_B$ . O líquido tem densidade  $\rho$  e as perdas por atrito no escoamento podem ser desconsideradas. A partir dos dados fornecidos na questão, desenvolva:

- uma expressão para relacionar a velocidade média  $v_A$  do líquido na secção A com a velocidade média  $v_B$  na secção B. (5 pontos)
- uma expressão para calcular a vazão volumétrica  $Q$  do líquido. (5 pontos)



Dados e formulário:

Equação de Bernoulli:

$$\frac{v_A^2}{2g} + \frac{P_A}{\rho g} + z_A = \frac{v_B^2}{2g} + \frac{P_B}{\rho g} + z_B + h_{AB}$$

$v$  é a velocidade;  $p$  é a pressão;  $z$  representa a cota do ponto;  $g$  é a aceleração da gravidade;  $\rho$  é a densidade do fluido que escoar;  $h_{AB}$  é a perda de carga do sistema entre os pontos A e B expressa em altura.

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

Continuação da 2ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

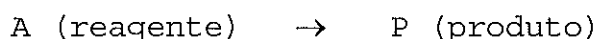
Continuação da 2ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

3ª QUESTÃO (10 pontos)

Considere um reator ideal de mistura perfeita (CFSTR - "continuous flow stirred tank reactor") alimentado continuamente por duas correntes aquosas I e II. A corrente I tem vazão volumétrica 100 litros/h com concentração 0,5 mol/L de reagente A. A corrente II tem vazão volumétrica 50 litros/h com concentração 2 mol/L de reagente A. O reator processa o reagente A convertendo-o no produto, segundo a reação:



A reação é elementar e de 2ª ordem em relação ao reagente A, e é processada em meio aquoso diluído. A sua constante de velocidade é  $k = 4,5 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ . A densidade das correntes de entrada e de saída são iguais e o reator opera em estado estacionário. Converte-se 90% do reagente.

Com base nas informações apresentadas, calcule:

- a) a vazão molar (mol/h) do produto P na corrente de saída.  
(5 pontos)
- b) o volume do reator e o tempo de residência médio do fluido no reator. (5 pontos)

Dados e formulário:

Velocidade de consumo do reagente A, para uma reação elementar de ordem n:

$$-r_A = kC_A^n$$

Equações de projeto de reator de mistura ideal:

$$(C_{Ae} - C_{As})q_M = (-r_A)V_M$$

Concentração das soluções (em mol/litro),  $C_{Ae}$  na entrada e  $C_{As}$  na saída do reator e V volume do reator de mistura.



Continuação da 3ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

Continuação da 3ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

Continuação da 3ª questão

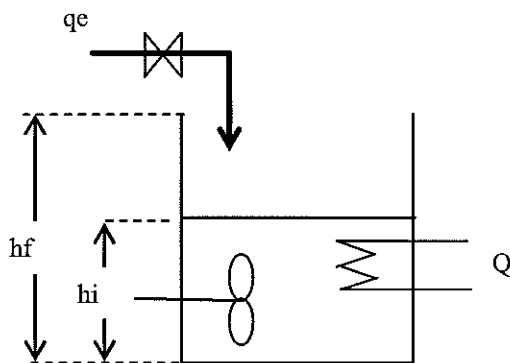
Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

4ª QUESTÃO (10 pontos)

Um tanque cilíndrico de diâmetro  $D$  contém inicialmente água até um nível  $h_i$  e com temperatura  $T_i$ . A partir deste instante inicia-se a alimentação contínua de água, à temperatura  $T_i$ , com uma vazão  $q_e$  ( $m^3/h$ ) até que o nível do tanque atinja uma altura  $h_f$ . Neste instante, interrompe-se a alimentação e inicia-se o aquecimento da água dentro do tanque por meio de uma resistência elétrica que dissipa uma potência  $Q$  (W). O tanque pode ser considerado bem misturado e isolado do meio externo. Considere calor específico  $c_p$  ( $J.kg^{-1}.K^{-1}$ ) e densidade  $\rho$  ( $kg/m^3$ ) constantes. A partir dos dados fornecidos na questão, desenvolva:

- uma expressão para o cálculo do tempo necessário para que o nível do tanque atinja a altura  $h_f$ . (5 pontos)
- uma expressão para o cálculo da temperatura da água no tanque em função do tempo. Considere o aquecimento sem mudança de fase da água. (5 pontos)



Dados e formulário:

