

DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL PARA BLINDAGEM DA RADIAÇÃO BETA NO CRISTALINO

Mayra de Mattos¹

Faculdade de Tecnologia de Piracicaba - FATEP

Contato: mayramattos@outlook.com

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo apresentar um equipamento de proteção individual desenvolvido especificamente para blindar a radiação beta, emitida pela forma radioativa do fósforo (P-32) em uma atividade de pesquisa realizada no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), em Piracicaba, São Paulo. A atividade é realizada por um técnico do CENA, habilitado para manipular material radioativo, o qual faz aplicações do P-32, através de seringas, em animais ruminantes para avaliação nutricional, parasitológica e reprodutiva, utilizando o radioisótopo como traçador radioativo. O equipamento de proteção individual é um óculos de segurança desenvolvido para proteger o tecido do cristalino do técnico, que deve utilizá-lo desde a preparação das seringas até a aplicação. Inicialmente o óculos não era eficaz quanto à blindagem da radiação beta porque ultrapassava o limite de dose estabelecido na Norma CNEN 3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, que estabelece limite de dose anual no cristalino de 20 mSv/ano, em média, durante o período de cinco anos, com a exposição não superior a 50 mSv em um único ano para indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE), o que justificou a necessidade de adicionar uma camada extra, de 3,0 mm de espessura, utilizando o vidro como material para blindar a radiação obedecendo dois requisitos básicos da proteção radiológica: ALARA (As Low As Reasonably Achievable) ou Princípio da Otimização, estabelecendo que todas as exposições devem ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente exequíveis e, também, Limitação de Dose Individual, de tal modo que a exposição não exceda o limite de dose especificado em norma.

PALAVRAS-CHAVE: radiação beta, óculos de segurança, cristalino, limite de dose.

Rua Silva Jardim, 1763, Bairro Cidade Alta, Piracicaba, SP.

ABSTRACT

This article aims to present a personal protective equipment specifically designed to shield the beta radiation emitted by the radioactive form of phosphorus in a research activity carried out in Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), in Piracicaba, São Paulo. The activity is performed by a CENA technician, qualified to handle radioactive material, which makes applications through syringes in ruminant animal nutrition, reproductive and parasitological evaluation, using radioisotope such as radioactive tracer. Personal protective equipment is a safety eyewear designed to protect the technical lens tissue, which must use it from preparing the syringe to the application. Initially the glasses was not effective as to shield beta radiation because it exceeded the dose limit established in the CNEN 3.01 - Basic guidelines on Radiological Protection, establishing annual dose limit in the lens of 20 mSv/year, on average during the period of five years , with no exposure of more than 50 mSv in a single year, for occupationally exposed individuals, which justified the need to add an extra layer of 3.0 mm thick, using the glass as a material for shielding radiation obeying two basic requirements of radiation protection: ALARA (As Low As Reasonably Achievable) or Optimization of Principle, stating that all exposures shall be kept as low as reasonably achievable and Single Dose of Limitation, such that exposure does not exceed the amount of lime specified standard.

KEYWORDS: beta radiation, safety glasses, lens, dose limit.

1. INTRODUÇÃO

A exposição à radiação é um assunto que deve ser tratado com bastante atenção e, principalmente, com muito conhecimento para perceber os riscos existentes, pois a radiação pode ser muito perigosa e os seres humanos não têm capacidade de perceber quando estão sendo expostos.

É preciso compreender que a radiação vai existir quando um núcleo atômico perder sua condição de estabilidade através de processos de ajustes que ocorrem no núcleo ou nas camadas eletrônicas, ou pela interação de outras radiações ou partículas com o núcleo ou com o átomo. Sempre que essa estabilidade é perdida, o átomo tenta adquirir novamente sua configuração estável e, para recuperá-la, emite radiação ou captura um elétron, e cada átomo faz isso de uma maneira diferente.

A radiação é a energia que se propaga pelo espaço e pode ser compreendida entre radiação ionizante e não ionizante. As radiações não ionizantes são as ondas de rádio, celulares, microondas, luz visível e computador, e as cinco radiações ionizantes são os raios-x, α (alfa), β (beta), γ (gama) e nêutrons. A ionização acontece quando um elétron é deslocado do seu orbital, e isso somente é possível quando a energia da radiação é superior à energia de ligação dos elétrons de um átomo com seu núcleo.

