

# Proposta de um Novo Modelo para Controle de Doses de Radiação

Carlos Henrique Calazans Ribeiro<sup>1,2</sup>, José Waldir Zambon<sup>1</sup>, Ricardo Bitelli<sup>1</sup>, Adilson Y Hira<sup>2</sup>, Marcelo Knörich Zuffo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo

<sup>2</sup>Laboratório de Sistemas Integráveis da Universidade de São Paulo (USP)

**Resumo** – Este artigo apresenta um modelo de sistema de controle de doses de radiação, para ambientes nucleares, hospitalares e rádio-fármacos. No documento, são estudadas as normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e os documentos do Ministério da Saúde (MS). O modelo sugerido adiciona elementos de controle automatizados, não existentes no modelo básico, cujos requisitos são baseados nos documentos supracitados. O modelo foi analisado a partir de uma implementação em ambiente Notes.

**Palavras-chave:** Radiação, Dosímetro, Nuclear, Controle de Radiação

**Abstract** – This paper presents a model of a control system of doses of radiation for nuclear environment hospitals, and radium-pharmacy. This paper also study the rules of National Council of Nuclear Energy (CNEN), and the rules of Ministry of Health. The model suggested adds elements of automatic control that are not-existent on basic model whose requirement are based on documents quoted previously. The model was analysed from a implementation on Notes environment.

**Key-words:** Radiation, Dosimeter, Nuclear, Radiation Control

## 1. Introdução

Marie Sklodowska Curie, cientista polonesa naturalizada francesa, é até hoje a única pessoa a ganhar dois prêmios Nobel em áreas de conhecimento diferentes. Seus estudos no campo da radioatividade lhe valeram o Prêmio Nobel de Física, em 1903, juntamente com seu marido Pierre Curie e seu mentor Henri Becquerel, e o prêmio Nobel de Química, em 1911. Morreu em 1934 de leucemia, causada pela radiação que por tantos anos estudou [1].

A leucemia é uma das conseqüências da exposição à radiação. Os efeitos biológicos da radiação se iniciam pela excitação e ionização das moléculas no organismo, gerando efeitos diretos, resultado da interação direta com componentes celulares, e indiretos, onde há produção de radicais livres [2].

A exposição a radiação causa efeitos físicos, químicos, biológicos e orgânicos. Os efeitos físicos e químicos são praticamente instantâneos. Os efeitos biológicos possuem uma resposta da ordem de minutos a anos, e é a resposta natural do organismo a um agente agressor, como por exemplo, uma redução de leucócitos. Os efeitos orgânicos são as doenças, podendo chegar a incapacidade do organismo se recuperar devido a frequência de exposição ou quantidade dos efeitos biológicos [2].

Conforme a dose absorvida, os efeitos podem ser classificados como estocásticos e determinísticos. Os efeitos estocásticos levam à

transformação celular, e não apresenta limiar de dose. São difíceis de serem medidos experimentalmente. Os efeitos determinísticos podem levar a morte celular, mas existe limiar de dose: os danos só aparecem a partir de uma determinada dose [2,3].

Conforme Coelho (2007),

“A morte de um pequeno número de células em um tecido, resultante da exposição à radiação, normalmente não traz nenhuma conseqüência clínica observável. Para indivíduos saudáveis, dependendo do tecido irradiado, nenhum indivíduo apresentará dano para doses (...). Acima de um valor de dose (limiar), o número de indivíduos manifestando o efeito aumentará rapidamente, até atingir o valor unitário (100%). Isto decorre das diferenças de sensibilidade entre indivíduos.”

A exposição à radiação é particularmente mais perigosa em embriões e fetos, devido a alta radiosensibilidade dos mesmos. Os efeitos mais prováveis vão da falha da fixação do embrião, nas primeiras semanas de gestação, até o retardo mental severo [2].

Atualmente, a radiação está presente em diversas atividades, tais como produção de radiofármacos, aplicações médicas, aplicações industriais, e atividades em instalações nucleares.

No Brasil, o Ministério da Saúde (MS) e a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN),

são os órgãos reguladores, que estabelecem requisitos para controle de doses de radiação.

A CNEN, em 2006, publicou a CNEN-NN-3.01, "Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica", onde estipulou limites anuais de dose para indivíduos ocupacionalmente expostos à radiação (IOE's), e indivíduos do público [4].

Em 1998, a CNEN publicou a CNEN-NE-3.02, "Serviços de Radioproteção", O objetivo desta Norma é estabelecer os requisitos relativos à implantação e ao funcionamento de serviços de radioproteção, sendo aplicada às instalações nucleares e às instalações radioativas [5].

