

MARINHA DO BRASIL  
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA

CONCURSO PÚBLICO PARA INGRESSO NO CORPO DE ENGENHEIROS DA  
MARINHA (CP-CEM/2022)

**ENGENHARIA NUCLEAR**

**INSTRUÇÕES GERAIS**

- 1- A duração da prova será de **05 horas** e o tempo não será prorrogado. Ao término da prova, entregue o caderno ao Fiscal sem retirar os grampos de nenhuma folha.
- 2- Responda às 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 à 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:  
- 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 atribuição de nota zero.
- 9- Será eliminado sumariamente do concurso 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) desrespeitar 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 PERMITIDA A UTILIZAÇÃO DE CALCULADORA PADRÃO NÃO CIENTÍFICA.

**NÃO DESTACAR A PARTE INFERIOR**

RUBRICA DO PROFESSOR	ESCALA DE	NOTA			USO DO SSPM
	000 A 080				

CAMPOS PREENCHIDOS PELOS CANDIDATOS	CONCURSO: CP-CEM/2022				
	NOME DO CANDIDATO:				
	Nº DA INSCRIÇÃO		DV	ESCALA DE	NOTA
			000 A 080		

CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS (VALOR: 80 PONTOS)

1ª QUESTÃO (8 pontos)

O Urânio é um metal encontrado na natureza. O *yellow cake*, que é uma massa de  $U_3O_8$  com alta concentração de urânio, é obtido após um processo de separação química. Em seguida, o material é convertido para gás  $UF_6$ , para ser enriquecido em átomos de  $U_{235}$ , comumente, por meio de máquinas ultracentrífugas.

Com base nessas informações, responda os itens abaixo.

- a) Explique o processo de conversão do *yellow cake* em gás  $UF_6$ .  
(5 pontos)
- b) Por que é necessário enriquecer o urânio em átomos de  $U_{235}$ ?  
(1 ponto)
- c) Por que é utilizado Flúor no processo de conversão?  
(2 pontos)

Continuação da 1ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022

Continuação da 1ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022

Continuação da 1ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022

**2ª QUESTÃO (8 pontos)**

Considere um reator nuclear genérico do tipo PWR com os seguintes parâmetros termohidráulicos:

1. Arranjo quadrático de suas varetas combustíveis;
2. Potência térmica do reator: 4000 MW;
3. Altura ativa do elemento combustível: 4,5 m;
4. Número de elementos combustíveis: 220;
5. Número de varetas combustíveis por elemento combustível: 260.
6. Largura do elemento combustível: 0,25 m.
7. Diâmetro externo de vareta combustível: 10,0 mm; e
8. Porcentagem de potência depositada em varetas combustíveis: 85%.

Sendo assim, com base nessas informações, faça o que se pede nos itens a seguir.

Dado:  $\pi = 3$

- a) Calcule o diâmetro equivalente do núcleo e a densidade de potência no núcleo. (4 pontos)
- b) Calcule a taxa linear média de geração de calor e o fluxo térmico médio na superfície da vareta combustível. (4 pontos)

Continuação da 2ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022

Continuação da 2ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022



### 3ª QUESTÃO (8 pontos)

Um reator de 366cm de altura efetiva possui urânio combustível enriquecido a 3,5% com U235 em densidade de  $8,3 \times 10^{20}$  núclei/cm<sup>3</sup>. A pastilha de combustível possui diâmetro de 0,9cm e altura de 1,5cm. O fluxo neutrônico na vareta combustível tem um valor máximo de  $\phi_{\max} = 10^{11}$  n/cm<sup>2</sup>s no plano central da vareta. Ele varia na direção axial de acordo com a equação  $\phi(z) = \phi_{\max} \cos\left(\frac{\pi z}{H}\right)$ , onde z é a distância axial da base do plano e H é a altura efetiva da vareta combustível. A seção de choque de fissão efetiva é de 350 barn.

Dados: 1 fissão = 200Mev; e

1Mev =  $1,602 \times 10^{-13}$ J

Sendo assim, calcule:

- a) a potência gerada pela vareta combustível em kW; e (5 pontos)
- b) a potência linear média em kW/cm. (3 pontos)

Continuação da 3ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022

Continuação da 3ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022

**4ª QUESTÃO (8 pontos)**

São consumidos 1422,4 gramas de  $U_{235}$  por dia de operação em um dado reator tipo PWR. Qual a potência do reator em megawatts?