Existem radiações diretamente e indiretamente ionizantes, as quais se distinguem por ausência e presença de carga, assim, os elétrons (radiação beta), partículas alfa e fragmentos de fissão são as radiações diretamente ionizantes (com carga), e os nêutrons e ondas eletromagnéticas (raios-x e gama) são as radiações indiretamente ionizantes (sem carga). As radiações diretamente ionizantes transferem a energia para muitos átomos ao mesmo tempo e interagem com a matéria através de processos de excitação, ionização, freamento e ativação; já as radiações indiretamente ionizantes transferem a energia para elétrons e esses provocam novas ionizações através do efeito fotoelétrico, espalhamento compton e formação de pares.

A radiação beta, termo usado para descrever elétrons, é a radiação de interesse neste artigo e essa radiação ocorre por meio de ajuste no núcleo que pode ser através da emissão β^+ ou β^- . A emissão β^- (negativa) é a mais comum de ocorrer e ela acontece quando um núcleo tem excesso de nêutrons e se transforma em um próton através da emissão de um elétron e um anti-neutrino, aumentando o número atômico. A emissão β^+ (positiva) acontece quando um núcleo tem excesso de próton e se transforma em um nêutron através da emissão de um pósitron (elétron com carga positiva) e um neutrino, diminuindo o número atômico. Em

módulo, as cargas da emissão β^+ e β^- são iguais, portanto, aquela que apresentar maior energia irá penetrar mais no meio.

A melhor forma de garantir a segurança em relação à exposição à radiação ionizante é obedecer aos fatores de proteção, o trinômio da proteção radiológica: tempo, distância e blindagem. Esses três fatores influenciam na dose recebida e são ditos como “os principais equipamentos de proteção individual”. O tempo tem uma relação diretamente proporcional com a exposição, ou seja, quanto menos tempo um indivíduo ficar exposto, menor será sua dose, porém, quanto à distância essa relação não é direta, pois à medida que um indivíduo se afasta de uma fonte radioativa, a dose diminui com o inverso do quadrado da distância ($1/d^2$). A blindagem é pensada para cada caso, de forma que o material utilizado e sua espessura são as duas constantes, as quais devem ser criteriosamente definidas em relação ao tipo de radiação que estarão expostos.

Quando há impossibilidade de aplicar os fatores de proteção, como por exemplo, se o tempo para exercer uma atividade com exposição à radiação for bastante longo ou se for preciso estar muito próximo a uma fonte radioativa, é necessário utilizar um equipamento de proteção individual adequado com o objetivo de corrigir a deficiência do fator de proteção. Justamente por esse motivo houve a necessidade de desenvolver um óculos de segurança específico para blindar a radiação beta, emitida pela forma radioativa do fósforo (P-32).

A emissão dessa radiação beta ocorre durante a realização de atividades que compõem uma pesquisa desenvolvida no Laboratório de Nutrição Animal (LANA), pertencente ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), em Piracicaba, interior de São Paulo, o qual “*participa do Programa de Produção e Conservação de Alimentos, caracterizando-se pelo emprego de técnicas nucleares e correlatas como ferramentas de pesquisas voltadas para o estudo de fatores relacionados à nutrição, manejo e reprodução que afetam a produtividade nacional.*”, segundo informações constantes no site da própria instituição. Parte dessa pesquisa consiste em preparar o material radioativo e acondicioná-los em seringas, em seguida essas são levadas até o local de aplicação nos animais e as aplicações são realizadas, portanto, é durante a realização dessas atividades que o técnico do laboratório fica exposto à radiação ionizante.

A fase mais crítica ocorre no momento da aplicação, pois o técnico precisa manipular a seringa contendo material radioativo muito próximo aos olhos, de forma que seja possível localizar facilmente a jugular do animal para uma correta aplicação, e é nesse momento que surge a necessidade do fator blindagem. Já que o tempo de aplicação é bastante curto tem-se um fator de proteção favorável, porém, a distância não é um fator passível de mudanças pela

necessidade de aproximação para aplicação, assim, a blindagem é o único fator a trabalhar para garantir a diminuição da dose no tecido do cristalino do técnico, obedecendo ao limite estabelecido na Norma CNEN 3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, lembrando que as células do cristalino contemplam o grupo das células mais radiosensíveis, ou seja, de alta suscetibilidade à radiação.

Com o objetivo de proteger a saúde do técnico do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, desenvolveu-se um óculos de proteção específico para blindar a radiação beta para que fosse possível executar as atividades em exposição à radiação sem haver a possibilidade do aparecimento dos efeitos biológicos da radiação, em especial a catarata, a qual provoca a opacidade parcial ou nebulosidade na lente cristalina e resulta em células danificadas, cobrindo a superfície posterior da lente (RERF, 2007).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em 1896, Henri Becquerel, cientista francês, descobriu o fenômeno da radioatividade quando, ao colocar sais de urânio sobre uma lâmina fotográfica em local com ausência de luz, percebeu que esses teriam impressionado a lâmina deixando-a enegrecida, assim, pôde comprovar que o material teria sido irradiado. No ano anterior à descoberta de Becquerel, em 1895, fenômeno semelhante já havia sido observado pelo cientista alemão, Roentgen, através da impressão de chapas fotográficas, os raios-x. Mas foi em 1898 que Marie Curie, cientista polonesa, identificou duas substâncias radioativas, o rádio e o polônio, após descoberta, os elementos que apresentavam as mesmas propriedades foram chamados de elementos radioativos.

