

FORMULÁRIO DE GABARITO DAS QUESTÕES DISCURSIVAS ANO 2022.

Área de Certificação: REATOR NUCLEAR DE PESQUISA E UNIDADES
CRÍTICAS E SUBCRÍTICAS

Referência Utilizada: Norma CNEN NN 1.04

Questão 1: **(0,50 ponto)** A norma CNEN NN 1.04 em seu item 8.7 estabelece as Condições das Autorizações para Operação. Cite as três sanções às quais as autorizações para operação estão sujeitas:

- a) _____
- b) _____
- c) _____

RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 1):

[0,2] a) **revogação** - por interesse público;

[0,2] b) **suspensão** - por risco de dano nuclear;

[0,1] c) **alteração ou emenda** - por superveniência de alterações na legislação vigente, inclusive nas normas da CNEN

Referência Utilizada: Normas 3.01/3.02

Questão 2: **(1,00 ponto)** Segundo a Norma CNEN NN 3.01 “Os titulares e os empregadores devem permitir aos inspetores da CNEN o acesso às suas instalações e registros, para fins de verificação do cumprimento dos requisitos desta Norma”.

Aponte quais os registros, referentes aos IOE, devem ser mantidos e apresentados aos inspetores quando devidamente solicitados

RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 2):

Norma 3.02

[0,25] Relatório de Monitoração individual e Avaliação de doses [Histórico de doses]

[0,25] Supervisão médica [ASO] devidamente assinado pelo médico do trabalho e com indicação de apto para o trabalho com radiação ionizante

[0,25] Relatório de treinamento [Certificado de treinamento]

[0,25] Livro de registro de entrada na área controlada

Referência Utilizada: Knoll, G.T. Radiation Detection and Measurements, Wiley, New York, 2000 e a própria figura.

Questão 3: **(0,80 ponto)** As figuras a seguir apresentam o display de um equipamento sensível a radiação gama e neutrônica submetido a um campo de radiação.



Considerando que o equipamento está devidamente calibrado e apresenta resposta adequada para sua medição responda:

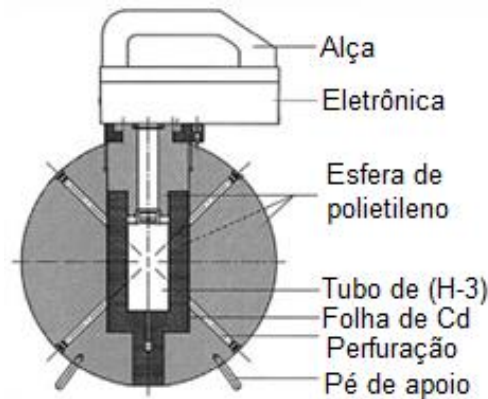
- (0,30) Qual a grandeza e a unidade de medida representadas por este equipamento?
- (0,50) Qual o valor de leitura?

RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 3):

- (0,30) a) Grandeza: Taxa de dose; unidade de medida: mSv/hr
(0,50) b) 750 mSv/hr

Referência Utilizada: Knoll, G.T. Radiation Detection and Measurements, Wiley, New York, 2000

Questão 4: **(0,90 ponto)** Alguns detectores de nêutrons possuem esferas de polietileno de alta densidade (PEAD) ao redor do elemento sensível que efetivamente faz a medição radiação incidente no detector. Um exemplo desse tipo de detector está ilustrado na figura abaixo:



Descreva qual a FUNÇÃO desta esfera de polietileno, a JUSTIFICATIVA da escolha deste material e a MOTIVAÇÃO DO FORMATO esférico.

RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 4):

[0,3] Função: Aumentar a sensibilidade do detector para nêutrons rápidos ao termalizar os nêutrons incidentes e torná-los adequados para detecção em detectores de nêutrons térmicos.

[0,3] Justificativa: materiais com alta densidade de componentes leves (^1H) possuem maior eficiência para retardar os nêutrons.

