

BASE DE DADOS DE CONFIABILIDADE DE COMPONENTES PARA OS REATORES DE PESQUISA IEA-R1 E IPEN/MB - 01 : OBJETIVOS, ESTRUTURA E CONTEÚDO

Patrícia S. P. de Oliveira, Júlio B. M. Tondin, Walter Ricci Filho, Mauro O. Martins, Eduardo P. Kurazumi, Antônio S. Vieira Neto, Maria Eugênia L. J. Sauer, Rogério Jerez e Ulysses d'Utra Bitelli

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP
Av. Lineu Prestes 2.242 – Cidade Universitária
05508-000 São Paulo, SP, Brasil

RESUMO

Neste artigo estão descritas as principais características da Base de Dados de Confiabilidade de Componentes, específica para os reatores de pesquisa IEA -R1 (tipo piscina – 5 MW) e IPEN/MB-01 (conjunto crítico - 100 W), em desenvolvimento no IPEN/CNEN-SP através de um contrato de pesquisa firmado com a Agência Internacional de Energia Atômica. O artigo abrange, também, o processo de coleta e recuperação dos dados de entrada necessários para a aplicação da base de dados. Finalmente, são discutidas as interfaces da base de dados que está sendo desenvolvida com outros programas computacionais utilizados nas áreas de engenharia da confiabilidade e Análise Probabilística de Segurança.

Keywords: database, reliability, failure rate, maintenance time, research reactor.

I. INTRODUÇÃO

Em Março de 2001, o IPEN/CNEN-SP firmou um contrato com a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), iniciando sua participação no Projeto Coordenado de Pesquisa (PCP) intitulado “Atualização e Expansão da Base de Dados de Confiabilidade da AIEA para Aplicação em Análise Probabilística de Segurança (APS) de Reatores de Pesquisa”. Participam deste projeto 11 países membros da AIEA, dentre os quais o Brasil, que está sendo representado por um grupo de 9 pesquisadores do IPEN/CNEN-SP (integrantes do Centro de Engenharia Nuclear – CEN e do Centro do Reator de Pesquisa – CRPq). Deste modo, estão envolvidos neste projeto, 3 especialistas em Análise Probabilística de Segurança (APS) e análise de confiabilidade, 1 especialista em *software*, 4 supervisores de operação dos reatores e 1 especialista em manutenção de equipamentos.

O principal objetivo da AIEA, ao financiar este PCP, é coordenar um trabalho de coleta exaustiva e extensiva de dados de confiabilidade e compilar estes dados de forma a atualizar e/ou ampliar a atual base de dados da AIEA para reatores de pesquisa, publicada como documento técnico em Fevereiro de 1997 (IAEA-TECDOC-930) [1]. Ainda como objetivo secundário deste PCP, a AIEA pretende estimular, nos seus diversos países membros, o desenvolvimento e a aplicação da APS para reatores de pesquisa.

Com base nos objetivos estabelecidos pela AIEA, o IPEN/CNEN-SP propôs o desenvolvimento de uma Base de Dados de Confiabilidade de Componentes específica para os reatores de pesquisa IEA -R1 (tipo piscina – 5 MW) e

IPEN/MB-01 (conjunto crítico – potência nominal máxima de 100W). O trabalho que está sendo elaborado no IPEN/CNEN-SP abrange, basicamente, a área de dados de falhas de componentes. Além disso, algum tipo de trabalho poderá ser realizado, ainda que de forma superficial, nas áreas de eventos iniciadores de acidentes, falhas de causa comum e erros humanos. O prazo estipulado pela AIEA para conclusão do projeto é de três anos. Ao final do trabalho, está prevista a publicação de uma nova Base de Dados para reatores de pesquisa que deverá substituir o documento atual [1].

Os tópicos seguintes procuram descrever a fase inicial do desenvolvimento do projeto da Base de Dados de Confiabilidade do IPEN/CNEN-SP, apresentando seus objetivos e benefícios para as várias áreas técnicas envolvidas, descrevendo o programa computacional principal e os módulos que o compõem, definindo seu conteúdo básico e relatando o processo adotado na coleta e recuperação de dados.