Os elementos radioativos são aqueles cujos núcleos de seus átomos possuem excesso de energia e emitem radiação para atingir estabilidade. Essa radiação pode ser emitida em forma de ondas eletromagnéticas (radiação gama) ou em forma de matéria (radiação alfa e beta). A radiação dos raios-x se dá através da aceleração de elétrons no alvo e difere da radiação gama na origem, pois apesar de também emitir radiação em forma de ondas eletromagnéticas, sua origem não é no núcleo do átomo, é na eletrosfera ou no freamento de partículas carregadas. Para completar o grupo das radiações ionizantes, existem as fontes de nêutron, que por apresentarem grande massa e ausência de carga elétrica, são muito penetrantes.

Em relação ao poder de penetração das radiações, seria mais fácil a compreensão se fosse possível afirmar que as radiações que conseguem penetrar mais facilmente na matéria, como por exemplo, no tecido humano, seriam as mais perigosas e, conseqüentemente, aquelas capazes de induzir danos biológicos mais graves, porém, não é possível afirmar que aquelas que têm o maior poder de penetração são as que apresentam maior risco à saúde, pois quanto maior a energia, maior será a possibilidade de ionização e quando uma radiação tem alto poder de ionização, significa que ela irá interagir mais facilmente com a matéria e penetrará menos. Portanto, não seria correto afirmar que a radiação alfa tem o maior poder de ionização, pois essa afirmação só seria possível comparando duas radiações, alfa e gama, por exemplo, analisando-as com energias iguais, assim, é imprescindível considerar o fator energético.

Segundo Tauhata et al. (2014) *“Os fótons e os nêutrons constituem as radiações mais penetrantes e causam danos biológicos diferentes conforme a taxa de dose, energia e tipo de irradiação. Os feixes de elétrons têm um poder de penetração regulável, conforme a energia estabelecida na máquina aceleradora. A radiação beta, proveniente de radionuclídeos em aplicadores oftalmológicos e dermatológicos, tem alcance de fração de milímetros no tecido. As radiações alfa são muito pouco penetrantes, mas doses absorvidas devido à radionuclídeos de meia-vida curta incorporados no sistema respiratório ou digestivo de uma pessoa podem causar danos 20 vezes mais que iguais doses de radiação X, gama ou beta”*.

É possível considerar que há uma escala crescente quanto ao poder de penetração na matéria compreendendo as cinco radiações ionizantes começando com o nêutron, em seguida com as radiações eletromagnéticas (gama e raios-x), beta e, por último, a radiação alfa. A radiação beta, assim como a alfa, oferece maior risco à saúde quando ocorre incorporação no organismo através da ingestão ou inalação do radionuclídeo, e a incorporação pode causar danos muito mais graves do que uma exposição externa pelo fato da proximidade dos órgãos facilitarem sua irradiação; porém, se a energia da radiação beta ou alfa for considerada alta, também pode ser bastante preocupante quanto à exposição, criando condições possíveis para o aparecimento de efeitos biológicos. Esses efeitos são classificados em função da dose e forma de resposta, do tempo de manifestação e do nível de dano, o que define, conseqüentemente, os efeitos estocásticos ou determinísticos, imediatos ou tardios, somáticos ou genéticos.

As etapas da produção do efeito biológico se dão através dos efeitos físicos, químicos, biológicos e orgânicos. O efeito das radiações ionizantes em um indivíduo depende, basicamente, do tipo de radiação (LET), da dose absorvida (alta/baixa), da taxa de exposição (crônica/aguda), da forma da exposição (corpo inteiro/localizada) e do tipo de célula ou tecido atingidos. Assim, para considerar o desenvolvimento do equipamento de proteção individual

que blinde a radiação beta, emitida pelo fósforo-32 (isótopo radioativo), para proteção do tecido do cristalino de um indivíduo, faz-se necessário abordar mais detalhadamente a evolução dos efeitos orgânicos, porque a justificativa para utilizar qualquer equipamento de proteção é, justamente, prevenir doenças, as quais surgem na última etapa da produção do efeito biológico.