Balço de energia

$$\frac{d(mU)}{dt} = \sum m''_{E,i} H_{E,i} - \sum m''_{S,j} H_{S,j} + Q$$

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

### Continuação da 4ª questão

Sendo:

$$U = c_v (T - T_{ref}) \cong c_p (T - T_{ref})$$

$$H = c_p (T - T_{ref})$$

$m$  é a massa;  $U$  é a energia interna;  $m''_{E,i}$  é a vazão mássica alimentada na corrente  $i$ ;  $m''_{S,i}$  é a vazão mássica que sai na corrente  $j$ ;  $H_{E,i}$  é a entalpia da corrente de alimentação  $i$ ;  $H_{S,i}$  é a entalpia da corrente de saída  $j$ ;  $T_{ref}$  é a temperatura de referência;  $Q$  é a potência de troca térmica;  $t$  é a variável tempo.

Continuação da 4ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

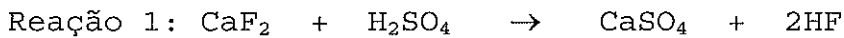
Continuação da 4ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

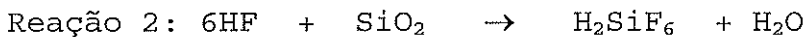
5ª QUESTÃO (10 pontos)

O ácido fluorídrico (HF) é produzido pela reação entre fluoreto de cálcio e ácido sulfúrico. O fluoreto é sólido e reage ao ser dissolvido no ácido.



O HF é produzido na forma gasosa, e após absorção em água forma-se o produto final, sol. aq. 60% em HF.

No processo industrial é utilizado minério bruto de fluoreto de cálcio, que contém 4% de óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) como impureza. Ocorre uma reação secundária que consome parte do HF (produto desejado):



O minério bruto e o ácido (sol. aq. 93%) são alimentados ao processo, com 15% de excesso do ácido em relação à proporção estequiométrica. 95% do minério são dissolvidos e consumidos.

Todas as porcentagens indicadas são mássicas. Adote uma base de cálculo adequada (indique qual é a sua base) e desenvolva as propostas a seguir.

- a) Quantas toneladas de minério bruto são necessárias para obter 1 tonelada do produto final, HF sol.aq. 60%? (5 pontos)
- b) Calcule o rendimento (unidade molar) do reagente limitante no produto desejado (HF) (5 pontos)

Dados:

$$\text{rendimento} = \frac{\text{moles do reag. limitante convertidos no produto}}{\text{moles do reag. limitante consumidos no reator}}$$

Massas atômicas: H = 1; F = 19; Ca = 40; O = 16; Si = 28,1; S = 32



Continuação da 5ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

Continuação da 5ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

Continuação da 5ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

6ª QUESTÃO (10 pontos)

Considere os seguintes sistemas:

Sistema I: mistura benzeno/etilbenzeno (corrente F) contida no vaso de separação com as fases líquida (corrente L) e de vapor (corrente V)

Sistema II: água contida dentro dos tubos do trocador de calor (aquecedor) composto pelas correntes A e B.

Sabe-se que:

As correntes F, V e L são binárias (benzeno e etilbenzeno).

A corrente F é uma mistura líquida contendo 32,9% benzeno em massa (ou 40% molar em benzeno) a uma pressão de 900 mm Hg e temperatura de 50° C

As correntes V e L estão em equilíbrio líquido-vapor ou ELV, à pressão  $p = 760$  mm Hg

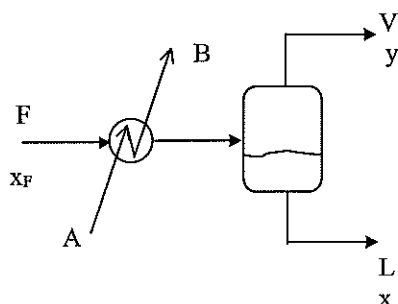
A corrente V tem vazão total de 10 kg/s e composição de 57,7% de benzeno em massa (ou 65% molar benzeno)

São fornecidos os dados para benzeno, etilbenzeno e diagrama de ELV a 760 mm Hg.

As correntes A e B são de água pura. A corrente A é vapor; passa pelo trocador de calor, condensa, e fornece energia para vaporizar parte da corrente F. Sai água líquida (B) do trocador de calor.

