

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

DIRETORIA DE RADIOPROTEÇÃO E SEGURANÇA NUCLEAR

SUPERINTENDENCIA DE LICENCIAMENTO E CONTROLE

Pára-Raios " Radioativos " : Proteção ou Perigo ?

Paulo Fernando Lavalle Heilbron Filho

Ana Maria Xavier

SETEMBRO DE 1991

PÁRA-RAIOS "RADIOATIVOS" : PROTEÇÃO OU PERIGO ?

P.F.L.HEILBRON FILHO
A.M.XAVIER
Setembro de 1991

INTRODUÇÃO

A fabricação de pára-raios radioativos no Brasil foi iniciada em 1970. Após 19 anos de comercialização desses dispositivos, a Comissão Nacional de Energia Nuclear, CNEN, estabeleceu, através da Resolução 04/89, a suspensão da concessão de autorização para utilização de materiais radioativos em pára-raios.

O processo que motivou a Direção da CNEN a baixar tal Resolução foi iniciado por determinação da então Diretoria Executiva I daquele Órgão (hoje Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear), em janeiro de 1986 e envolveu tanto a coleta de dados como a realização de estudos sobre a matéria, durante vários meses. No final de 1986, foi sugerida formalmente, à Procuradoria Jurídica da CNEN, a proibição de fabricação e comercialização de pára-raios contendo materiais radioativos afixados aos mesmos.

O presente documento tem por objetivo divulgar os trabalhos que serviram de suporte técnico para a Resolução 04/89, bem como prestar esclarecimentos adicionais sobre os aspectos de radioproteção associados ao emprego e ao transporte de tais captadores iônicos.

O FENÔMENO RAIOS

Uma descarga atmosférica pode ser comparada a uma troca rápida de cargas elétricas entre a nuvem e o solo.

A maior parte das nuvens de tempestade tem a base saturada de gotículas d'água carregadas negativamente e a parte superior constituída por cristais de gelo carregados positivamente.

Quando a diferença de potencial nessas nuvens, conhecidas por 'cumulo-nimbus', atinge um valor suficiente para romper o dielétrico do ar, ocorre a movimentação de elétrons em direção ao solo, o que produz um fraco traço luminoso. Esta descarga, chamada de precursora, líder ou descarga piloto, percorre apenas algumas dezenas de metros.

Após um intervalo de tempo curtíssimo (da ordem de dezenas de microsegundos), uma segunda descarga segue o caminho ionizado pela primeira, percorrendo outras dezenas de metros e assim sucessivamente, até o solo ser alcançado.

Uma descarga principal ou de retorno é então formada, do solo para a nuvem, seguindo o caminho da descarga piloto, mas em sentido inverso, e produzindo uma forte luminosidade.

Assim, ao contrário do que muitos pensam, o sentido do raio principal é do solo para a nuvem.

Convém observar que o raio precursor não parte da nuvem com trajetória definida e não tem um ponto de contato com o solo determinado previamente, caracterizando-se como fenômeno aleatório.

O raio segue a trajetória de menor distância entre a nuvem (cargas negativas) e o ponto mais próximo de contato com a terra (cargas positivas).

A ORIGEM DOS PÁRA-RAIOS

Em 1752, Benjamin Franklin instalou uma haste de ferro no topo de uma guarita, situada em local elevado, ligada por um fio metálico a outra haste semelhante cravada no solo.

Estava, assim, proposto o pára-raios, dispositivo que tem como finalidade a captação de raios e a definição do ponto de contato dos mesmos com a superfície da terra.

O objetivo principal da proteção contra os raios está fundamentado na propriedade geométrica dos corpos metálicos ponteados, que podem descarregar-se sem a produção de faíscas, e consiste no estabelecimento de meios que dirijam a descarga elétrica para a terra, sem que efeitos danosos aos seres vivos e ao meio ambiente ocorram neste processo.

A área de proteção de um pára-raios foi definida pela primeira vez por Gay Lussac, no século XIX, na Academia Francesa de Ciências, como sendo o espaço circular de um cilindro cujo raio da base fosse igual à altura da ponta da haste instalada.

Diversas outras zonas de proteção foram propostas, ao longo das décadas, baseadas sempre em observações empíricas de quedas de raios, sendo que, devido ao caráter aleatório dos mesmos, ainda não foram determinadas teoricamente.

Atualmente, normas de diversos países estabelecem como área de proteção a base de um cone cuja relação altura/raio, H/R , varia de 1:1 a 1:2, sendo o valor 1:1,73 adotado no Brasil.

O PÁRA-RAIOS "RADIOATIVO"

As primeiras experiências com pára-raios "radioativos" datam de 1914. O físico húngaro Szillard (colaborador do casal Pierre e Marie Curie) reportou, à Academia Francesa de Ciências, os ensaios realizados com um terminal Franklin contendo sal de rádio. Pode ser constatado que, quando esse dispositivo era colocado em um campo elétrico, a corrente resultante era consideravelmente maior que aquela medida utilizando-se um terminal convencional.

Este acréscimo de corrente foi atribuído à ionização do ar provocada pelas partículas alfa e beta e pelos raios gama provenientes do decaimento do Ra-226 e de seus descendentes radioativos.

As primeiras versões comerciais de captadores iônicos surgiram na década de 30, inspiradas na experiência de Szillard. Após a segunda guerra mundial, o emprego de Ra-226 foi substituído pelo do emissor alfa Americio-241, radioisótopo mais disponível e

econômico, àquela época.