2.1. ETAPAS DA PRODUÇÃO DO EFEITO BIOLÓGICO

Segundo Tauhata et al. (2014) “quando uma pessoa é exposta à radiação ionizante, nos locais atingidos aparecem muitos elétrons e íons livres, radicais produzidos na quebra das ligações químicas e energia cinética adicional decorrentes da transferência de energia da radiação ao material do tecido, por colisão”. Assim, a primeira etapa do efeito biológico surge com o aparecimento dos efeitos físicos através da ionização e quebra das ligações químicas, como por exemplo, a quebra da molécula de água (radiólise) e DNA. Em seguida, surge o aparecimento dos efeitos químicos através da indução de novas substâncias, como a formação da molécula de água oxigenada (H_2O_2) através da quebra da molécula de água e recombinação da mesma, modificando o funcionamento normal do organismo irradiado. O efeito biológico surge através da morte das células, quando após diversas tentativas de se dividirem, podem não suportar as transformações e morrem, ou através das mutações que são as alterações na sequência de bases do DNA e aberrações cromossômiais.

É importante constatar que “o efeito biológico constitui resposta natural de um organismo, ou parte dele, a um agente agressor ou modificador” (Tauhata, 2014), portanto, quando um organismo é irradiado, ele apresenta condições para recuperar as perdas sofridas, porém, alguns fatores interferem na capacidade de recuperação, como o estado físico, a idade e o sexo do indivíduo exposto à radiação. Quando esses fatores não favorecem o indivíduo irradiado, como por exemplo, se for idoso, criança ou mulher, ou apresentar baixa imunidade, a qual está diretamente relacionada com a defesa do organismo, esse entra em desequilíbrio e surgem, então, os sintomas clínicos (doenças), sendo a última etapa do efeito biológico da radiação, os efeitos orgânicos.

As etapas descritas anteriormente podem ser ilustradas pela Figura 1.

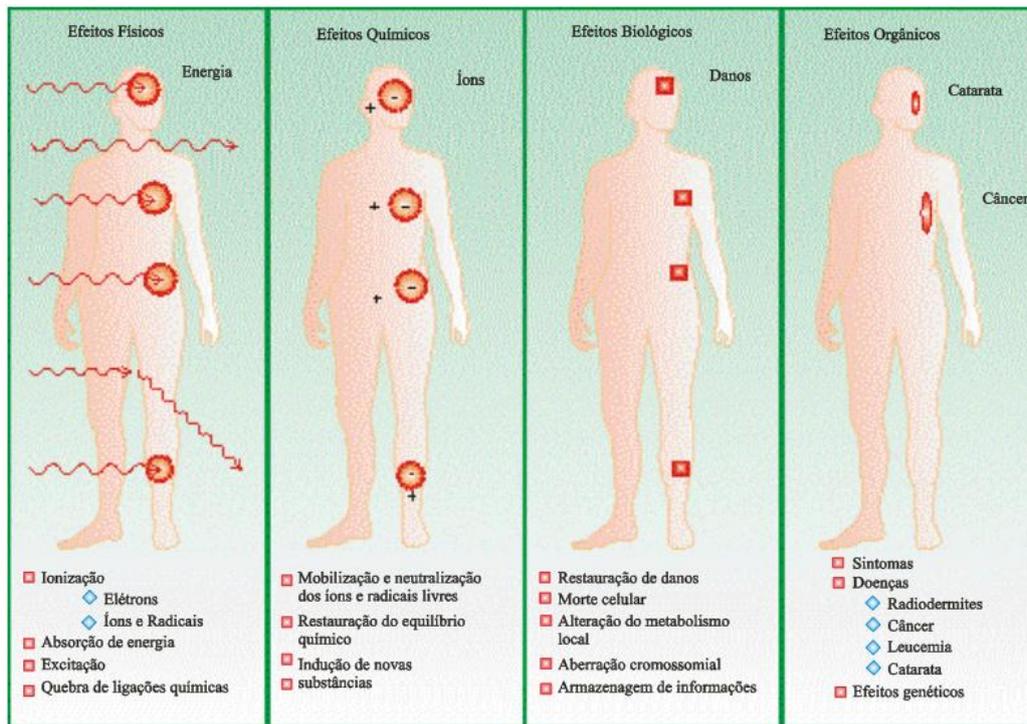


Figura 1 – Etapas do efeito biológico produzido pela radiação ionizante.

(Fonte: Tauhata (2014).)