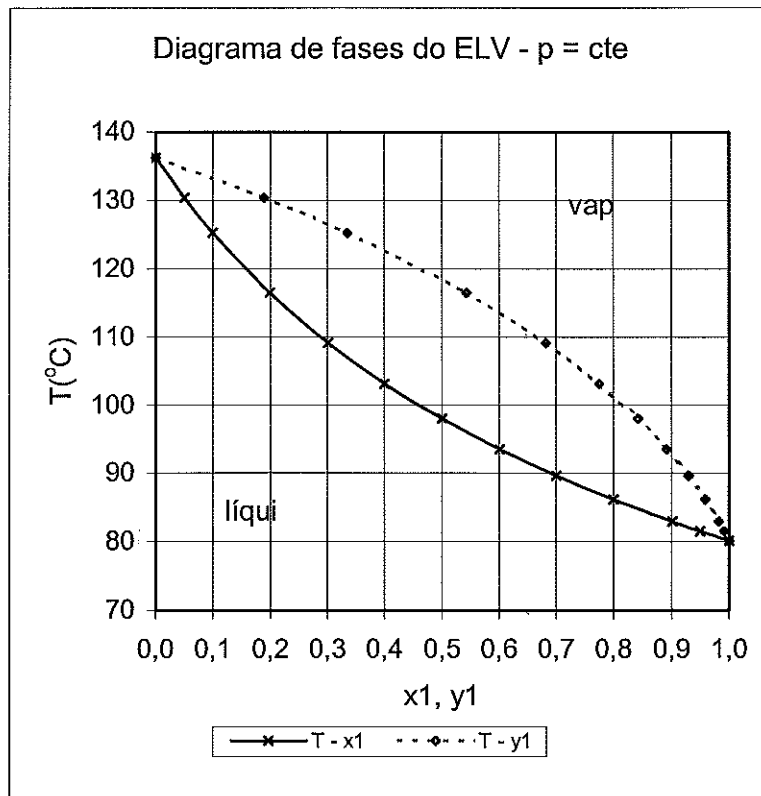
Corrente A: vapor saturado de água, à pressão 600 kPa

Corrente B: água líquida, à pressão 580 kPa e temperatura 400K



Pressão total =  $p = 760$  mm Hg  
 $x, y$  – frações molares

Continuação da 6ª questão



Pressão de vapor de cada componente da mistura: dada pela equação de Antoine e massas moleculares

substância	A	B	C	intervalo T (K)	PM
benzeno	15,9008	2788,51	-52,36	280-377	78,1
etilbenzeno	16,0195	3279,47	-59,95	300-450	106,2

$\ln(p^*) = A - \frac{B}{T+C}$      $p^*$  - pressão de vapor, em mm Hg;     $T$  - temperatura, em K

Entalpias específicas (em kJ/kg) para os componentes puros, no estado líquido e gasoso

Estado de referência: componentes puros e líquidos, a 0° C.

HL1 = Entalpia do líquido saturado

HV1 = Entalpia do vapor saturado

Continuação da 6ª questão

Componente 1 = benzeno

T (°C)	HL1	HV1
0	0	445,73
25	41,53	470,89
50	86,13	498,56
75	133,46	528,65
100	183,61	561,05
125	237,10	595,69
150	294,89	632,48

Componente 2 = etilbenzeno

T (°C)	HL1	HV1
0	0	405,68
25	43,31	434,56
50	87,81	466,12
75	133,48	500,26
100	180,40	536,87
125	228,69	575,84
150	278,58	617,09

Se for necessário, interpole a tabela considerando variações lineares.

Propriedades da água saturada:

Pressão (kPa)	Temperatura (K)	HL (kJ/kg)	HV (kJ/kg)
500	425	639,8	2748,2
600	432	670,1	2756,4
800	443	720,7	2768,7

HL = Entalpia do líquido saturado

HV = Entalpia do vapor saturado

Propriedades da água saturada:

Temperatura (K)	Pressão (kPa)	HL (kJ/kg)	HV (kJ/kg)
395	210,4	511,5	2708,5
400	245,6	532,7	2715,6
405	285,4	554,0	2722,6

HL = Entalpia do líquido saturado

HV = Entalpia do vapor saturado

Fundamentando-se nas informações fornecidas:

- Calcule a porcentagem em massa de benzeno na corrente L e as vazões mássicas (em kg/s) das correntes L e F. (3 pontos)
- Escreva o Balanço de Energia para o sistema I (veja o esquema), e calcule a taxa de calor  $\dot{Q}$  necessária à vaporização parcial da corrente F. (3 pontos)
- Justifique a seguinte informação: A corrente B é líquido saturado. (2 pontos)

**Continuação da 6ª questão**

- d) Escreva o Balanço de Energia para o sistema II (veja o esquema), e calcule a vazão de vapor A necessária à vaporização parcial da corrente F. (2 pontos)