O aumento da corrente que emana do pára-raios, para contactar a descarga piloto ou raio líder, implicaria na definição do ponto preferencial de contato com maior antecedência e, em consequência, numa zona probabilística de proteção maior.

A forma proposta para obter o aumento dessa corrente elétrica foi, portanto, a incorporação aos pára-raios de fontes radioativas emissoras de partículas alfa altamente energéticas.

Na década de 70, algumas empresas brasileiras iniciaram processos de registro e licenciamento junto à CNEN, para obtenção de autorizações para importação de fontes radioativas e para montagem e comercialização de pára-raios com estas afixadas aos terminais aéreos.

A atividade, em mCi, contida em cada dispositivo variava em função da zona de proteção pretendida pelo cliente. A Figura 1 mostra a relação existente entre a atividade de cada pára-raios e a respectiva zona de proteção, conforme divulgado pelos diversos fabricantes.

A montagem de captadores iônicos compreende a (i) colocação das fitas de Am-241, previamente cortadas, em porta-fontes, (ii) selagem destas com cola, (iii) rebitagem dos porta-fontes nos pratos e (iv) fixação dos pratos na haste. A Figura 2 mostra um dos modelos de pára-raios "radioativos" comercializados.

A real eficácia de captadores iônicos foi questionada pela primeira vez no Brasil, formalmente, em 1980, em decorrência da solicitação, pela EMBRATEL, de um estudo sobre a matéria ao Instituto de Eletrotécnica da Universidade de São Paulo. O parecer emitido por aquele Órgão (Ref. 1) desaconselhou a utilização de pára-raios "radioativos" para proteção de uma área superior àquela especificada para pára-raios convencionais.

O parecer supracitado foi contestado pelo Departamento de Engenharia de uma empresa fabricante desses dispositivos (Ref. 2), tendo sido questionadas as simulações realizadas pela USP em laboratório e argumentada a falta de base sólida para a conclusão alcançada.

O CONTROLE EXERCIDO PELA CNEN

As Normas Básicas de Proteção Radiológica da CNEN (Ref. 3), em vigor no período de 1973 a 1988, ditavam uma série de requisitos aplicáveis ao processamento, manuseio, uso, armazenamento, transporte e eliminação de material radioativo. Assim, em conformidade com essas normas, foram estabelecidas diversas exigências para os fabricantes de pára-raios, destacando-se:

- a elaboração, implantação e implementação de um programa de proteção radiológica;
- a presença, na empresa, de pessoa de competência comprovada junto à CNEN, para supervisionar a aplicação das necessárias medidas de radioproteção;
- o treinamento de pessoal para manuseio de material radioativo,

incluindo funcionários de firmas instaladoras desses captosres e
- o envio, à CNEN, de relação de pára-raios comercializados.

Após a entrada em vigor da Norma CNEN-NE-6.02, Licenciamento de Instalações Radiativas (Ref. 4), em dezembro de 1984, ficou aparente a necessidade de licenciamento de qualquer edificação que possuísse um pára-raios 'radioativo' instalado, uma vez que o limite de isenção para o Am-241 era bem inferior ao conteúdo de cada um desses dispositivos.

A gradual introdução de micro-computadores na área de segurança nuclear da CNEN, a partir de 1984, contribuiu para uma análise mais detalhada sobre a comercialização de pára-raios, através da emissão de listagens de "usuários" que adquiriram esses captosres, em ordem alfabética.

Foi então observado que um grande número de pára-raios fabricados era vendido para firmas revendedoras, ficando, portanto, perdida a informação sobre os locais onde os mesmos estavam instalados.

A tentativa de resgatar essas informações junto aos fabricantes foi frustrada pelas alegações que (i) só mantinham registro de vendas ocorridas nos últimos 5 anos, para fins de declaração de renda e (ii) os revendedores não possuíam um banco de dados dos clientes. Além disso, uma das firmas precursoras nesse ramo já havia se retirado do mercado.

Essas questões foram levadas à Diretoria Executiva I da CNEN que, após avaliação, determinou, no final de 1985, uma série de providências a serem tomadas pelo então Departamento de Instalações e Materiais Nucleares, DIN, hoje Coordenação de Instalações Nucleares e Radiativas.

Durante o ano de 1986, diversas instituições internacionais foram consultadas, pelo DIN/CNEN, sobre a utilização de materiais radioativos em pára-raios. Ficou evidente que diversos países não permitiam ou haviam proibido o emprego de radioisótopos na fabricação de pára-raios, podendo ser citadas como exemplo a Holanda, a Suíça, a Alemanha, a França e a Espanha.

Acrescenta-se o fato de alguns peritos do Reino Unido serem de opinião que o desempenho de pára-raios "radioativos" não era superior ao daqueles convencionais, quando instalados na mesma posição (Ref. 6), corroborando o parecer da USP.

Outros aspectos que preocupavam os técnicos da CNEN eram:

- o fato da vida útil de um captor iônico (da ordem de 10 a 30 anos) ser muito inferior à meia vida do isótopo afixado ao mesmo (para o Amerício-241, cerca de 432 anos) e
- a inexistência de um programa de fiscalização para verificação da estanqueidade dos materiais radioativos afixados aos pára-raios instalados no país.

