

**Descrição de eventos em instalação radiativa de inspeção de segurança de cargas e contêineres rodoviários****Description of events in radioactive security inspection installation of road cargo and containers**

DOI:10.34119/bjhrv3n3-154

Recebimento dos originais: 20/04/2020

Aceitação para publicação: 06/06/2020

**Wilson Seraine da Silva Filho**

Mestre em Ensino de Ciências e Matemática

Instituição: IFPI - Instituto Federal do Piauí

Endereço: R. Álvaro Mendes, 94 - Centro (Sul), Teresina - PI, 64001-270

E-mail: wilson.seraine@ifpi.edu.br

**Samuel Queiroz Pelegrineli**

Mestre em Engenharia Nuclear

Instituição: Faculdade Bezzera de Araújo

Endereço: R. Álvaro Mendes, 94 - Centro (Sul), Teresina - PI, 64001-270

Instituição: UFRJ

Endereço: Ilha do Fundão, Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ

E-mail: samuelfisica@yahoo.com.br

**RESUMO**

O presente trabalho é o resultado de uma pesquisa aplicada, descritiva, qualitativa e viabilizada a partir do estudo de dez casos hipotéticos, mas factíveis no universo de controle da radiação ionizante. Neste estudo foram identificadas e catalogadas maneiras de evitar eventos em uma instalação radiativa de escâneres de caminhão e contêineres através das observações de eventos indicadores entendidos como propícios para tais ocorrências. Além de estudos paradigmas, serviram de base para esta pesquisa observações realizadas em visita in loco a um escâner de caminhão e contêiner na cidade de Tianguá. Para o desenvolvimento da análise, foram adotados os seguintes parâmetros: a) evento indicador; b) evento iniciador; c) consequências; d) sugestões de prevenção para mitigar ou evitar tais eventos. A contribuição indelével deste estudo associa-se à forma de analisar possíveis eventos em uma instalação radiativa, não necessariamente uma instalação de escâneres de caminhão e contêiner, mas quaisquer instalações radiativas na área de saúde, nuclear ou industrial. O método de descrição de eventos se mostra assaz satisfatório, pois, de uma maneira bem generalista, expõe todos os possíveis pontos na instalação de ocorrê-los e apontar formas de mitigá-los ou evitá-los.

**Palavras-chave:** Proteção radiológica, Acelerador linear, Instalação radiativa, Inspeção de carga e contêiner.

**ABSTRACT**

The present work is the result of an applied, descriptive, qualitative research made possible from the study of ten hypothetical cases, but feasible in the universe of ionizing radiation control. In this study we identified and cataloged ways to avoid events in a radioactive installation of truck scanners and containers by observing indicator events understood as conducive to such occurrences. In addition to paradigm studies, observations made during an on-site visit to a truck and container scanner in the city of Tianguá were the basis for this research. For the development of the analysis, the following

parameters were adopted: a) indicator event; b) initiating event; c) consequences; d) prevention suggestions to mitigate or prevent such events. The indelible contribution of this study is associated with how to analyze possible events in a radioactive facility, not necessarily a truck and container scanner facility, but any healthcare facilities, nuclear or industrial. The method of describing events is quite satisfactory because, in a very general way, it exposes all possible points in the installation of occurring them and pointing out ways to mitigate or avoid them.

**Keywords:** Radiological protection, Linear accelerator, Radiative installation, Cargo and container inspection.

## 1 INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, os sistemas de inspeções de imagens de carga destinam-se, via de regra, a identificarem práticas ilegais, como tráfico de armas, explosivos, drogas, contrabando de mercadorias e, até, tráfico de seres humanos. O procedimento é realizado através da geração de imagens obtidas a partir do escaneamento de objetos, como contêineres de carga, veículos desocupados, trens, caminhões ou barcos. Estes sistemas ganharam popularidade na última década e seu uso expandiu-se rapidamente [1].

Atualmente, no Brasil, existem quarenta e oito instalações devidamente autorizadas que utilizam os aceleradores lineares para a prática de inspeção de bagagem e contêineres [2]. Com tantas instalações radiativas com tal finalidade, a CNEN, em 2016, lança o Guia de Licenciamento de Instalações de Inspeção de Bagagem e Contêineres.

No bojo da Resolução CNEM-NN-6.02 [3], não é possível visualizar a descrição de parâmetros e critérios técnicos, residindo aí uma lacuna que precisava ser preenchida, fosse por outra resolução, pela produção acadêmica ou, como parece mais adequado, por ambas as vias. Para suprir a deficiência citada, o Guia de Licenciamento surge para delimitar ações para a elaboração de procedimentos operacionais padrões devidamente seguros.