Dados: 200MeV/fissão;  $1\text{ev} = 1,6 \times 10^{-19}\text{J}$  e

$N_{\text{Avogadro}} = 6,022 \times 10^{23}$

Continuação da 4ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022

**5ª QUESTÃO (8 pontos)**

Nos primórdios dos reatores nucleares de potência (década de 1970), o material mais utilizado nos elementos combustível eram ligas de aço inoxidável austenítico. Contudo, anos depois, a indústria passou a utilizar, majoritariamente, ligas de zircônio nos elementos combustível de reatores de potência do tipo PWR. Comparativamente entre os dois materiais citados como revestimento das varetas combustível, disserte sobre os seguintes aspectos:

- a) desempenho neutrônico; (1,5 pontos)
- b) desempenho estrutural; (1,5 pontos)
- c) economicidade; e (1,5 pontos)
- d) risco potencial observado a partir do acidente nuclear de Fukushima (2011). (3,5 pontos)

Continuação da 5ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022

Continuação da 5ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022



**6ª QUESTÃO (8 pontos)**

Para determinar a seção de choque diferencial, um detector com uma janela de entrada em formato circular, com diâmetro de 2mm; está montado a 20cm de distância do alvo. O alvo é bombardeado com 2μA e consiste em uma folha de carbono, que carrega 50μg/cm<sup>2</sup> de Dy natural (Disprósio). Qual o tamanho da seção de choque diferencial para a reação  $^{164}\text{Dy}(t,p)^{166}\text{Dy}$ , se em 30 minutos 1000 contagens são medidas nessa reação?

Dados: massa atômica do Dy = 162,5 g/mol;

abundância de  $^{164}\text{Dy}$  é de 28%; e

seção de choque diferencial =  $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ,  $d\Omega = \text{área}/r^2$ .

Continuação da 6ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022

Continuação da 6ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022

**7ª QUESTÃO (8 pontos)**

Dada a Equação de Transporte de Nêutrons, mostrada abaixo, dê o significado físico para os seguintes termos:

$$\frac{\partial n}{\partial t} + v\hat{\Omega} \cdot \nabla n + v\Sigma_t n(r, E, \hat{\Omega}, t) = \int_{4\pi} d\hat{\Omega}' \int_{4\pi} d\hat{\Omega} \int_s d\nu' \sum_s (E' \rightarrow E, \hat{\Omega}' \rightarrow \hat{\Omega}) n(r, E', \hat{\Omega}', t) + s(r, E, \hat{\Omega}, t)$$

- a)  $\frac{\partial n}{\partial t}$  (1,6 pontos)
- b)  $v\hat{\Omega} \cdot \nabla n$  (1,6 pontos)
- c)  $v\Sigma_t n(r, E, \hat{\Omega}, t)$  (1,6 pontos)
- d)  $\int_{4\pi} d\hat{\Omega}' \int_{4\pi} d\hat{\Omega} \int_s d\nu' \sum_s (E' \rightarrow E, \hat{\Omega}' \rightarrow \hat{\Omega}) n(r, E', \hat{\Omega}', t) + s(r, E, \hat{\Omega}, t)$  (1,6 pontos)
- e)  $s(r, E, \hat{\Omega}, t)$  (1,6 pontos)

Continuação da 7ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022

**8ª QUESTÃO (8 pontos)**

No reator nuclear de potência de ANGRA I, um trabalhador exerce atividades em duas áreas (A e B). Na área A, o indivíduo trabalha durante 4 horas por semana, submetido a uma taxa de dose efetiva de 50  $\mu\text{Sv/h}$ , devido à radiação de nêutrons, e 70  $\mu\text{Sv/h}$  de taxa de dose efetiva de gama. Na área B, esse mesmo trabalhador fica exposto por 18 horas semanais à taxa de dose de 200  $\mu\text{Sv/h}$  de radiação gama; nessa área, o indivíduo não está exposto de maneira significativa a nêutrons. Sabendo disso, faça o que se pede nos itens abaixo.

- a) Calcule a dose efetiva total que o indivíduo é exposto durante um ano, considerando que no ano esse trabalhador se expõe a esse cenário durante 40 semanas. (4 pontos)
- b) Analise os resultados com base nos limites estabelecidos na norma CNEN NE 3.01, considerando que o trabalhador exercerá a mesma atividade na planta nuclear por mais de 5 anos. Caso necessário, proponha o revezamento entre diferentes trabalhadores para a realização das atividades por mais de 5 anos, definindo o número de trabalhadores e os limites atingidos para cada um. (4 pontos)

Continuação da 8ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022

**9ª QUESTÃO (8 pontos)**

Em um ciclo de vida de nêutrons de um reator PWR hipotético, 10.000 nêutrons estão presentes no início de uma geração. O reator utiliza combustível de urânio enriquecido em 10%. A seção de choque microscópica de absorção do  $U_{235}$  é de 671barns, enquanto a seção de choque microscópica de fissão do  $U_{235}$  é de 580barns e a seção de choque microscópica de absorção do  $U_{238}$  é de 2,66barns. Sabendo que a densidade atômica do  $U_{235}$  é de  $4,8 \times 10^{21}$  átomos/cm<sup>3</sup> e do  $U_{238}$  é de  $4,3 \times 10^{22}$  átomos/cm<sup>3</sup> E que a média de liberação de nêutrons por fissão é de 2,42, responda os itens abaixo.