Os argumentos citados acima, quais sejam,

- (1) a não comprovação da maior eficácia dos captosres radioativos em relação aos convencionais;

- (2) a não disseminação do uso desses dispositivos em países desenvolvidos;
 - (3) a dificuldade de controle adequado pelo órgão fiscalizador;
 - (4) a longa vida do radioisótopo utilizado, comparada com a vida útil desse captor e
 - (5) a possibilidade de perda de selagem das fontes radioativas, pela ação das intempéries
- foram formalizados junto à direção da CNEN, através de uma Comunicação Interna, (CI), acompanhada de diversos anexos, em novembro de 1986.

A partir da citada CI, foi iniciado um processo pela Procuradoria Jurídica, para avaliar a jurisdição da CNEN sobre a matéria e demais providências, tendo sido posteriormente solicitado o parecer do Instituto de Radioproteção e Dosimetria, IRD/CNEN. Esse Instituto mostrou-se, também, totalmente favorável à proibição de pára-raios radioativos no Brasil, corroborando os termos da documentação encaminhada pelo então DIN/CNEN.

Com a aprovação da Norma CNEN-NE-3.01, Diretrizes Básicas de Radioproteção, em agosto de 1988, pela Comissão Deliberativa da CNEN, entrou em vigor no Brasil uma nova filosofia de proteção, já adotada mundialmente, baseada em três princípios básicos: o Princípio da Justificação, o Princípio da Otimização e o Princípio da Limitação de Dose.

A Procuradoria Jurídica da CNEN, amparada pelo Princípio da Justificação, qual seja, " qualquer atividade envolvendo radiação ou exposição deve ser justificada em relação a outras alternativas e produzir um benefício líquido positivo para a sociedade " pôde então elaborar os termos da Resolução que suspendeu a concessão de autorização para utilização de material radioativo em pára-raios e determinou o recolhimento à CNEN do material radioativo remanescente dos pára-raios desativados (Ref. 7).

A REMESSA DE PÁRA-RAIOS RADIOATIVOS PARA OS INSTITUTOS DA CNEN

Depois do acidente radiológico de Goiânia, ocorrido em setembro de 1987 e envolvendo uma fonte de Cs-137 com uma atividade de 1375 Curies, a população brasileira despertou para os perigos da radiação ionizante. O pouco conhecimento sobre a matéria e o medo do desconhecido fizeram com que todo e qualquer material radioativo passasse a ser encarado por muitos e por boa parte da imprensa como ameaça à saúde do indivíduo.

Com a publicação da Resolução 04/89 e consequente divulgação da mesma em revistas especializadas, a CNEN foi procurada por representantes de diversas instituições, incluindo condomínios e igrejas, para obtenção de orientação quanto a procedimentos de manuseio e remessa de pára-raios para seus Institutos.

Os técnicos da CNEN, percebendo que os detentores de pára-raios radioativos não possuíam treinamento em radioproteção nem equipamentos de monitoração de radiação, elaboraram procedimentos simplificados, mas bastante conservativos, para o acondicionamento e transporte desses dispositivos, com o requerido grau de segurança. Constam no Anexo I o arrazoado técnico que permitiu a simplificação dos requisitos para manuseio e transporte de pára-

raios "radioativos" e os respectivos procedimentos.

Os Institutos da CNEN no Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte vêm recebendo, rotineiramente, tais dispositivos para armazenamento provisório, encaminhados em conformidade com as instruções recebidas da CNEN/Unidade Botafogo, pelo correio.

O AMERICIO-241

O Americio-241 foi identificado em 1944, no atual Argonne National Laboratory da Universidade de Chicago, como resultado de sucessivas capturas neutrônicas por isótopos de plutônio, conforme pode ser visto abaixo:



O Americio 241, cuja meia-vida é da ordem de 432 anos, decai, através da emissão de partículas α , nas seguintes proporções:

- (a) 85 % em α de 5,49 MeV, para Np-237m que, por sua vez, emite um gama de 0,06 MeV e
- (b) 13 % em α de 5,44 MeV, para Np-237m que, também emite um gama, desta vez de 0,103 MeV.

A cadeia completa de decaimento do Am-241 é apresentada a seguir:

Am-241 -> Np-237m -> Np-237 -> Pa-233 -> U-233 -> Th-229 -> Ra-225
-> Ac-225 -> Fr-221 -> At-217 -> Bi-213 -> Po-213 -> Pb-209
-> Bi-209, estável.

A produção mundial de Americio foi de 3 kg em 1963, 13 kg em 1965, 29 kg em 1967, 36 kg em 1969 e 47 kg em 1971 (Ref.8).

O valor da constante gama do Am-241 é de 0,016 R.m²/Ci.h (Ref.9). Assim, a taxa de exposição esperada a 1 (um) metro de distância de uma fonte de 1 Ci de atividade é de 16 mR/h.

A atividade específica do Am-241 é 3,434 Ci/g (Ref.10).

RISCOS ASSOCIADOS A PARA-RAIOS "RADIOATIVOS"

As fontes empregadas nos captadores iônicos são obtidas através do corte de fitas metálicas em cujo cerne foi laminado um briquete de Óxido de Americio (Am O₂).

As fitas possuem, tipicamente, uma largura de parte ativa de 12,5 mm, largura total de 20 mm e atividade linear de 240 μ Ci/cm.

A maior quantidade de Am-241 utilizada pelos fabricantes em um unico pára-raios foi de 5,75 mCi (19,75 mg), correspondendo a um raio de ação de 250 metros. Convém observar, no entanto, que a grande maioria dos pára-raios comercializados possui, no máximo, uma atividade de 2,25 mCi de Am-241.