Esses requisitos estão implantados em todas as empresas brasileiras que manipulem materiais radiativos e equipamentos emissores de radiação ionizante.

O índice de automação desses requisitos, entretanto, é muito baixo, principalmente quando a norma da CNEN não exige controles automatizados.

Esse trabalho objetiva apresentar um modelo para implementação de controles automatizados em serviços de radioproteção em instalações nucleares ou radiativas.

Esse trabalho está dividido em seções. Essa seção introdutória encerra uma contextualização do tema, o problema e os objetivos. A seção 2 realizará uma breve revisão das normas, e dos requisitos sistêmicos determinados pela CNEN. A seção 3 apresentará o modelo estendido proposto, sua justificativa e implementação. A seção 4 discutirá os resultados alcançados, concluindo o documento.

## 2. Revisão das Normas e Requisitos do Sistema

A norma CNEN-EN-3.02 aborda a estrutura do serviço de radioproteção, a qualificação dos técnicos, as atividades do serviço de radioproteção e as inspeções da CNEN [5].

O capítulo 4 da norma, mais especificamente, trata sobre a constituição do pessoal, das instalações e dos equipamentos dos serviços de radioproteção [5].

São atividades do serviço de radioproteção, conforme descritas no capítulo 6 da norma:

- controle de trabalhadores;
- controle de áreas;
- controle do meio ambiente e da população;
- controle de fontes de radiação e de rejeitos;
- controle de equipamentos;
- treinamento de trabalhadores; e
- registros de dados e preparação de relatórios.

É importante também ressaltar a necessidade do controle dos equipamentos de proteção individual, tal como o dosímetro [4].

O dosímetro, ou monitor pessoal, é o equipamento que mede o nível de doses de

radiação recebida pelo usuário, em decorrência de seu trabalho. Os dosímetros devem estar em conformidade com Portaria 453/98, do MS [6].

Há diversos tipos de dosímetro, sendo os mais comuns o de tórax, de pulso, e de anel [3,6].

A dose equivalente anual máxima admissível para quaisquer órgãos ou tecidos é 500 mSv por ano. O cristalino dos olhos possui um limite de 150 mSv por ano. O limite de dose efetiva é de 20 mSv. Um exemplo de dosímetro individual é apresentado na figura 1 [3].



Figura 1 – dosímetro individual [6]

Para efeitos estocásticos, o limite é de 100mSv em um intervalo de 5 (cinco anos), correspondendo a um risco de morte similar à média a que estão expostos os trabalhadores de outros ramos de atividade [3].

A partir dessas normas, é possível estabelecer um modelo sistêmico para controle de registros individuais para aqueles que encontram-se ocupacionalmente expostos (Indivíduo Ocupacionalmente Exposto – IOE). O modelo, obedecendo os requisitos das normas da CNEN e da resolução do MS, estão sintetizados na figura 2.



Figura 2 – modelo básico de um sistema de controle de doses de radiação

Observando o modelo, pode-se verificar que há um responsável pela leitura do dosímetro,

para posterior arquivamento em uma base de dados, como por exemplo, um fichário.

Outros grupos de usuários, tais como administradores, médicos e técnicos, tem acesso às informações da base de dados, somente para consulta, e dos dados que lhes são pertinentes. O controle de acesso às informações arquivadas é realizado pelo responsável pela guarda dos arquivos.

### 3. Proposta de um Novo Modelo para Controle de Doses

A norma CNEN-N-3.01 lista, na seção 6.1.2.3, que o serviço de radiologia deve estar capacitado para:

- estimar as doses individuais a serem recebidas em exposições de rotina;
- avaliar com a máxima precisão as doses decorrentes de exposições acidentais e de emergência;
- estimar a dose coletiva dos trabalhadores da instalação; e
- minimizar as doses individuais e doses coletivas, em conformidade com o disposto na DBR, subseção 4.2 (Princípio da Otimização).

Pelo exposto, é possível observar que o modelo definido na figura 2 atende as especificações para os serviços de proteção radiológica. Não obstante, pelo entendimento dos

autores, há necessidade de implementar controles automatizados, para efetivamente garantir a máxima precisão que a norma determina.

As fichas de registro devem conter as seguintes informações:

- identificação, endereço e nível de instrução;
- datas de admissão e saída do emprego;
- funções associadas às fontes de radiação com as respectivas áreas de trabalho, riscos radiológicos, horário e período de ocupação;
- dosímetros individuais empregados;
- doses recebidas nos períodos de monitoração, doses anuais e doses integradas no período de ocupação na instalação;
- treinamentos necessários e treinamentos realizados;
- estimativas de incorporação;
- relatório de exposições de emergência e acidentes;
- históricos radiológicos anteriores; e
- nome e endereço do chefe imediato.