Dados:

fator de fissão rápida  $\epsilon = 1,04$ ;

fator de não-fuga rápida  $L_f = 0,865$ ;

fator de escape da ressonância  $\rho = 0,8$ ;

fator de não-fuga térmica  $L_t = 0,861$ ; e

fator de utilização térmica  $f = 0,799$ .

- a) Qual o fator de reprodução  $\eta$  do reator no ciclo de vida de nêutrons mencionado? (2 pontos)
- b) O reator está crítico, subcrítico ou supercrítico? Justifique. (2 pontos)
- c) No ciclo de vida mencionado acima, quantos nêutrons foram absorvidos por material não combustível? (2 pontos)
- d) Considerando o reator acima com dimensões infinitas, qual o valor do fator de multiplicação? O reator estaria crítico, subcrítico ou supercrítico? (2 pontos)



Continuação da 9ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022

Continuação da 9ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022

Continuação da 9ª questão

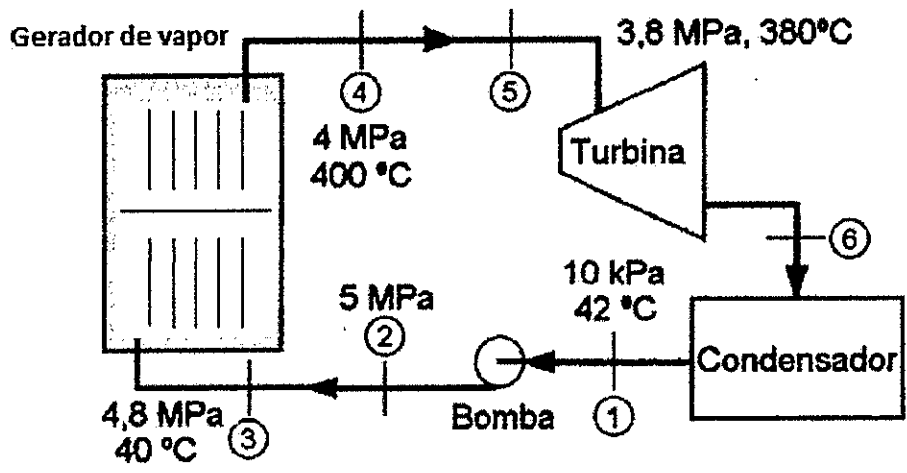
Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022

**10ª QUESTÃO (8 pontos)**

Atualmente no Brasil existem apenas dois reatores nucleares de potência em operação. Ambos são do tipo PWR e estão localizados na cidade de Angra dos Reis - RJ. Considerando esse escopo, faça o que se pede nos itens abaixo.

- a) Faça um desenho esquemático apresentando os itens mínimos necessários para o circuito completo (principais estruturas, sistemas e componentes) de um reator de potência do tipo PWR. Considere uma planta nuclear sem equipamentos em redundância. (2 pontos)
- b) O circuito secundário de uma usina nuclear pode ser comparado ao ciclo de potência apresentado na figura abaixo.



Sabendo que a eficiência da turbina é igual a 86% e que a eficiência da bomba é igual a 80%, determine o rendimento térmico do ciclo. Considere que todos os processos ocorrem em regime permanente. (6 pontos)

Dados:

$$h_5 = 3196,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$s_5 = 6,7235 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$s_{6_{\text{líquido saturado}}} = 0,6493 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Continuação da 10ª questão

$$s_{6_{\text{vapor.saturado}}} = 7,5009 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$h_{6_{\text{líquido.saturado}}} = 191,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

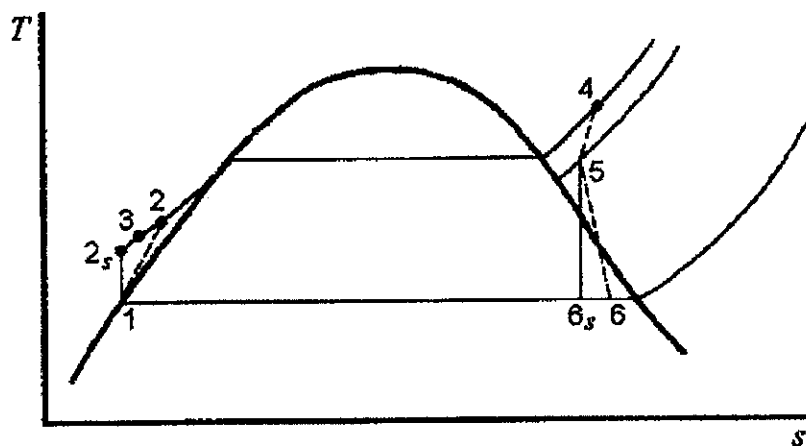
$$h_{6_{\text{vapor.saturado}}} = 2392,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$v_{1-2} = 0,001009 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$h_4 = 3213,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_3 = 171,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Considere que o ciclo segue o seguinte diagrama T-s abaixo.



Continuação da 10ª questão

Continuação da 10ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022

Continuação da 10ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2022