O objetivo deste trabalho é descrever dez eventos que podem ocorrer em uma instalação de escâneres de caminhão e contêiner. Bem como, apontar estratégias viáveis para mitigar e/ou evitar que tais eventos incorram em exposição para trabalhadores e público.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho utiliza como base, trabalhos científicos e estudos que envolvem aceleradores de partículas, condições de segurança em proteção radiológicas *visita in loco*.

Os eventos descritos nesse trabalho foram escolhidos em uma instalação de inspeção de segurança que possui um acelerador linear - LINAC FS 6000. Tal *visita in loco*, foi realizada no dia 10 de setembro de 2018, nas instalações do LINAC FS 6000, que funciona próximo à divisa dos

estados Piauí e Ceará, na cidade cearense de Tianguá, no posto fiscal da Secretaria de Fazenda daquele Estado.

### **3 RESULTADOS E DISCURSÕES**

#### **Descrição dos eventos**

##### **Evento 1: falha no sistema de câmeras de vídeo**

O primeiro contexto analisado foi falha no sistema de câmeras de vídeo e não por acaso, trata-se de uma falha assaz comum em todos os locais que necessitam de monitoramento visual, sendo, portanto, um evento facilmente identificável a perda das imagens nos monitores na sala de controle.

A pane aqui considerada pode ser causada por acidentes, naturais ou não, alheios equipamentos monitorado, tais como: raios de tempestade, queima do transformador de alimentação da rede do escâner, choques de veículo com poste de alimentação do escâner, choque de objetos voadores (pilotados ou não) com a rede elétrica, entre outros. O evento 1 também pode ocorrer por queima, quebra ou danos que atinjam o equipamento, as câmeras ou os monitores.

A consequência da falha descrita no evento 1 é a não visualização da entrada e saída dos veículos no pátio de inspeção; portanto, não haveria a devida identificação dos mesmos. Para evitar tal evento é necessário um gerador a diesel ou a bateria com capacidade (potência) suficiente para que na falta da energia elétrica da rede externa, o escâner não pare seu funcionamento, como também a manutenção periódica de todos os equipamentos necessários para a devida visualização externa.

##### **Evento 2: presença de pessoas dentro da área controlada**

O evento 2 é iniciado pela presença de pessoas dentro da área controlada. Tal situação pode ser identificada pelas câmeras de segurança ou pelo operador que faz o monitoramento de entrada e saída dos veículos. As pessoas na área controlada podem ser IOE ou pessoas do público.

Pode-se, assim, identificar duas situações distintas para tal evento: uma com o irradiador desligado e outra, com o irradiador ligado. Na primeira situação, os seguranças de plantão ou o policiamento local devem retirar imediatamente a pessoa que invadiu a área controlada, o que não ocasionaria nenhuma consequência ao indivíduo. Na segunda situação, com o irradiador ligado, poderia haver uma exposição da pessoa que está na área controlada à doses de radiação, o que pode ser classificado como um acidente muito grave. Os seguranças da instalação não poderiam, nesse caso, adentrar a área sem antes efetuar o desligamento do irradiador.

O evento 2 é deveras preocupante, primeiro porque vislumbra uma fragilidade do isolamento da área controlada, segundo porque coloca em risco a segurança da(s) pessoa(s) que adentrar(em) na

área isolada. Tal situação se torna extremamente grave caso aconteça um acidente, pois o SPR seria responsabilizado pela dose recebida pela pessoa invasora. Portanto, torna-se primaz o treinamento dos IOEs e dos seguranças/policiamento que fazem a segurança da instalação para debelar os riscos de tal fato ocorrer ou, na ocorrência, minimizar as consequências da situação de exposição.

A inibição de invasão na área de irradiação pode se dar por ação ostensiva ou mesmo preventiva, como, por exemplo, verificar a sinalização da advertência apropriada. Normalmente, como as áreas isoladas costumam ficar a céu aberto, a exposição de placas informativas ao sol e outras intempéries pode danificá-las, o que torna a verificação uma necessidade periódica.

### **Evento 3: falha nos monitores de radiação portáteis**

O evento 3 é a falha nos monitores de radiação portáteis. A identificação de tal evento dá-se na aferição dos aparelhos com fontes de baixa atividade (fonte de aferição), de maneira simples, através da aferição diária dos monitores portáteis de radiação, sendo possíveis duas possibilidades para tal falha: primeiro, a bateria fraca ou descarregada, resultando em um monitor que não funcionaria; e, segundo, o monitor não faria a leitura correta da taxa de dose da fonte de aferição. O monitor, portanto, estaria descalibrado.