O sistema deve permitir aos interessados e envolvidos uma pronta reação à necessidade de resposta a incidentes, tal como doses excessivas. Para isso, deve ser supridos de alarmes automatizados.

A proposta do novo modelo para controle de doses está apresentado na figura 3.

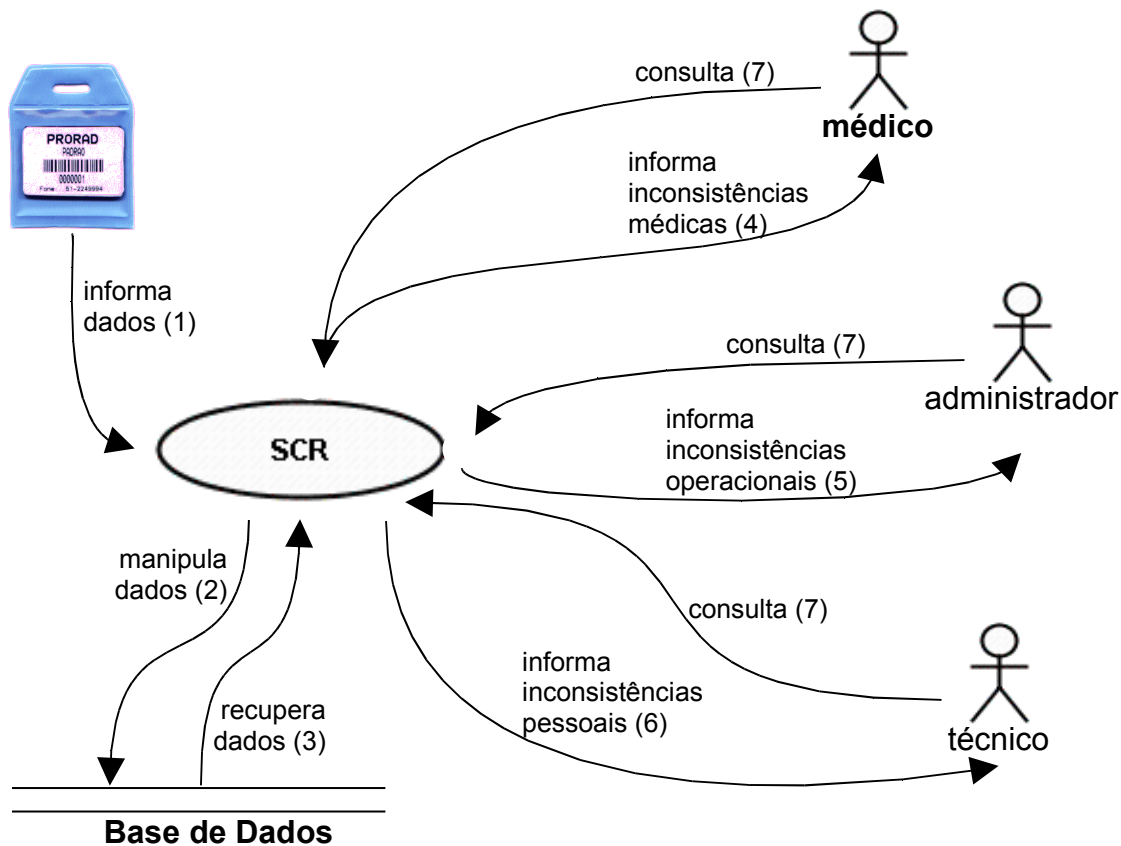


Figura 3 – modelo proposto para controle de doses de radiação

Pela figura 3, pode-se destacar:

(1) os dados passam a ser coletados a partir das informações geradas pelo captador de leitura do dosímetro, sem necessitar a transcrição para papel de um técnico responsável;

(2) o sistema permite a inclusão, alteração e exclusão dos dados, pelos usuários que possuam controle de acesso compatível, definido pelo administrador do sistema;

(3) os dados passam a ser recuperados conforme a necessidade dos usuários, e não apenas pelo formato dos registros;

(4) o médico do trabalho e o supervisor de radioproteção passam a receber mensagens (no formato de correio eletrônico), sempre que algum dado tornar-se inconsistente, tal como dose individual e coletiva acima dos níveis de referência;

(5) o administrador do sistema passa a receber mensagens (no formato de correio eletrônico), sempre que o técnico estiver com dados vencidos ou a vencer;

(6) o técnico passa a receber mensagens (no formato de correio eletrônico), sempre que alguma inconsistência pessoal estiver por ocorrer, ou já ter ocorrido, tal como dose individual acima dos níveis de referência;

(7) as consultas passam a ser controladas exclusivamente pelo sistema, conforme o controle de acesso atribuído a cada usuário pelo administrador dos sistema.