Continuação da 6ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10



Continuação da 6ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

Continuação da 6ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

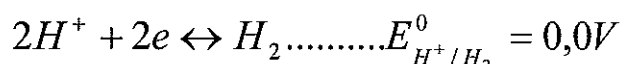
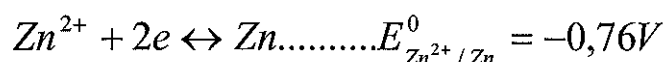
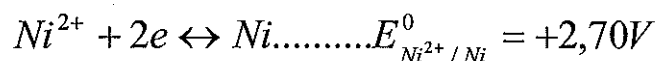
7ª QUESTÃO (10 pontos)

Dispõem-se dos seguintes sistemas:

- A - um béquer contendo uma placa de níquel mergulhado numa solução aquosa com concentração de  $10^{-6}M$  de  $Ni^{2+}$ ;
- B - um béquer contendo uma placa de zinco mergulhada numa solução aquosa com concentração de  $10^{-6}M$  de  $Zn^{2+}$ ;
- C - um béquer contendo uma solução aquosa de ácido clorídrico com concentração de  $1M$  de  $H^+$  e cátions de  $Fe^{2+}$  com concentração de  $10^{-6}M$ .

Todos os béqueres estão a uma temperatura de  $25\text{ }^{\circ}C$  e a pressão do ambiente é de 1 atmosfera.

Sabe-se que:



Equação de Nernst:

$$E = E^0 + \frac{0,0591}{z} \log \frac{a_{oxidada}}{a_{reduzida}}$$

onde E é o potencial de equilíbrio fora das condições padrão;  $E^0$  é o potencial de equilíbrio nas condições padrão; z é o número de moles de elétrons no sistema considerado;  $a_{oxidada}$  representa as atividades das formas oxidadas do sistema;  $a_{reduzida}$  representa as atividades das formas reduzidas do sistema; log representa o logaritmo decimal.

- a) Justifique se, para os béqueres A e B, há mudança no valor do potencial de equilíbrio para esses sistemas. (2 pontos)
  
- b) Verifique se é possível montar uma pilha eletroquímica usando os béqueres A e B, justificando as afirmações que fizer. (2 pontos)

**Continuação da 7ª questão**

- c) Descreva o que ocorre na seguinte situação, fundamentando-se em conceitos eletroquímicos: No béquer C foi mergulhada uma barra de ferro metálico. (3 pontos)
- d) Verifique qual é a melhor opção de revestimento - zinco ou níquel para a seguinte situação: Deseja-se revestir internamente uma tubulação de ferro (aço-carbono) que transporta água potável para minimizar problemas de corrosão. (3 pontos)

Continuação da 7ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

Continuação da 7ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

**8ª QUESTÃO (10 pontos)**

Os componentes orgânicos voláteis denominados VOCs (volatile organic compounds) são considerados poluentes do ar. Como exemplos de VOCs podem ser citados hidrocarbonetos, aldeídos, cetonas, solventes clorados, fluidos refrigerantes.

A incineração (combustão) é uma forma de eliminar VOCs de um efluente gasoso de processo.

Considere uma corrente gasosa efluente de um processo com a composição molar: 18% O<sub>2</sub>, 3000 p.p.m. de tolueno (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>) e o restante nitrogênio. O VOC é o tolueno. Será adicionado metano (CH<sub>4</sub>) como combustível auxiliar, na proporção molar 3mol CH<sub>4</sub>/mol do efluente gasoso. Após adição do metano, a nova mistura gasosa é alimentada ao incinerador.

Com base nessas informações, desenvolva as seguintes propostas:

- a) Calcule a composição molar da corrente alimentada ao incinerador. (5 pontos)
  
- b) Determine a massa de metano (em kg) adicionada por kg do efluente gasoso. (5 pontos)

Dados:

Massas atômicas O = 8; C = 12; H = 1; N = 14

Continuação da 8ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10



Continuação da 8ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10

Continuação da 8ª questão

Prova : 1ª PARTE  
Profissão: ENGENHARIA QUÍMICA

Concurso: PS-EngNav/10



**2ª PARTE: CONHECIMENTOS BÁSICOS (VALOR: 20 PONTOS)**

**1ª QUESTÃO (2,5 pontos)**

Calcule o(s) ponto(s) de máximo local e o(s) ponto(s) de mínimo

local de  $f(x) = \frac{x}{2x^2+4}$ ,  $x \in \mathbf{R}$ .