Dois tipos de efeitos biológicos podem ser causados pela radiação, quais sejam:

(1) Efeitos Estocásticos-> são efeitos cuja probabilidade de ocorrência aumenta com o aumento da dose que, por sua vez, é função da quantidade de material radioativo ingerido no caso de irradiação interna, e do tempo de permanência e proximidade da fonte, no caso de irradiação externa. Para esses efeitos, não existe limiar, isto é, qualquer dose, por menor que seja, corresponde a um risco de desenvolvimento de câncer, cujo período de latência, é de, no mínimo, 10 anos.

(2) Efeitos Não Estocásticos -> são efeitos para os quais existe um limiar de dose para ocorrência, sendo que a severidade aumenta com a dose. Dentre os efeitos não estocásticos encontram-se a catarata, a infertilidade temporária ou permanente, as deficiências hematológicas, as hemorragias, a queda de cabelos, o vômito, a diarreia e, em casos extremos, a morte.

(A) RISCO ASSOCIADO A IRRADIAÇÃO EXTERNA

Com o objetivo de apresentar uma análise conservativa, será considerada a maior quantidade de Am-241 que pode ser encontrada em um pára-raios.

Assim, um pára-raios contendo 5,75 mCi de Am-241 apresentaria uma taxa de exposição, a 1 metro do mesmo, de 92 μ R/h e, conseqüentemente, uma taxa de dose de 92 μ rem/h.

Como o limite de dose anual estabelecido para o indivíduo do público, pela CNEN, é de 100 mrem (Ref.5), seria necessária a permanência de cerca de 1087 horas a 1 metro desse dispositivo, (45 dias por ano) para que o limite de dose fosse excedido.

O valor de 100 mrem é da ordem de grandeza da dose de radiação natural que a população está sujeita devido a radiação cósmica, a radiação proveniente dos elementos radioativos encontrados naturalmente na crosta terrestre e da radiação resultante da ingestão de água e de alimentos. Esta dose foi calculada com base nos efeitos estocásticos.

Atualmente, é reconhecido internacionalmente que o limite de risco para mortalidade por câncer induzido pela radiação é de 0,02 por Sv (Ref.11), ou seja, 2×10^{-4} por rem.

O limite de dose adotado pela CNEN para o indivíduo do público equivale a um risco de 10^{-5} , risco bem inferior ao de morte devido a acidente de carro que é de 10^{-4} , da ordem do risco de morte por afogamento e incêndio que é também de 10^{-5} e superior apenas aos riscos de morte por eletrocussão e queda de raio, ambos de 10^{-7} .

Assim sendo, o valor máximo estimado para a taxa de dose a 1 metro de um captor "radioativo", 92 μ rem/h, corresponde a uma taxa de risco em função do tempo de permanência do indivíduo de 92×10^{-10} por hora.

Comparativamente, para chegar ao mesmo grau de risco de morte devido à queda de raio ou eletrecussão seria necessário que um indivíduo permanecesse, anualmente, cerca de 11 horas a 1 (um) metro de distância do captor de maior alcance e cerca de 28 horas a um metro dos captores mais comercializados.

Considerando que pára-raios são instalados em locais de difícil acesso e levando em conta o acima exposto, pode-se afirmar que o risco de irradiação externa que um indivíduo estaria sujeito devido à presença de tais captores é desprezível.

(B) RISCO ASSOCIADO A IRRADIAÇÃO INTERNA

Para uma avaliação dos riscos envolvidos, devido à irradiação interna, é necessário estimar, primeiramente, a quantidade de Am-241 possível de ser ingerida ou inalada por um indivíduo do público que manuseasse inadvertidamente um captor iônico.

Os ensaios de liberação de atividade pelas fontes de Am-241 montadas nos suportes de captores, realizados pelo IPEN, quais sejam, testes de imersão e de lixiviação por ultra-som, (Ref.12) resultaram, em alguns casos, numa liberação máxima de 134 nCi.

O limite de incorporação anual (LIA) por ingestão de Am-241 que resultaria numa dose equivalente efetiva comprometida para o trabalhador de 50 mSv (5 rem) é de 1,35 μ Ci e de 2,43 μ Ci para uma dose equivalente comprometida no órgão crítico de 500 mSv (50 rem) (Ref.5).

De uma forma conservativa, se um indivíduo ingerisse toda a quantidade lixiviada (134 nCi = 0,134 μ Ci) o mesmo receberia uma dose equivalente comprometida da ordem de 5 mSv (500 mrem), dose esta 5 vezes superior ao limite estabelecido para o público, mas 10 vezes inferior ao limite estabelecido para o trabalhador com radiação ionizante. Esta mesma quantidade poderia também resultar numa dose equivalente comprometida nos rins de 2.76 mSv (2.76 rem), cerca de 6 vezes inferior ao limite estabelecido para público. (utilizando um fator de peso para o órgão de 0,06).

O risco associado à ingestão inadvertida de Am-241 aliado ao elevado número de pára-raios instalados (cerca de 100.000.) levou a CNEN a estabelecer e divulgar procedimentos específicos de radioproteção para o manuseio, acondicionamento e transporte de pára-raios desativados, conforme descrito no Anexo I.

A devolução destes captores para a CNEN é importantíssima para evitar a dispersão desnecessária de materiais radioativos no meio ambiente.

CONCLUSÕES

O presente artigo teve como objetivo apresentar, de forma concisa, uma série de informações relacionadas a pára-raios "radioativos", em particular as causas que levaram a Comissão Nacional de Energia Nuclear a proibir a utilização de materiais radioativos em pára-raios.