As radiações ionizantes agem atingindo os tecidos mais sensíveis do organismo, assim como afirma a Lei de Tribondeau e Bergonie: “A *radiosensibilidade celular é diretamente proporcional à sua capacidade reprodutiva e inversamente proporcional ao seu grau de especialização* (Tauhata et al., 2014), ou seja, quanto maior a capacidade de reprodução celular, de se multiplicar, e menor a sua especialização, complexidade, assim como as células neurológicas, musculares, espermatozoides e óvulos, mais resistentes serão à radiação. O contrário acontece com as células com menor capacidade reprodutiva e maior complexidade, assim como as células cancerígenas, espermatogônia (células que originam os espermatozóides), hematopoiéticas (células sanguíneas) e as células do cristalino (conhecidas como “lentes dos olhos”), as quais são mais sensíveis à radiação.

Quando as células do cristalino sofrem os efeitos da radiação ionizante, a forma de resposta surge através dos efeitos determinísticos, os quais aparecem, geralmente, em um curto intervalo de tempo, assim como explica o item a seguir.

2.1.1. CLASSIFICAÇÃO DOS EFEITOS BIOLÓGICOS

Os efeitos biológicos produzidos pela radiação ionizante possuem denominações de acordo com a dose e forma de resposta, o tempo de manifestação e, por último, o nível de dano.

Em função da dose e forma de resposta, os efeitos são classificados em estocásticos e determinísticos. Os efeitos estocásticos são aqueles que não apresentam um limiar de dose, ou seja, não há uma dose limite a qual a partir dela surge um efeito biológico, então, qualquer dose, mesmo muito pequena, pode resultar em efeito estocástico, assim, quanto maior a dose, maior a probabilidade de ocorrência. Já os efeitos determinísticos são produzidos por doses elevadas (a partir de 1,0 Gy = 1,0 joule/quilograma), existindo um limiar de dose, isso significa que acima desse limiar a severidade do dano aumenta com a dose e abaixo desse limiar não há prejuízo detectável ao órgão ou tecido irradiado.

Em função do tempo de manifestação, são classificados em imediatos e tardios. Os efeitos imediatos aparecem em um período de poucas horas até algumas semanas após a exposição e são caracterizados por altas doses e as lesões variam de graves até letais. Os efeitos tardios são aqueles que surgem após anos ou até mesmo décadas e abrangem as baixas doses sendo difícil sua detecção, pois quando aparecem os primeiros sintomas, o grau de dano se encontra bastante avançado com o risco de ser irreparável.

Em função do nível de dano, os efeitos são classificados em somáticos e genéticos. Os efeitos somáticos são aqueles que surgem na pessoa que foi irradiada e, os genéticos, também conhecido como hereditários, são aqueles transmitidos para os descendentes da pessoa que foi irradiada.

Há muitos anos os especialistas em proteção radiológica puderam afirmar que a catarata, efeito biológico decorrente da irradiação no tecido do cristalino, é classificada, em função da dose e forma de resposta, como efeito determinístico, porém, recentemente surgiu uma discussão nas apresentações dos Congressos de Física Médica discordando dessa afirmação. Alguns novos especialistas afirmam que foi possível identificar casos de existência de catarata em indivíduos expostos à radiação ionizante com doses a partir de 0,5 Gy, assim, garantem que o limite de dose para aparecimento da opacidade no cristalino teria diminuído, deixando de ser classificado como efeito determinístico e passaria a ser classificado como efeito estocástico, probabilístico, podendo se manifestar em baixas doses.

No trabalho de Mestrado de Alexandre Roza de Lima desenvolvido no Instituto de Radioproteção e Dosimetria, ele afirma que existem alguns estudos que sugerem um limiar de

dose ainda menor (RERF, 2007) e outros sugerindo a inexistência de limiar para opacificação do cristalino (THORNE, 2012). Baseados nessas evidências, o ICRP (Comissão Internacional de Proteção Radiológica) emitiu uma declaração diminuindo o limite de dose em oito vezes, que passou de 150 mSv/ano em 1991 para 20 mSv/ano em 2011.

Uma publicação do site da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) recomenda a otimização dos processos quanto a situações de exposição à radiação ionizante para todas as categorias de exposição, ou seja, não somente para exposição de corpo inteiro, como também exposição de tecidos específicos, em particular, a lente do olho, o cristalino. Essa é uma discussão que deverá ser estudada por inúmeros especialistas até que um novo conceito de limite de dose seja definitivamente aplicado, por enquanto, a formação da catarata ainda não está definida para ser um efeito estocástico, mantendo assim um limiar de dose como um efeito determinístico.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do equipamento de proteção individual (óculos) para blindar a radiação beta, emitida pela forma radioativa do fósforo em uma atividade de pesquisa, com o objetivo de proteger a saúde do trabalhador que manipula o material radioativo próximo aos olhos, teve início no estudo dos efeitos biológicos, a partir do qual foi possível identificar que a catarata pode ser resultante da ação da radiação, assim, foi necessário pesquisar um material que apresentasse uma blindagem eficiente e que pudesse garantir que o IOE recebesse dose dentro do limite estabelecido na Norma CNEN 3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, que institui limite de dose anual no cristalino de 20 mSv/ano, em média, para indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE), durante o período de cinco anos, com a exposição não superior a 50 mSv em um único ano.