**2ª QUESTÃO** (2,5 pontos)

Determine os valores de  $\lambda \in \mathbf{R}$  para os quais todas as soluções da equação diferencial  $x'' + \lambda x' + x = 0$  são limitadas.

**3ª QUESTÃO** (2,5 pontos)

Considere o campo de vetores

$$F(x,y) = (\lambda x^2 y + y^4, y^2 + x^3 + 4xy^3), \quad (x,y) \in \mathbf{R}^2,$$

onde  $\lambda$  é um parâmetro real.

- a) Calcule a integral de linha de  $F(x,y)$  ao longo do segmento de reta que une os pontos  $A=(0,0)$  e  $B=(1,2)$ , percorrido no sentido de A para B. (1 ponto)
- b) Determine o(s) valor(es) de  $\lambda$  para os quais o campo  $F(x,y)$  deriva de potencial (isto é, o campo é conservativo). (1,5 ponto)

**4ª QUESTÃO** (2,5 pontos)

Considere  $f(x) = \sin^4 \frac{\pi x}{2}$ ,  $0 \leq x \leq 1$ .

a) Use o método dos trapézios e calcule uma aproximação de  $\int_0^1 f(x) dx$ .  
(1 ponto)

b) Use o método de Simpson e calcule uma aproximação de  $\int_0^1 f(x) dx$ .  
(1,5 ponto)

**5ª QUESTÃO** (2,5 pontos)

Duas esferas, A e B, têm massa 1kg e 2kg respectivamente.

Imediatamente antes de colidirem, a velocidade de A é  $v_a = 2\mathbf{i} + 0\mathbf{j} + 0\mathbf{k}$ , e a velocidade de B é  $v_b = -1\mathbf{i} + 0\mathbf{j} + 0\mathbf{k}$ , ambas medidas em m/s.

A colisão é inelástica e dissipa 50% da energia do sistema em calor.

Logo após a colisão, B tem velocidade  $v = 0\mathbf{i} + 0\mathbf{j} + \beta\mathbf{k}$ , com  $\beta > 0$ .

- a) Determine a energia cinética e a quantidade de movimento do sistema imediatamente antes da colisão. (1 ponto)
- b) Calcule  $\beta$ . (1,5 ponto)



**6ª QUESTÃO** (2,5 pontos)

Uma bola é atirada do chão para o alto. Quando ela atinge a altura de 5m, sua velocidade, em m/seg, é  $v = 5\mathbf{i} + 0\mathbf{j} + 10\mathbf{k}$ . Suponha que a aceleração da gravidade é, em m/seg<sup>2</sup>,  $g = 0\mathbf{i} + 0\mathbf{j} - 10\mathbf{k}$  e calcule:

- a) A altura máxima que a bola atingirá. (1 ponto)
- b) O tempo que levará para a bola atingir o solo. (1 ponto)
- c) A distância horizontal percorrida pela bola, após a trajetória atingir o seu ponto mais alto. (0,5 ponto)

**7ª QUESTÃO** (2,5 pontos)

Uma caixa de água cilíndrica tem raio de 1m e, no instante  $t=0$ , está cheia até 1 metro de altura. Esta caixa tem um orifício circular de  $20\text{cm}^2$  de área na sua base. A pressão no topo da coluna do líquido é de 1 atm, a água escapa da caixa pelo orifício com uma velocidade de  $0,1\text{m/s}$ , e a caixa é realimentada pelo topo de modo a ficar sempre cheia. Admita que a aceleração da gravidade é  $g = 10\text{m/s}^2$ , que a densidade da água é de  $d = 1\text{g/cm}^3$  e que  $1\text{ atm} = 10^5\text{ N/m}^2$ .

- a) Calcule a velocidade de entrada da água no tanque. (1,5 ponto)
- b) Determine a pressão da água no orifício de saída. (1 ponto)

**8ª QUESTÃO** (2,5 pontos)

Um ponto material A de carga  $0,1 \text{ mC}$  e massa  $100 \text{ kg}$ , encontra-se, no instante  $t=0$ , no ponto  $S=(0,1,0)$  e tem velocidade inicial  $v=(3,0,0)$ . Outro ponto material de carga negativa  $q_b$  está fixo no ponto  $O=(0,0,0)$ .

Admita que a constante de Coulomb é  $k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$ .

- a) Determine a força que age sobre A. (1 ponto)
  
- b) Calcule o valor de  $q_b$  para que a trajetória de A seja uma circunferência com centro na origem, percorrida com velocidade angular constante. (1,5 ponto)