O PERIGO de irradiação associado à presença de Americio em pára-raios é pequeno mas não se justifica, uma vez que a eficácia

de PROTEÇÃO contra descargas elétricas é equivalente à oferecida por pára-raios convencionais.

Os pára-raios "radioativos" devem ser manuseados e transportados em conformidade com os procedimentos de radioproteção estabelecidos e, à medida que forem desativados, devem ser entregues à CNEN para o adequado armazenamento e deposição final.

REFERÊNCIAS

- 1 - LEITE, D. M. (1980) - Parecer Técnico Oficial No 80/03, Instituto de Eletrotécnica da USP.
- 2 - OLIVEIRA, A. (1984) - Considerações a respeito do Parecer Técnico Oficial No 80/03, emitido pelo Instituto de Eletrotécnica da USP-Amerion Indústria e Comércio de Para-Raios Ltda, São Paulo.
- 3 - RESOLUÇÃO CNEN 06/73- Normas Básicas de Proteção Radiológica, publicada no D.O.U em 19.9.73.
- 4 - RESOLUÇÃO CNEN 09/84-Licenciamento de Instalações Radiativas, CNEN-NE-6.02, publicada no D.O.U em 14.12.84.
- 5 - RESOLUÇÃO CNEN 12/88 - Diretrizes Básicas de Radioproteção, CNEN-NE-3.01, publicada no D.O.U em 01.8.88.
- 6 - A.KNIGHT (1980) - Private Communication B 30/24 de 22.10.80, National Radiological Protection Board, Harwell, Didcot, Oxfordshire, Inglaterra.
- 7 - RESOLUÇÃO CNEN 04/89, de 19.04.89, publicada no D.O.U em 09.05.89.
- 8 - TABLE DES ISOTOPES (1965) - PAR MOULINS-LÉS-METZ (MOSELLE).
- 9 - STRAHLENSCHUTZ (1977) - Herausgegeben von der Bundeskanzlei - Bern, Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen-und Materialzentrale, 3000 Bern.
- 10 - SAFETY SERIES N º 37 (1987) - Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (1985 Edition)- International Atomic Energy Agency , Vienna.
- 11 - LUIZ TAUHATA, ELIZABETH SANTOS DE ALMEIDA (1984) - Radiações Nucleares - Curso Programado - Ministério das Minas e Energia - Comissão Nacional de Energia Nuclear.
- 12 - CASTAGNET, A.C.; SAMPA, M.H e ROSTELATO, M.E. (1987) - Testes de Estanqueidade em Fontes de Am-241 Utilizadas na Construção de Pára-Raios Iônicos - Diretoria de Aplicações de Técnicas Nucleares, IPEN - CNEN/SP, Março de 1987.
- 13 - SAFETY SERIES Nº 7 (1987) - Explanatory Material for the IAEA Regulation for the Safe Transport of Radioactive Material (1985 Edition)- International Atomic Energy Agency, Vienna.

ANEXO I

DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE ATIVIDADE PARA EMBALADO EXCEPTIVO CONTENDO UM PÁRA-RAIOS "RADIOATIVO"

No caso específico de transporte de pára-raios contendo fontes não seladas de Am-241 afixadas ao mesmo, o valor máximo permissível de atividade a ser transportada em uma embalagem do Tipo A deve ser calculado tomando como base o sistema Q (Ref.13).

Este sistema adota como fator limitante para a atividade o mais restritivo dentre os seguintes componentes:

Q_A -> dose externa devido a fótons

Q_B -> dose externa devido a emissores beta

Q_C -> dose interna devido a inalação

Q_D -> dose devido a contaminação de pele e ingestão

Q_E -> dose devido a imersão em nuvem de isótopos gasosos

No caso específico de Am-241, o valor mais restritivo é determinado pelo fator Q_C .

O cálculo de Q_C baseia-se no Limite de Incorporação Anual (LIA) e leva em consideração a fuga de material radioativo durante um acidente de médio porte com liberação de 10^{-3} do conteúdo, sendo que 10^{-3} dessa liberação seria incorporada por um indivíduo. Assim,

$$Q_C = \frac{LIA \text{ (Bq)}}{10^6} \text{ TBq}$$

Como cada fita de Am-241 afixada em pára-raios possui apenas cerca de 1% de sua área superficial passível de contato direto com radioisótopo (área não selada) pode-se esperar que a probabilidade de fuga seja de 100 vezes menor, ou seja :

$$A_2 = Q_C = LIA \text{ (Bq)} / 10^4 = 2 \times 10^{-2} \text{ TBq}$$

Uma vez que a atividade máxima contida em um pára-raios é da ordem de 5 mCi ($1,85 \times 10^{-2}$ TBq), este dispositivo poderá ser classificado como Instrumento/Artigo e o embalado metálico que o contenha, com capacidade mínima de 40 litros, como exceptivo uma vez que para essas condições, teremos:

(1) Taxa de Dose a 10 cm do dispositivo não embalado < 10 mrem/h

(2) Taxa de Dose na superfície do embalado < 0,5 mrem/h.