[The inherently low detection efficiency for fast neutrons of any slow neutron detector can be somewhat improved by surrounding the detector with a few centimeters of hydrogen-containing moderating material (p.554 Knoll)]

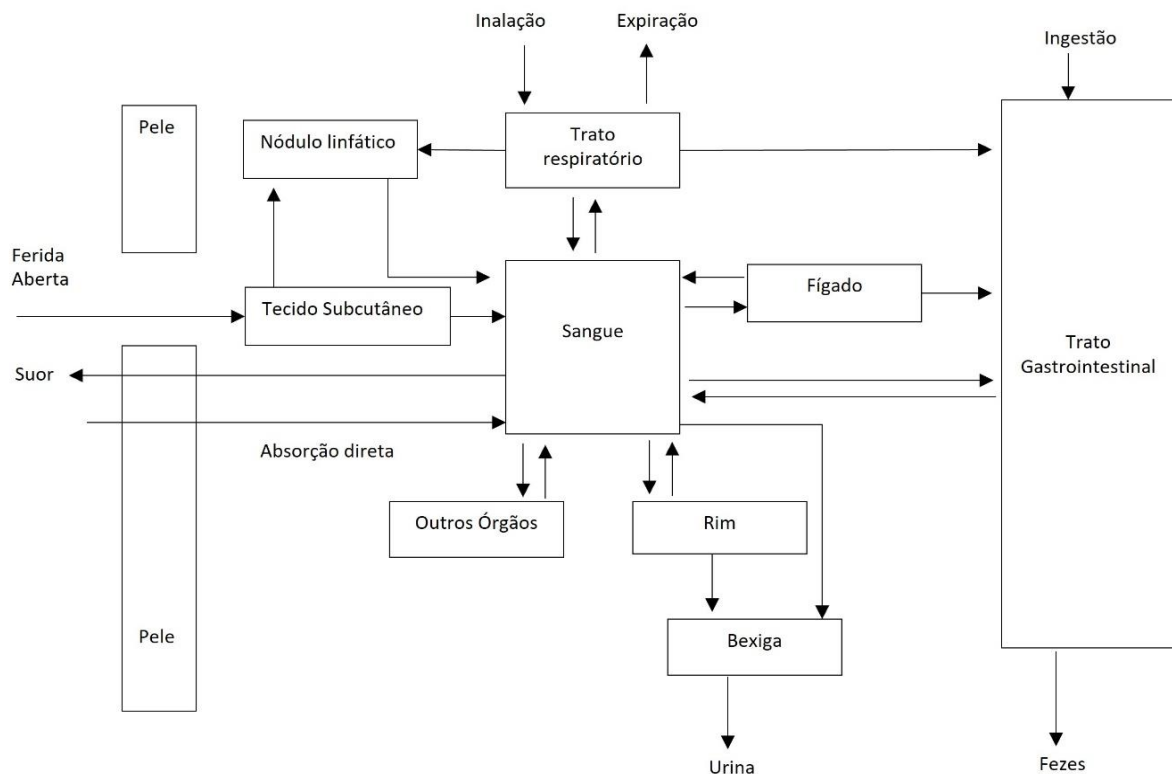
[As a result of all these factors, the efficiency of a moderated slow neutron detector when used with a monoenergetic fast neutron source will show a maximum at a specific moderator thickness. Assuming that the moderator is the usual choice of a hydrogenous material such as polyethylene or paraffin, we find that the optimum thickness will range from a few centimeters for ke V neutrons up to several tens of centimeters for neutrons in the Me V energy range. (P.555 Knoll)]

[0,3] Formato: O formato esférico provê uma geometria com resposta razoavelmente não direcional.

[The spherical geometry provides for a reasonably nondirectional detector response (p.556 Knoll)]

Referência Utilizada: Cember, H. Introduction to Health Physics - Mc Graw-Hill, New York, 2000 e análise da figura fornecida

Questão 5: **(0,90 ponto)** Radionuclídeos podem ser incorporados e removidos do corpo humano por diversas rotas diferentes. Existem modelos específicos para o cálculo de dose a partir das rotas bioquímicas conhecidas. A figura abaixo, adaptada da ICRP 130 – Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1, apresenta um resumo das principais vias de incorporação, transferência e eliminação de radionuclídeos pelo corpo. Identifique quais as vias de INCORPORAÇÃO e de ELIMINAÇÃO.



RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 5):

Vias de Incorporação

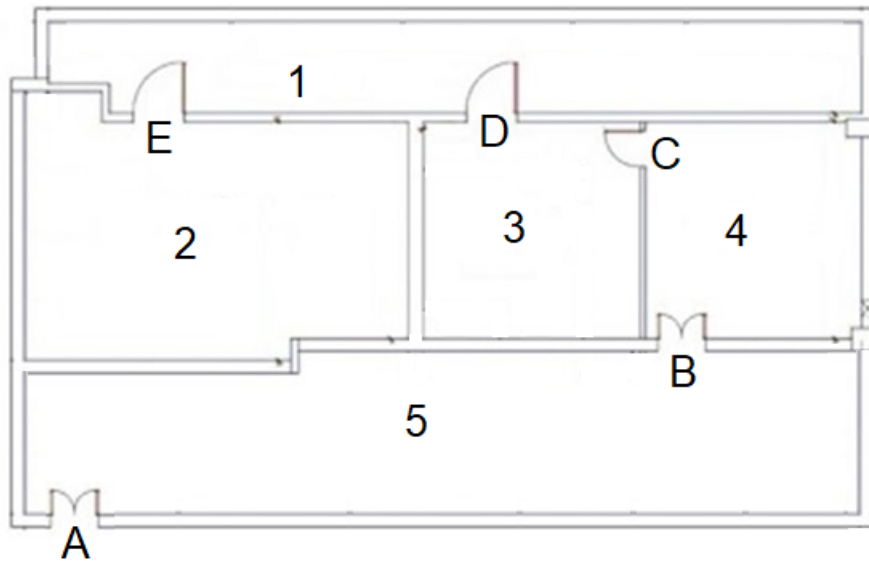
- (0,1) – Inalação
- (0,1) – Ingestão
- (0,1) – Ferida Aberta
- (0,1) – Absorção direta

Vias de Eliminação

- (0,1) – Expiração
- (0,1) – Fezes
- (0,1) – Urina
- (0,1) – Suor

Referência Utilizada: Norma CNEN 3.01

Questão 6: **(1,00 ponto)** Na sessão de Classificação de Áreas do Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS) de uma determinada instalação consta a seguinte figura:



No documento de licenciamento dessa instalação, não foi informada a existência de diferença de pressão entre as salas.

No desenho estão descritas 5 salas diferentes, sendo elas numeradas de 1 a 5 conforme o desenho. Os únicos acessos existentes para estas salas são através das portas A, B, C, D e E.

Sabendo que:

- As salas 1, 2 e 5 foram classificadas como área controlada.
- A sala 3 foi classificada como área livre.
- A sala 4 foi classificada como área supervisionada.
- Há um ponto de controle na porta A, limitando o acesso à sala 5
- É inequívoca a classificação da sala 5, ou seja, esta está corretamente classificada como área controlada

Identifique quaisquer possíveis equívocos efetuados na classificação de área das salas 1, 2, 3 ou 4, justificando sua resposta.

RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 6):

A área 4 não pode ser classificada com área livre uma vez que existe contato direto com a área 2, classificada como controlada, através de uma porta e com a área 3, classificada como área supervisionada, através de uma porta

Referência Utilizada: Normas da CNEN, RPAS

Questão 7: **(1,00 ponto)** A norma CNEN NN 3.01, em seu item 5.3.8, estabelece a necessidade de submissão de um Plano de Proteção Radiológica contendo, dentre outros requisitos, a “*descrição das fontes de radiação e dos correspondentes sistemas de controle e segurança, com detalhamento das atividades envolvendo essas fontes*”.

Com relação à descrição das fontes de radiação, este Plano de Proteção Radiológica apresenta a lista de fontes descrita na tabela a seguir.

# Item	Descrição da fonte
01	Fonte de Európio
02	Fonte de ^{137}Cs (A = 33,7 MBq em 13/02/1973)
03	Fonte de ^{252}Cf em 05/09/2009
04	Fonte de ^{60}Co de 1,03 Ci
05	Placa de elemento combustível U_3O_8 enriquecido a 4,07 % de ^{235}U

Algumas dessas fontes **não** estão adequadamente descritas.

Identifique quais os itens que **NÃO** contém informações suficientes para descrever a fonte e indique quais informações devem ser apresentadas para que a informação esteja correta.

RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 7):

# Item	Descrição da fonte	Informações necessárias
01	Fonte de Európio	a) Identificação do isótopo b) Atividade da fonte c) Data da medição da atividade
03	Fonte de ^{252}Cf calibrada em 05/09/1973	a) Atividade da fonte
04	Fonte de ^{60}Co de 1,03 Ci	a) Data da medição da atividade

Referência Utilizada: Norma CNEN 1.16

Questão 8: **(0,50 ponto)** A Norma CNEN NN 1.16 versa sobre Garantia Da Qualidade Para A Segurança De Usinas Nucleoelétricas E Outras Instalações.