Tal evento pode incorrer em erros na leitura dos monitores quando do levantamento radiométrico periódico da instalação. O operador deve sempre estar atento para a data de calibração dos monitores, como também os monitores de radiação portáteis devem ser aferidos diariamente com as fontes de aferição, para que sejam identificados possíveis problemas de bateria fraca.

### **Evento 4: falha de comunicação entre sala de comando e área externa**

O evento 4 é a falha de comunicação entre a sala de comando e a área externa. Tal falha pode ocorrer nas caixas de som, no microfone ou nos comunicadores via rádio, em razão do descarregamento das baterias ou por pane do equipamento. O evento pode ser identificado pela incomunicabilidade entre o operador da sala de comando e o operador externo do controle de tráfego. Este evento pode causar transtorno no fluxo de caminhão na área controlada no acesso ao irradiador. A maneira mais correta de não ocorrer o evento 4 é a manutenção regular dos equipamentos e a verificação das baterias dos rádios comunicadores diariamente antes do seu uso.

### **Evento 5: perda da visualização das imagens radiológicas nas telas**

O Evento 5 é identificado pela perda da visualização das imagens radiológicas nas telas dos computadores que as captam, ou seja, no local onde são feitas as análises das imagens geradas pelo

feixe de raio X do irradiador. Tal evento pode ser iniciado por falhas nas placas captadoras dos raios X, por pane nos computadores da sala de comando ou, até, pelos mesmos motivos de acidentes externos, como relatado no evento 1. Como consequência, pode haver paralisação na circulação dos caminhões dentro da área controlada, gerando congestionamento. Outra situação é a de caminhões passando pelo irradiador sem a devida revista na carga transportada, perdendo, assim, a finalidade primaz da instalação que é a de inspeção dos contêineres.

Fazer a manutenção periódica nos monitores de vídeos geradores das imagens radiológicas vistas na sala de controle e manutenção – também nas telas de captura do raio X oriundos do irradiador – é a solução para inibir a ocorrência de tal evento.

### **Evento 6: falha no monitor fixo de área**

O evento 6 é a falha no funcionamento do monitor fixo de área. Esse monitor tem como função verificar se existe taxa de dose no ambiente causada por emissão de radiação gama emitida por fontes transportadas pelos caminhões radiografados. É possível ver a falha no monitor no momento dos testes feitos com fonte de aferição.

Seria muito difícil visualizar pelas imagens radiológicas uma pequena porção de material emissor de raios gama; portanto, faz-se necessário o uso do monitor fixo, colocado na entrada da área controlada. Sendo assim, uma das consequências desse evento é a não identificação do transporte, de forma irregular, de material radioativo, ou seja, o transporte deste material não está em conformidade com as exigências da Norma CNEN-NE-5.01-Transporte de Material Radioativo.

Outra consequência grave desse evento é que, pelo fato dessa fonte não estar devidamente blindada, ocorre a exposição de motoristas e de pessoas do público que por ventura se aproximem do caminhão, podendo causar a exposição à IP. Com o caminhão dentro da área controlada da instalação, pode ocorrer exposição nos IOEs.

Como sugestão basilar para evitar que as consequências do evento 6 ocorram, é necessário fazer o teste diário de funcionamento e aferição do detector fixo de área, da mesma forma como deve ser feito com os monitores portáteis, não esquecendo da calibração no período correto de fazê-lo.

### **Evento 7: pane nos sistemas luminosos e sonoros**

O evento 7 é a pane nos sistemas luminosos e sonoros que indicam quando o motorista deve avançar com o caminhão ou quando o acelerador está ligado. Estes dispositivos estão em lugares diversos da instalação.

O primeiro contato visual com um dispositivo luminoso é na passagem da área livre para a

área controlada, onde o motorista, com alerta verde ou vermelho, identifica o momento de seguir, ou não, com o caminhão. O segundo contato é o momento em que no caminhão, após passar pelos sensores, incidem sinais luminosos e sonoros que indicam a devida autorização para ser escaneado. Como consequência desse evento, o caminhão pode adentrar a área controlada sem a devida autorização do sinal luminoso, fazendo com que o IOE externo tenha que intervir ou (o que seria pior) que o caminhão passe pelo irradiador sem indicação se este está ligado ou não, o que acarretaria uma exposição a alta dose pelo motorista.