PROCEDIMENTO PARA ACONDICIONAMENTO DOS PÁRA-RAIOS

- 1 - Utilizar, conforme apropriado, uma ou mais embalagens metálicas robustas com capacidade mínima de 40 litros e com sistema de fechamento que garanta a vedação do embalado durante todo o transporte;
- 2 - ter disponíveis luvas, saco plástico, fita adesiva, um rótulo com os dizeres "Material Radioativo", material absorvedor de choque (isopor fragmentado, por exemplo) e documentação de transporte;
- 3 - Colocar, uniformemente, uma camada de material absorvedor de choque no fundo da embalagem;
- 4 - Colocar o saco plástico, aberto, no interior da embalagem;
- 5 - Calçar as luvas;
- 6 - Retirar a haste do pára-raios e colocá-la no interior da embalagem;
- 7 - retirar as luvas, colocando-as também dentro do saco plástico;
- 8 - Fechar o saco plástico, utilizando fita adesiva;
- 9 - Manter o dispositivo, contido no saco, no centro da embalagem e preencher os espaços vazios com o material absorvedor de choque;
- 10 - Afixar o rótulo com os dizeres "Material Radioativo" no interior do embalado em local visível quando da abertura do mesmo;
- 11 - fechar a embalagem;
- 12 - Completar o preenchimento da documentação de transporte em anexo com os dados pertinentes à instituição expedidora.

Obs: O transporte de embalados exceptivos não requer sinalização externa específica e pode ser realizado por qualquer meio de transporte (exceto correios).

"ESTE ENVELOPE CONTÉM INFORMAÇÕES IMPORTANTES. LEIA - O CUIDADOSAMENTE ANTES DE INICIAR SUA VIAGEM;"
"EM CASO DE EMERGÊNCIA ESTACIONE, SE POSSÍVEL, EM ÁREA VAZIA. AVISE À POLÍCIA E AOS BOMBEIROS. TELEFONE A COBRAR PARA SEU PONTO DE CARREGAMENTO OU PARA O TELEFONE (021) 546-2232 RAMAIS 322, 374 OU 394."

DOCUMENTOS QUE ACOMPANHAM O TRANSPORTE

LOGOTIPO DO
EXPEDIDOR

- DECLARAÇÃO DO EXPEDIDOR DE MATERIAIS RADIOATIVOS
- FICHA DE EMERGÊNCIA

- OUTROS :
- TELEFONES DE EMERGÊNCIA
- CNEN/RJ/SEDE: (021) 546-2232, RAMAIS: 394, 374, OU 322
- CNEN/RJ/IRD : (021) 342-5533 OU 342-5633
- PLANTÃO DE EMERGÊNCIA DO DIN: (021) 266-4545, BIP 2 MAL OU B10
- CNEN/IPEN/SP (PROTEÇÃO RADIOLÓGICA): (011) 211-6011
- POLÍCIA : 190
- DEFESA CIVIL : 199
- CORPO DE BOMBEIROS: 193
- FEEMA/RJ : (021) 580-9223, 580-8338 OU 580-8089
- CETESB / SP: (011) 210-1100

TRANSPORTADOR :

OUTRAS PROVIDÊNCIAS NECESSÁRIAS

- ISOLAR A ÁREA AFASTANDO OS CURIOSOS
- SINALIZAR O LOCAL DO ACIDENTE
- ELIMINAR OU MANTER LONGE TODOS OS FOCOS DE IGNIÇÃO, TAIS COMO :
CIGARROS , MOTORES , LANTERNAS, ETC.
- PROCURAR ATENDER AS RECOMENDAÇÕES DAS FICHAS DE EMERGÊNCIA
- ENTREGAR AS FICHAS DE EMERGÊNCIA AOS SOCORROS PÚBLICOS ASSIM
QUE CHEGAREM.
- COMUNICAR IMEDIATAMENTE AO TRANSPORTADOR, AO EMBARCADOR DO
PRODUTO, AO CORPO DE BOMBEIROS E A POLÍCIA

DECLARAÇÃO DO EXPEDIDOR DE MATERIAIS RADIOATIVOS (ONU-CLASSE 7)

NÚMERO ONU
2910

ESTA REMESSA ESTÁ DENTRO DAS LIMITAÇÕES PRESCRITAS PARA:
VEÍCULO DE PASSAGEIRO E CARGA

VEÍCULO APENAS DE CARGA

NATUREZA E ATIVIDADE MÁXIMA DO CONTEÚDO

EMBALADO

RADIONUCLÍDEO	FORMA	ATIVIDADE	NÚMERO DE EMBALADOS	CATEGORIA	IND. TRANSP.	TIPO	
NOME OU SÍMBOLO DO PRINCIPAL CONTEÚDO RADIOATIVO Am-241	<input type="checkbox"/> SOB FORMA ESPECIAL <input type="checkbox"/> BAE - I <input type="checkbox"/> BAE - II <input type="checkbox"/> BAE - III <input type="checkbox"/> OCS - I <input type="checkbox"/> OCS - II <input checked="" type="checkbox"/> OUTRAS FORMAS (ESPECIFICAR) Instr./Artigo	FORMA QUÍMICA E ESTADO FÍSICO (GASOSO, LÍQUIDO OU SÓLIDO). SÓLIDO	EMBECQUEREL 18,5 x 10 ⁷	01	<input type="checkbox"/> I-BRANCO <input type="checkbox"/> II-AMARELO <input type="checkbox"/> III-AMARELO <input type="checkbox"/> III-AMARELO SOB USO EXCLUSIVO <input checked="" type="checkbox"/> ISENTIO	APENAS PARA CATEGORIAS DE ROTULO AMARELO. []	<input checked="" type="checkbox"/> EXCEPTIVO <input type="checkbox"/> EI - I <input type="checkbox"/> EI II <input type="checkbox"/> EI - III <input type="checkbox"/> TIPO A <input type="checkbox"/> TIPO B (U) <input type="checkbox"/> TIPO B (M)