O vidro foi o material escolhido para ser utilizado na blindagem por ser um material denso capaz de atenuar a energia da radiação, isso significa que quanto mais espesso, menor será a energia da radiação que deixa o material após atravessá-lo, assim, menor será a dose recebida pelo IOE.

Inicialmente os óculos de segurança tinham uma espessura de 2,5 mm, espessura padrão de um óculos de segurança comercializado, a qual não era capaz de blindar com eficiência a radiação beta com uma energia de 1,7 MeV (mega elétron-volt), sendo considerada de alta intensidade. Após escolha do material para blindagem, a etapa seguinte

seria descobrir quantos milímetros da espessura de vidro seriam necessários para blindar com eficiência e cumprir os critérios da Norma CNEN 3.01, porém, não houve a existência de cálculo. Colocou-se a quantidade de vidro que a armação original suportou, já que o vidro é um material bastante denso, considerando, também, a praticidade na utilização, sendo de extrema importância desenvolvê-lo empregando técnicas para que o EPI (Equipamento de Proteção Individual) seja menos desconfortável possível para que sua utilização seja viável e permita executar as atividades com igual destreza, porém, com a proteção corretamente aplicada.

Considerando que o técnico trabalha extremamente próximo da fonte de radiação, a uma distância de 40 cm, a blindagem teve uma espessura de 3,0 mm de vidro, sendo satisfatória para blindar o beta do P-32 que é muito energético. A lente de vidro foi desenvolvida para encaixar na armação original (Figura 2) e em qualquer outro caso a espessura de 3,0 mm seria um excesso, porém, essa estrutura é satisfatória para 95% dos casos da pesquisa.

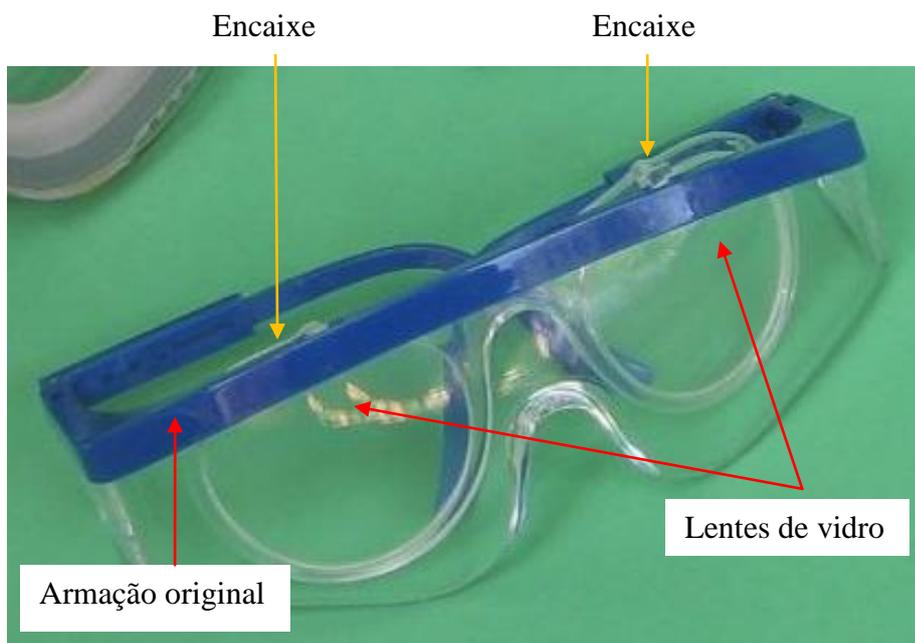


Figura 2 – Óculos de segurança com blindagem de vidro.

A atividade realizada pelo técnico que o coloca em exposição à radiação consiste em preparar as soluções contendo o material radioativo (P-32) em seringas para posterior aplicação nos animais, essa preparação é realizada através de uma blindagem de vidro que já seria suficiente para blindar a radiação nessa etapa, porém, não é possível evitar a exposição nas mãos, já que o técnico manipula as seringas ante a blindagem (Figura 3). Há como

considerar que existe um fator favorável quanto à exposição das mãos, pois os efeitos decorrentes dessa exposição são reversíveis e apresentam limite de dose anual de 500 mSv/ano, considerado bastante alto, muito diferente do limite anual estabelecido para o cristalino de 20 mSv/ano, bem mais restritivo.