Manter a constância em manutenção e teste dos sinais luminosos e sonoros é o que deve ser feito para que tal evento seja coibido e, assim, não ocorra exposição de alguma pessoa ou carga a doses radiativas.

### **Evento 8: pane nos sensores**

O evento 8 é a pane nos sensores. Os sensores são colocados ao longo do canal de inspeção, conforme representado na figura 19, e servem para detectar a posição do veículo. São utilizados 3 modelos de sensores: loop indutivo (laço indutivo), localizados no chão do canal de inspeção, com função de detectar a massa metálica do veículo; sensores infravermelhos (sensores de proximidade) e sensores fotos-sensitivos (sensores fotoelétricos), ambos com a função de detectar a presença e distância do veículo.

É através dos sensores que o sistema do acelerador controla a sincronia da emissão dos raios X com a velocidade do veículo [4]. A causa desse evento será indicada no momento em que o caminhão adentrar na região do irradiador e não for devidamente "lida" pelo sistema a velocidade do caminhão, o que pode ocasionar uma falha na visualização das imagens radiográficas ou, o que seria mais danoso, pode não permitir a devida mensuração do tamanho da boleia do caminhão, resultando numa exposição do motorista ao feixe de raio X do irradiador.

Tal evento não pode, em hipótese alguma, acontecer. Portanto, faz-se necessário um constante monitoramento do funcionamento dos sensores com testes periódicos nos mesmos.

### **Evento 9: falha na blindagem**

O evento 9 é a falha na blindagem disposta em lugares estratégicos com a finalidade de atenuar o feixe de radiação primária e secundária, e garantir que o nível de radiação esteja dentro dos padrões estabelecidos pela CNEN. O irradiador é auto blindado, ou seja, os raios X primários atravessam uma fenda estreita, direcionada somente para os detectores, enquanto, em todas as outras direções, o tungstênio e o chumbo são utilizados como blindagem [4].

Ainda são utilizados como blindagem blocos atrás dos detectores para atenuar o feixe de raios X primários que atingem estes detectores, e paredes de concreto localizadas também atrás dos detectores e da cabine do acelerador, garantindo que o nível de radiação ionizante fora da área controlada permaneça abaixo dos limites determinados pela CNEN [4].

Portanto, o evento não leva em conta o irradiador, já que ele é auto blindado. Nossa preocupação é com a blindagem que deve ser feita na direção do feixe primário que deve ser colocada atrás dos detectores e da cabine do acelerador.

O evento só é identificado quando feito um levantamento radiométrico atrás dos detectores e do irradiador, comprovando que o feixe transpassou a parede de blindagem para a área livre. Como consequência podemos ter IOEs ou IPs expostos ao raio X emitidos. A única solução é o levantamento radiométrico periódico na área livre nos locais acima citados, e, se necessário, fazer reforço na blindagem.

#### **Evento 10: falha no sistema de intertravamento**

O evento 10 é a falha no funcionamento de um dos itens do sistema de intertravamento de segurança. O Sistema é composto por dispositivos elétricos que têm a função de interromper imediatamente, quando acionados, o sistema e subsistemas do acelerador para que não ocorra a produção ou emissão do feixe de radiação ionizante.

Os dispositivos que integram este sistema são: botões de emergência (botões de pressão), cordões de emergência, porta-chaves, portas com chaves tipo fim de curso e travas mecânicas. Alguns destes ficam localizados apenas na área controlada, como no caso dos cordões de emergência, localizados no canal de inspeção; outros dispositivos, como os botões de emergência (botões de pressão), ficam localizados tanto na área controlada como também na cabine do acelerador (localizada na área controlada) e na sala operacional (localizada na área livre) [4].

Tal evento é deveras preocupante, pois outros fatores como a invasão de pessoas na área controlada, a perda de sinal sonoro e/ou visual ou a falha no sistema de sensores, caso aconteçam, devem imediatamente cessar a emissão do feixe de raio X.

Caso o evento se concretize, há uma possibilidade bem significativa de haver exposição a um IOE ou IP. A manutenção periódica do sistema de intertravamento acompanhado de simulações do evento devem coibir tais eventos.