CERTIFICADOS ADICIONAIS OBTIDOS PELO EXPEDIDOR

- CERTIFICADO P/MAT. RADIOATIVO SOB FORMA ESPECIAL
- CERTIFICADO DE APROVAÇÃO DE PROJETO DE EMBALADO
- CERTIFICADO DE APROVAÇÃO NORMAL DE TRANSPORTE
- CERTIFICADO DE APROVAÇÃO ESPECIAL DE TRANSPORTE

MARCA E IDENTIFICAÇÃO DA AUT. COMP. (PAÍS/Nº/ COD.)

BR/006/XI

MATERIAL FISSIL

MATERIAL NÃO FISSIL

INFORMAÇÕES ESPECIAIS DE MANUSEIO

"ATESTO QUE OS ITENS E MATERIAIS CONTIDOS NESTA EXPEDIÇÃO ESTÃO PRECISA E COMPLETAMENTE DESCRITOS ACIMA PELOS RESPECTIVOS NOMES PARA TRANSPORTE, BEM COMO DEVIDAMENTE CLASSIFICADOS, ACONDICIONADOS, MARCADOS E ROTULADOS, ENCONTRANDO-SE, SOB TODOS ASPECTOS, EM CONDIÇÕES APROPRIADAS PARA TRANSPORTE (* RODOVIA) DE ACORDO COM OS REGULAMENTOS E NORMAS GOVERNAMENTAIS NACIONAIS E INTERNACIONAIS APLICÁVEIS"

NOME E ENDEREÇO COMPLETO DO EXPEDIDOR

NOME E TÍTULO DA PESSOA QUE ASSINA A DECLARAÇÃO

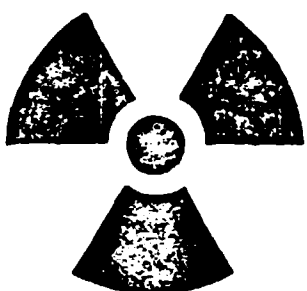
DATA:

ASSINATURA:

LOCAL DE EMBARQUE:

DESTINO:

OBS.: A INOBSERVÂNCIA DOS PRECEITOS CONTIDOS NA NORMA CNEN-NE-8.01, BEM COMO EM DEMAIS REGULAMENTAÇÕES PERTINENTES AO TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS, SUJEITA O INFRATOR A PENALIDADES LEGAIS APLICÁVEIS. ESTA DECLARAÇÃO SÓ TERÁ VALIDADE SE ASSINADA PELO EXPEDIDOR DA CARGA NO PAÍS. (* INSERIR OS MODOS DE TRANSPORTE ENVOLVIDOS)

LOGOTIPO DA EMPRESA	FICHA DE EMERGÊNCIA		Símbolo de Risco 
	Nome do Produto Am-241 (PARA-RAIOS)		
TEL:	Número da ONU 2910		EMBALADO EXCEPTIVO

Aspecto: EMBALAGEM CILÍNDRICA METÁLICA

RISCOS

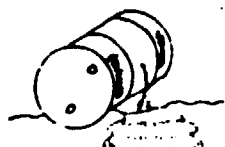


FOGO: Material absorvedor de choque contido no embalado é inflamável.

SAÚDE: Possibilidade de pequena contaminação apenas em caso de manuseio inadequado do dispositivo contido na embalagem.

MEIO AMBIENTE: Possibilidade de pequena contaminação caso ocorra perda de contenção da embalagem.

Outros:

EM CASO DE ACIDENTE

SE ISTO OCORRER	FAÇA ISTO
 Vazamento	Isolar o embalado danificado, sinalizar a área e manter pessoas afastadas. Não tentar resgatar a fonte, exceto com pessoas especializadas. Comunicar à CNEN imediatamente - Tel. (021) 546-2232. Comunicar: _____
 Fogo	Não remover o embalado danificado. Comunicar à CNEN. Se for seguro, retirar o embalado íntegro da zona de incêndio e resfriar a embalagem com água corrente até o término da operação de combate ao fogo. (Ponto de Fusão = 9940C e Ponto de Ebulição = 2607 9C)
Poluição	Isolar a área afetada e evitar a dispersão de material radioativo
 Envolvimento de Pessoas	Ministrar primeiros socorros de acordo com a natureza dos ferimentos. Registrar os nomes e endereços dos envolvidos e encaminhar para tratamento médico adequado. Comunicar: _____
Informações ao médico	Produto de radiotoxidez muito alta. Órgãos críticos: rins, ossos e pulmões. Contactar CNEN, Plantão de Emergência, (021) 5462232 (011) 2116011