Em seu item 4.6.3 – Controle de Itens e Serviços Adquiridos – a Norma estabelece os requisitos para se assegurar a conformidade aos documentos de aquisição.

Em seu item 4.7.1 – Identificação e Controle de Materiais, Peças e Componentes – a Norma estabelece os requisitos para a identificação dos itens relevantes para a qualidade.

Partindo da afirmação acima explique, de forma sucinta, a importância do controle de serviços adquiridos e sua relação com a identificação e controle dos equipamentos utilizados para a proteção radiológica de um reator de pesquisa

RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 8):

Os temas a serem abordados são:

- a) Garantia de aquisição de equipamentos adequados à utilização proposta (tipo de radiação, faixa de energia de trabalho, condições de uso etc.)
- b) Identificação adequada dos equipamentos de posse do Serviço de Proteção Radiológica e em uso na instalação.
- c) Conferência no retorno dos itens enviados para serviço externo à instalação e, quando aplicável, correta identificação da calibração dos equipamentos em uso.

Referência Utilizada: Norma CNEN 3.01, Posição Regulatório 3.01:005, SAR das instalações

Questão 9: **(3,5 pontos)** O Relatório Preliminar de Análise de Segurança (RPAS) de um determinado reator de pesquisa do tipo piscina afirma que, em operação normal, a taxa de emissão de radionuclídeos através da piscina é constante durante toda a sua operação e está em equilíbrio com a taxa de exaustão do salão do reator. O RPAS, então, afirma que esta condição leva a uma concentração média de radionuclídeos no ar constante durante toda a sua operação. A tabela abaixo, extraída do RPAS, apresenta a concentração, no ar do confinamento, estimada para alguns radioisótopos de interesse.

Radionuclídeo	Concentração no ar do confinamento	Radionuclídeo	Concentração no ar do confinamento
^3H (HTO)	3,94E+03 Bq/m ³	^{131}I	1,34E-05 Bq/m ³
^{41}Ar	2,26E+03 Bq/m ³	^{133}Xe	1,17E+02 Bq/m ³
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	4,27E+00 Bq/m ³	^{137}Cs	9,92E-08 Bq/m ³

O RPAS deve apresentar, também, a dose efetiva esperada para um IOE que trabalhe nesta instalação durante operação normal. Para o cálculo da estimativa de dose ocupacional é necessário utilizar fatores estabelecidos em guias e referências. Em casos que fatores ocupacionais não estejam estabelecidos é possível utilizar fatores definidos para membros do público.

Sabendo que a dose efetiva, E, é o somatório da dose efetiva devida à exposição externa e da dose efetiva comprometida durante qualquer período de tempo t, proveniente da incorporação de radionuclídeos e considerando um IOE que, durante 200 dias ao ano, trabalhe 6 horas por dia neste reator, e não esteja sujeito a quaisquer outras exposições ocupacionais, responda:

Dados:

Radionuclídeo	Fator de transferência f_1	$e(g)_{5\text{mm}}$ (Sv.Bq ⁻¹)	Radionuclídeo	Fator de conversão de dose (Sv.h ⁻¹ / Bq.m ⁻³)
^3H (HTO)	1,00E+00	1,80E-11	^{41}Ar	4,80E-09
^{131}I	1,00E+00	1,10E-08	$^{85\text{m}}\text{Kr}$	1,80E-11
^{137}Cs	1,00E+00	6,70E-09	^{133}Xe	7,60E-09

Dados (continuação):

Condição	Taxa de respiração
Adulto (repouso)	1,0 m ³ /h
Adulto (trabalho)	1,2 m ³ /h

HTO: água tritiada

- [1,0] Quais as principais vias de exposição para cada radionuclídeo?
- [2,0] Quais as doses efetivas esperadas, em mSv, individualizadas para cada radionuclídeo e a dose efetiva total?
- [0,5] Enquanto os radionuclídeos ¹³¹I, ¹³⁷Cs, ^{85m}Kr e ¹³³Xe tem origem na irradiação do combustível os radionuclídeos ³H e ⁴¹Ar possuem uma origem distinta. Qual a origem destes dois radionuclídeos?

RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 9):

Padrão de resposta esperado:

a)

Radionuclídeo	Via de exposição
³ H (HTO)	Dose interna por incorporação
⁴¹ Ar	Dose externa por imersão em nuvem radioativa
^{85m} Kr	Dose externa por imersão em nuvem radioativa
¹³¹ I	Dose interna por incorporação
¹³³ Xe	Dose externa por imersão em nuvem radioativa
¹³⁷ Cs	Dose interna por incorporação

b)

A dose efetiva pode ser calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$E = H_p(10) + \sum_j e(g)_{j,ing} I_{j,ing} + \sum_j e(g)_{j,ina} I_{j,ina} \quad (\text{PR005-3.01})$$

Gases nobres apresentam deposição irrisória no trato respiratório (*Class SR-0, insoluble and non-reactive: negligible deposition in the respiratory tract (e.g. ⁴¹Ar, ^{85m}Kr and ¹³³Xe) – IAEA SRS nº 37 apud PR 3.01/005*) e, por isso a sua dose é devido apenas a exposição externa (no caso entra como H_p(10) no cálculo da dose efetiva com os devidos cálculos)

$$H_p(10)_j = f_j \times t \times C_j$$

$$H_p(10)_{^{41}\text{Ar}} = 4,80 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}}{\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}} \times 1500 \text{ h} \times 2,26 \cdot 10^3 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \times 1 \cdot 10^3 \frac{\text{mSv}}{\text{Sv}} = 7,49 \cdot 10^{-1} \text{ mSv}$$

$$H_p(10)_{^{85m}\text{Kr}} = 1,8 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}}{\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}} \times 1500 \text{ h} \times 4,27 \cdot 10^0 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \times 1 \cdot 10^3 \frac{\text{mSv}}{\text{Sv}} = 1,58 \cdot 10^{-4} \text{ mSv}$$

$$H_p(10)_{^{133}\text{Xe}} = 7,60 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}}{\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}} \times 1500 \text{ h} \times 1,17 \cdot 10^2 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \times 1 \cdot 10^3 \frac{\text{mSv}}{\text{Sv}} = 8,41 \cdot 10^{-4} \text{ mSv}$$

$$\sum_j e(g)_{j,ing} I_{j,ing} = 0 \quad (\text{n\~{o} h\~{a} ingest\~{a}o})$$

$$\sum_j e(g)_{j,ina} I_{j,ina} \quad \text{v\~{a}lido para incorpora\~{c}\~{a}o (^3\text{H}, ^{131}\text{I}, ^{137}\text{Cs})$$

$$I_{j,ina} = f_{1j} \times t \times TR \times C_j$$

$$TR = \text{taxa de respira\~{c}\~{a}o} = 1,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$t = 200\text{d} \times 6 \frac{\text{h}}{\text{d}} = 1500 \text{ h}$$

$$D_{j,ina} = e(g)_{j,ina} I_{j,ina} = e(g)_{j,ina} \times f_{1j} \times t \times TR \times C_j$$

$$D_{(^3\text{H},ina)} = 1,80 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Sv}}{\text{Bq}} \times 1 \times 1500 \text{ h} \times 1,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 3,94 \cdot 10^3 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \times 1 \cdot 10^3 \frac{\text{mSv}}{\text{Sv}} = 1,28 \cdot 10^{-1} \text{ mSv}$$

$$D_{(^{131}\text{I},ina)} = 1,10 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Sv}}{\text{Bq}} \times 1 \times 1500 \text{ h} \times 1,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1,34 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \times 1 \cdot 10^3 \frac{\text{mSv}}{\text{Sv}} = 2,65 \cdot 10^{-7} \text{ mSv}$$

$$D_{(^{137}\text{Cs},ina)} = 6,70 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Sv}}{\text{Bq}} \times 1 \times 1500 \text{ h} \times 1,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 9,92 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \times 1 \cdot 10^3 \frac{\text{mSv}}{\text{Sv}} = 1,20 \cdot 10^{-9} \text{ mSv}$$

Radionucl\~{i}deo	Dose individual (mSv)
³ H (HTO)	1,28E-01
⁴¹ Ar	7,49E-01
^{85m} Kr	1,58E-04
¹³¹ I	2,65E-07
¹³³ Xe	8,41E-04
¹³⁷ Cs	1,20E-09
Total	8,78E-01

c) ⁴¹Ar – ativa\~{c}\~{a}o do ⁴⁰Ar dissolvido na \~{a}gua da piscina

³H (HTO) – ativa\~{c}\~{a}o da \~{a}gua da piscina