**Table 1:** Evento Indicador, consequências e sugestões.

Evento	Evento indicador	Evento iniciador	Consequências	Sugestões
1	Perda da visualização das imagens geradas pelas câmeras de vídeo nos monitores da sala de controle	Dano no monitor ou nas câmeras de vídeo, devido a problemas técnicos ou naturais, internos ou externos à instalação	Não visualização da entrada e saída dos veículos e pessoas na instalação, podendo haver descontrole no trânsito	Utilização de um gerador a diesel e manutenção regular dos equipamentos
2	Visualização de pessoas através dos monitores da sala de controle na área controlada da instalação	Pessoas, IOEs ou pessoas do público, dentro da área controlada da instalação	Pode ocorrer exposição da pessoa invasora da área controlada	Reforço para as barreiras de acesso à área controlada e capacitação das pessoas que fazem a segurança do local
3	Funcionamento irregular de monitores de radiação	Falha ou leitura incorreta dos monitores portáteis de radiação da fonte de aferição	Leitura incorreta quando do levantamento radiométrico da instalação	Aferir diariamente os monitores e calibrá-los de acordo com a legislação vigente
4	Ausência de comunicação entre o operador da sala de controle e o operador externo	Falha no funcionamento dos sistemas de comunicação; microfonecaixa de som; rádios comunicadores	Transtorno no fluxo de caminhão dentro da área do irradiador	Manutenção regular dos equipamentos e verificação diária das baterias
5	Perda da visualização das imagens geradas pelos raios X	Dano na tela de captura de imagem ou pane no terminal vídeo da sala de controle	Interrupção da circulação dos caminhões ou caminhões passando pelo irradiador sem revista	Fazer manutenção periódica nos terminais de vídeos da sala de e nas telas de captura do raio X
6	Perda de visualização da leitura do monitor fixo de área	Falha no monitor de radiação fixo de área durante a aferição	Não identificação de caminhões que estejam transportando, de maneira indevida, fontes emissoras gama	Aferição diária e manutenção periódica e regular do monitor
7	Perda dos sinais luminosos (visuais) e/ou sonoros	Falha nos sistemas sonoros e luminosos quando o irradiador for acionado	Acesso à área controlada com o irradiador ligado podendo ocasionar exposição	Manutenção e testes simuladores dos sinais luminosos e sonoros
8	Ativação do irradiador sem o desconto linear no comprimento da boleia	Falha no sistema de sensores	Falha na visualização da imagem radiográfica e/ou na passagem do caminhão com o irradiador ativo, gerando exposição	Monitoramento regulado e testes periódicos nos sensores.
9	Falha de blindagem	Cálculo de blindagem incoerente com a energia do feixe	Exposição a IOEs ou IP com o feixe de raio-X do irradiador	Levantamento radiométrico periódico e reforço na blindagem



---

10	Não funcionamento do sistema de intertravamento no momento de acioná-lo	Falha no sistema de intertravamento quando da necessidade de desligamento emergencial do acelerador	Ocorrência de exposição a altas doses em IOE ou IP	Manutenção periódica e regular e simulações do evento no sistema
----	---	---	--	--

#### 4 CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho, foi possível concluir que:

- i. A identificação de eventos em uma instalação radiativa para fins de scanner de cargas e contêiner adverte quanto a pontos existentes onde podem ocorrer problemas setorizados dentro da aludida instalação.
- ii. A descrição dos eventos identificadores e iniciadores fornece uma maneira abrangente de vislumbrar vários problemas técnicos e humanos que podem ocorrer na instalação, auxiliando, assim, nas medidas a serem tomadas para que os mesmos não aconteçam.
- iii. Caso o evento já tenha ocorrido, a descrição destes, como é posta neste trabalho, fornece subsídio para mitigá-los.
- iv. Supervisor de Proteção Radiológica responsável pela instalação tem maiores condições técnicas de elaborar o Plano de Proteção Radiológica como previsto no Guia CNEN.
- v. A descrição de eventos mostra uma maneira abrangente de conhecer todos os setores da instalação em que podem ocorrer eventos, o que auxilia o treinamento dos operadores e dos IOEs lotados na instalação.

**REFERÊNCIAS**

GOMES, Rogério S. et al. Dose to drivers during drive-through cargo scanning using geant4 monte carlo simulation. International Nuclear Atlantic Conference - INAC. Recife, PE. 2013.

Comissão Nacional de Energia Nuclear, Divisão de Aplicações Industriais- DIAPI/CGMI/DRS, Guia de Licenciamento de Instalações de Inspeção de Bagagem e Contêineres, 2015.

BRASIL, CNEN-NN-6.02, junho de 2017. Licenciamento de Instalações Radiativas. Comissão Nacional de Energia Nuclear.

GROFF, Cláudia et al. Condições de Proteção Radiológica em uma Instalação com Acelerador Linear de Elétrons na prática de inspeção de Segurança de Cargas e Contêineres. Trabalho de conclusão de curso- Faculdade Casa Branca – FACAB. Casa Branca, 2017.