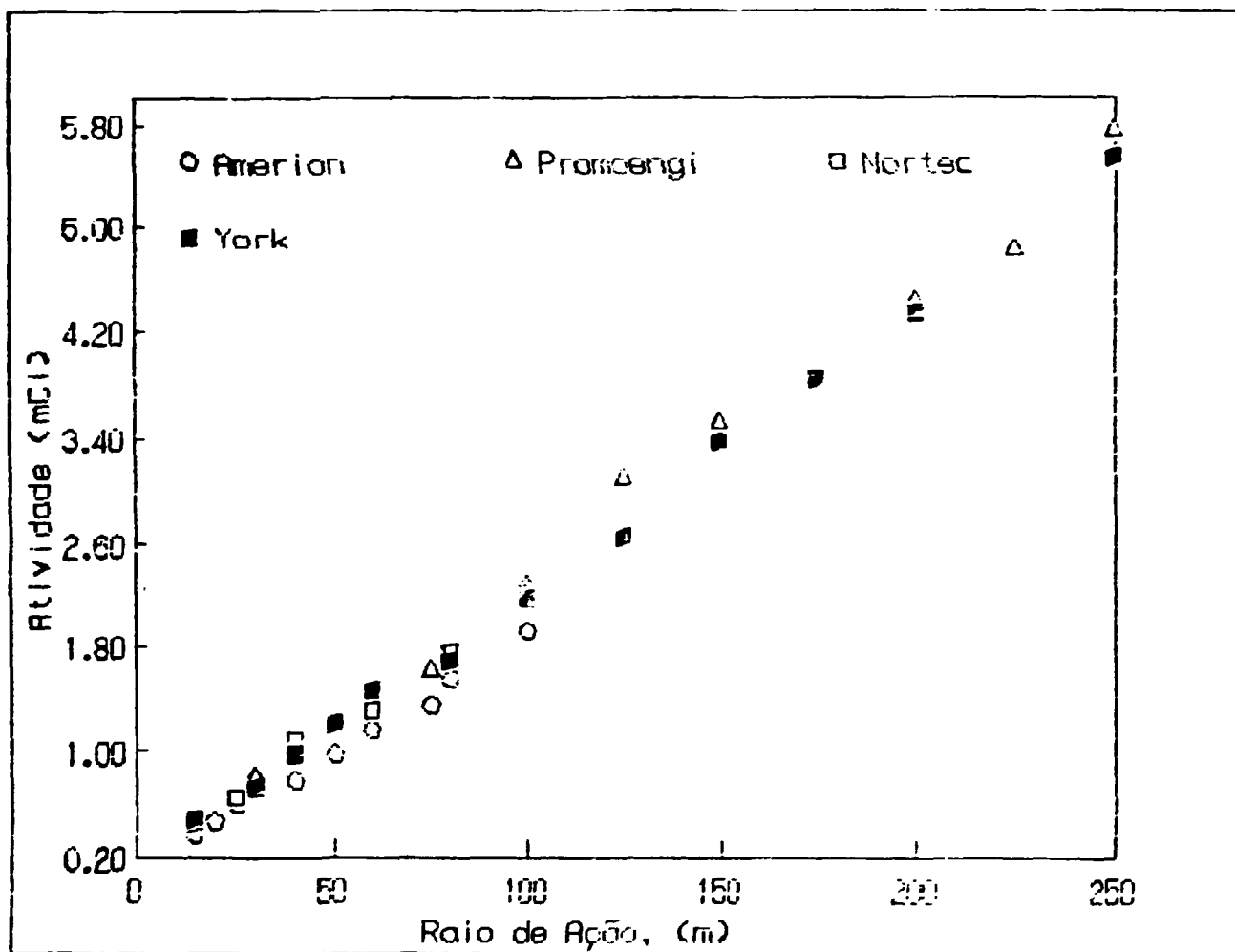


Figura 1 - Relação entre a quantidade, em mCi, de Amerício-241 utilizada em pára-raios e o raio de proteção correspondente, conforme divulgado por fabricantes.

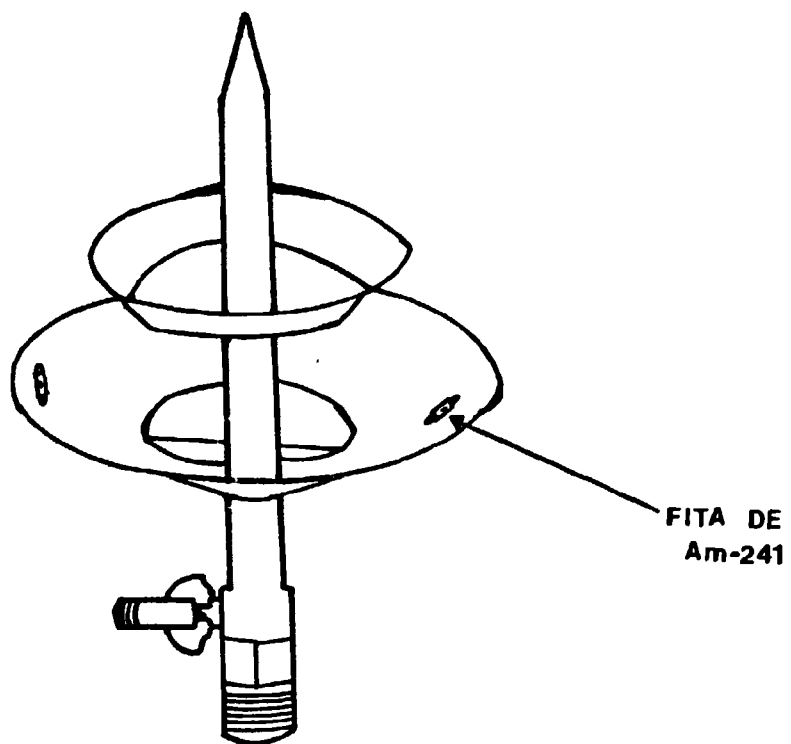


Figura 2 - Modelo de p̄ara-raios "radioativo" comercializado no Brasil