Para efeito de teste, o modelo foi testado em ambiente Notes, na versão 6.

O uso deste ambiente permitiu implementar todos os novos requisitos de forma integrada, base de dados, front-end, camada de aplicação, e correio eletrônico (este último nativo do ambiente). Após a implementação, os seguintes resultados puderam ser coletados, não só para o controle de doses, como também para outros controles de radioproteção, que também foram incluídos no sistema:

- o tempo entre a verificação do prazo de exame médico, e o apto do novo exame caiu em dois dias;
- o tempo para a validação dos novos treinamentos caiu vinte e sete dias;
- a programação de treinamento pode ser otimizada para os treinamentos futuros, de forma que sempre possa atender ao técnico permanecer com seu treinamento em dia;
- não foram apuradas doses no limiar, nem individual nem em grupo; entretanto, médicos, RH e técnicos passaram a ter mais confiança de que o sistema indicará imediatamente qualquer inconsistência;
- o uso do correio eletrônico do ambiente Notes facilitou o uso da ferramenta pelos usuários do sistema, por já se encontrarem treinados no ambiente; e

- as consultas são dinâmicas. Conforme o grau do controle de acesso, é possível ainda cruzar informações importantes, tais como dose coletiva.

#### 4. Discussão e Conclusões

O modelo retirado dos requisitos oriundos das normas da CNEN e dos documentos do MS, não obrigam a automatizar os processos.

Não obstante seja possível que os controles possam ser feitos manualmente, há presunção de que para isso haja um significativo aumento no custo de mão-de-obra, e sua consequente possibilidade de falha humana.

Através do modelo proposto, é possível identificar que, automatizando pontos de controle, permite aos interessados e envolvidos no sistema apenas supervisionar o seu funcionamento, e acionar ações corretivas, sempre que houver informações inconsistentes.

A sua implementação em ambiente Notes permitiu uma fácil e rápida interação entre as necessidade de controle, e os avisos a serem transmitidos.

#### Referências

- [1] Quinn Susan. *Marie Curie – Uma Vida*. 1997. Tradução Sônia Coutinho. Ed. Scipione Cultural.
- [2] Coelho H. *Curso de Biossegurança – Capítulo V – Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes*. 2007. Disponível em :<[http://www.biossegurancahospitalar.com.br/rx/Curso\\_de\\_Biosseguranca\\_cap\\_5\\_Efeitos\\_Biologicos\\_das\\_Radiacoes\\_Ionizantes.pdf](http://www.biossegurancahospitalar.com.br/rx/Curso_de_Biosseguranca_cap_5_Efeitos_Biologicos_das_Radiacoes_Ionizantes.pdf)>. Acessado em 31 de julho de 2008.
- [3] Medeiros, R B, Dr<sup>a</sup>. *Proteção Radiológica: Normas*. 2008. Universidade Federal no Estado de São Paulo (UNIFESP) - Escola Paulista de Medicina (EPM). Disponível em: <[http://64.233.169.104/search?q=cache:JjDvxxoWjvwJ:cfhr.epm.br/download/aulas/fisica/Protecao\\_Radiologica.pdf+cnen+ne+3.01&hl=pt-BR&ct=clnk&cd=3&gl=br&client=firefox-a](http://64.233.169.104/search?q=cache:JjDvxxoWjvwJ:cfhr.epm.br/download/aulas/fisica/Protecao_Radiologica.pdf+cnen+ne+3.01&hl=pt-BR&ct=clnk&cd=3&gl=br&client=firefox-a)>. Acessado em 1 de julho de 2008.
- [4] Conselho Nacional de Energia Nuclear (CNEN). *CNEN-NN-3.01 – Diretrizes Básicas de Radioproteção*. D.O.U de 18 de janeiro de 2006.
- [5] Conselho Nacional de Energia Nuclear (CNEN). *CNEN-NE-3.02 – Serviços de Radioproteção*. D.O.U de 01 de agosto de 1988.

[6] PRORAD. *Dosimetria Pessoal*. 2008.  
Disponível em: <<http://www.prorad.com.br/>>.  
Acessado em 1 de agosto de 2008.

## **Contatos**

*Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo*

Carlos Henrique Calazans Ribeiro

José Waldir Zambon

Ricardo D'Utra Bitelli

{calazans, zambon, bitelli @ ctmsp.mar.mil.br}

*Laboratório de Sistemas Integráveis da USP*

Carlos Henrique Calazans Ribeiro

Adilson Y Hira

Marcelo Knörich Zuffo

{henrique, ayhira, mkzuffo @ lsi.usp.br}