Figura 3 – Preparação das seringas contendo isótopo radioativo (P-32).

Após a preparação das seringas, essas são organizadas em refratários de vidro que possuem espessura suficiente para blindar a radiação beta, assim, não há exposição à radiação no momento em que o técnico transporta as seringas do laboratório até o local de aplicação. O maior risco associado à atividade surge na última etapa, ou seja, na aplicação em animais (Figura 4).



Figura 4 - Aplicação do material radioativo em animais ruminantes.

Para realizar a aplicação o técnico precisa estar a uma distância de, aproximadamente, 40 cm dos animais ruminantes e essa proximidade dos olhos com a seringa contendo material radioativo torna necessária a utilização de óculos de segurança adequado para evitar o aparecimento dos efeitos biológicos, assim como a catarata, uma lesão ocular que torna opaco o cristalino e compromete a visão.

Essa atividade é realizada pelo técnico duas vezes por ano em doze animais por vez, ou seja, faz aplicações em vinte e quatro animais por ano. Cada seringa contém 350 μCi do isótopo radioativo e leva de dezoito a vinte segundos por animal para aplicação. Assim, o técnico fica exposto durante um dia, que é o tempo necessário para realizar a aplicação em doze animais, então, dois dias por ano ele recebe a exposição desse beta altamente energético.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando o assunto é proteção radiológica, mais importante do que evidenciar que os níveis de exposição estão acima do limite estabelecido em norma, é garantir que a exposição de um indivíduo à radiação ionizante deve ser mantida tão baixa quanto razoavelmente exequível, o que significa dizer que o mais importante é obedecer ao princípio da otimização, mesmo que o nível de radiação esteja abaixo do limite.

É conveniente lembrar que o princípio da otimização, também conhecido como ALARA, “as low as reasonably achievable”, ou “tão baixo quanto razoavelmente exequível”, há alguns anos recebia a denominação de ALAP, “as low as possible”, ou “tão baixo quanto possível”, porém, esse termo trouxe algumas discussões entre os profissionais da área de radioproteção. A substituição do termo ALAP por ALARA aconteceu em razão da inviabilidade de aplicação, quando os especialistas puderam afirmar, juntamente com os técnicos da área, que “tão baixo quanto possível” significava zero exposição, assim, em muitos casos se tornou inviável sua aplicação, principalmente no quesito econômico. Outro ponto importante é compreender o universo trabalhado, analisando cada caso como sendo único e específico, pois a proteção radiológica não é uma ciência exata, não pode facilmente propor comparações, seus conceitos são bastante específicos, então, para esclarecer essas afirmações, iremos discutir os resultados obtidos neste artigo.

As atividades realizadas pelo técnico o expõem à radiação ionizante, sendo considerada mais crítica a fase da aplicação, em que é imprescindível manter distância muito próxima dos olhos as seringas com material radioativo. No instante da preparação das

seringas não há preocupação quanto aos possíveis danos causados no cristalino e nem mesmo no transporte das seringas preparadas no laboratório até o local de aplicação, pois em ambas as etapas existe o fator blindagem.

As aplicações ocorrem duas vezes por ano em 24 animais ao todo e cada seringa contém 350 μCi do P-32, assim temos: 350 μCi por seringa x 24 animais = 8.400 μCi por ano = 0,084 Ci de atividade, sendo considerada, para este caso, expressivamente significativa, porque o técnico fica a uma distância de, aproximadamente, 40 cm da fonte beta. Essa distância é dada em função da extensão do braço do técnico, ou seja, se outro operador estivesse realizando as aplicações e apresentasse uma estrutura física maior, provavelmente a distância em relação à fonte de radiação seria maior, favorecendo-o quanto à exposição, pois na medida em que se afasta da fonte, a exposição diminui com o inverso do quadrado da distância, assim, se a distância em relação à fonte dobrar, a exposição diminuirá a quarta parte, ou seja, $\frac{1}{4}$, ou ainda 25%.

A grande diferença na radioproteção está na interpretação dos resultados. Em uma determinada situação a dose de 20 mSv/ano, por exemplo, pode ser considerada elevada, porém, em outros casos pode ser considerada até desprezível e essa atenção na interpretação dos resultados também foi considerada neste artigo. O técnico se expõe a uma fonte beta altamente energética de 1,7 MeV, sendo considerada bastante significativa para este caso, porém, em uma outra situação, como por exemplo em exposições médicas, uma dose de 20 mSv/ano com a mesma energia recebida pelo paciente seria muito pequena comparando-a com as doses normalmente recebidas na medicina nuclear, como na aplicação de radiofármacos para obtenção de imagens de órgãos, tecidos e sistemas do corpo humano, ainda mais quando o assunto for tratamento de cânceres, em que não há limite de dose estabelecido.

Os registros de doses recebidas pelo técnico durante a realização das atividades que o colocaram em exposição à radiação ionizante não foram mantidos. Os cálculos foram realizados por um estagiário do Setor de Proteção Radiológica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura há alguns anos, o qual se propôs a participar do desenvolvimento do equipamento de proteção individual através da realização dos cálculos para a exposição beta, porém, não foi possível a manutenção dos cálculos, apenas é possível saber que as doses recebidas pelo técnico ultrapassavam os limites estabelecidos em norma, motivo pelo qual foi necessário o desenvolvimento do EPI. Como a exposição é uma grandeza definida para o ar e para fótons X e gama, de modo que a medição só é factível numa câmara de ionização a ar, para descobrir as doses recebidas através da exposição beta, o estagiário precisou estabelecer

uma condição de equivalência para chegar ao resultado. Porém, mais importante do que identificar a quantidade de dose recebida e se está ou não acima do limite estabelecido em norma, é trabalhar na otimização dos processos para que a dose seja sempre menor, mesmo quando não ultrapassar o limite e, neste artigo, a otimização do processo foi o desenvolvimento de uma lente que funcionasse como blindagem do P-32, impedindo que o IOE recebesse qualquer dose e prejudicasse sua saúde através dos efeitos biológicos da radiação.

5. CONCLUSÃO

Como o objetivo deste artigo era desenvolver um equipamento de proteção individual para blindagem da radiação beta e conseqüente manutenção da saúde do IOE, é possível afirmar que o objetivo foi alcançado. Os óculos desenvolvidos para proteção receberam lente adicional feita de vidro, a qual foi capaz de blindar totalmente, ou seja, 100% o beta altamente energético do P-32, eliminando a possibilidade de aparecimento dos efeitos biológicos da radiação no técnico que manipula o isótopo radioativo, para o cristalino dos olhos.

Durante a preparação das seringas e aplicação nos animais o técnico sofre exposição nas mãos, que apesar de ser menos preocupante que o cristalino por não se tratar das células mais radiosensíveis, também pode ser grave caso não tenha a devida atenção e cuidados e, por isso, deve ser avaliada buscando técnicas para minimização da exposição, assim como propõe o princípio da otimização, ou ALARA.

Considerando alguns trabalhos feitos por especialistas da área de radioproteção que questionam e até mesmo afirmam a diminuição do limite de dose para aparecimento de opacidade no cristalino, ou seja, o aparecimento da catarata decorrente da exposição dos olhos à radiação ionizante, é importante propor a otimização dos processos para que a exposição seja sempre a menor possível, lembrando que alguns técnicos da área afirmaram a possibilidade de nem mesmo haver limite de dose para aparecimento de opacidade nos olhos, ou seja, até mesmo doses baixas poderiam ser capazes de induzir o dano biológico, assim, torna-se necessário conduzir com mais atenção as práticas que envolvem a exposição planejada dos olhos à radiação ionizante sabendo que é possível haver, futuramente, alteração no limite anual de dose recomendado pelo ICRP, com base nos estudos recentemente apresentados que trazem situações práticas de exposição dos IOE's.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

TAUHATA, L., SALATI, I.P.A., PRINZIO, R.D.I., PRINZIO e M.A.R.R.DI., 2014. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos – 10ª Revisão – IRD/CNEN**, RJ.

SILVA FILHO, W. M. **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**. Norma CNEN NN 3.01. Disponível em <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>>, acessado em: 06 out. 2015>.

CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura. **Laboratório de Nutrição Animal**. Disponível em: <<http://www.cena.usp.br/pt/laboratorio/nutricao-animal>>, acessado em: 12 nov. 2015.

IAEA – Internacional Atomic Energy Agency. **ICRP issues statement lowering threshold for eye lens**. Disponível em: <<https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/News/ICRP-statement-threshold-eye-lens.htm>>, acessado em: 01 dez. 2015.

LIMA, A. R. **Estimativa de dose nos cristalinos de operadores de gamagrafia industrial usando o método Monte Carlo**. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/034/46034935.pdf>, acessado em 28 dez.2015.

RERF, 2007 – **Radiation Effects Research Foundation**. Disponível em: <http://www.rerf.jp/radefx/early_e/cataract.html>, acessado em 29 dez. 2015.

THORNE, M. C., 2012. **Regulating exposure of the lens of the eye to ionizing radiations**. Journal Radiological Protection, 32:147-154.