II. OBJETIVOS DA BASE DE DADOS DE CONFIABILIDADE DOS REATORES DE PESQUISA DO IPEN/CNEN-SP

O produto final deste projeto de pesquisa, isto é, a Base de Dados de Confiabilidade de Componentes dos Reatores de Pesquisa IEA -R1 e IPEN/MB-01 visa atender às necessidades de várias áreas técnicas do IPEN/CNEN-SP, além de poder fornecer subsídios importantes para estudos

de confiabilidade e/ou de segurança efetuados por especialistas de outras instituições.

O grupo de APS do Centro de Engenharia Nuclear do IPEN/CNEN-SP, que assumiu a função de coordenação deste projeto, é, sem dúvida, o que possui maior interesse, pois seus integrantes são responsáveis pelas análises de confiabilidade dos sistemas dos reatores de pesquisa do Instituto e pela tarefa de elaborar, futuramente, a APS para o reator IEA-R1 e atualizar a APS do reator IPEN/MB-01, cuja versão original data da época de comissionamento desta unidade. Neste caso, os dados de operação, falha e manutenção que serão armazenados, assim como as estimativas dos parâmetros de confiabilidade / disponibilidade que serão gerados a partir destes dados de entrada, são fundamentais para o cumprimento das tarefas deste grupo.

Os grupos de operação e manutenção dos reatores IEA-R1 e IPEN/MB-01 esperam, com este trabalho, poder modernizar e melhorar o processo de registro de dados das instalações e, principalmente, obter informações que auxiliem na revisão das rotinas operacionais e na otimização das atividades de manutenção de seus componentes.

No que diz respeito ao atendimento aos propósitos da Divisão de Segurança de Instalações Nucleares (*Division of Nuclear Installation Safety*) do Departamento de Segurança Nuclear (*Department of Nuclear Safety*) da AIEA, o IPEN/CNEN-SP se compromete a fornecer todos os dados de falhas de componentes identificados nos últimos 15 anos de operação de seus reatores, após serem analisados estatisticamente, para que possam ser comparados com os dados dos demais reatores desta categoria e, posteriormente, incorporados a uma nova versão do documento contendo a base de dados, que será publicado internacionalmente por esta organização.

III. PROGRAMA COMPUTACIONAL DE GERENCIAMENTO DA BASE DE DADOS

Funções Básicas do Programa Computacional. O programa computacional principal de gerenciamento da base de dados tem como funções básicas o armazenamento e o tratamento dos dados de operação, falha e manutenção dos componentes dos reatores de pesquisa do IPEN/CNEN-SP. Também está previsto o armazenamento dos dados técnicos de engenharia destes componentes assim como dos fluxogramas, desenhos ou fotografias atualizados, a fim de ilustrar e facilitar o entendimento dos dados armazenados. O programa deverá processar as informações de modo a disponibilizar ao usuário relatórios diversos. Além disso, está sendo estudada a possibilidade de gerar arquivos formatados nos padrões de outros programas computacionais utilizados nas áreas de APS e análise de confiabilidade / disponibilidade.

Características Gerais do Programa Computacional. O programa computacional está sendo desenvolvido utilizando-se o Microsoft Access. A linguagem de

programação Visual Basic está sendo utilizada na elaboração do aplicativo que permitirá ao usuário realizar suas tarefas tais como: entrada e atualização de dados, emissão de relatórios e pré-formatação dos dados para entrada em outro programa computacional.

Sistema Operacional. O programa está sendo projetado com a capacidade de ser instalado numa rede interna de computadores (Intranet), operando num ambiente Windows 9x ou superior, para que possa ser acessado por vários usuários simultaneamente. Deste modo, todos acessarão um único banco de dados central, em um computador designado como “servidor” do mesmo. Além disso, cada usuário deverá estar cadastrado a este sistema, para que possa receber um nível de acesso à base de dados, dependendo das tarefas que lhe serão permitidas executar (exemplos: 1. consultar os registros e emitir relatórios; 2. acrescentar, modificar e eliminar registros da base de dados; e 3. controlar o cadastro e nível de acesso dos usuários).

IV. ESTRUTURA E CONTEÚDO DA BASE DE DADOS

A Base de Dados de Confiabilidade de Componentes dos Reatores de Pesquisa do IPEN/CNEN-SP está estruturada de forma a constituir os seguintes módulos, conforme ilustra a Fig. 1:

Módulo de Armazenamento de Códigos. Este módulo apresenta a lista de itens (instalações, sistemas / subsistemas e componentes) catalogados na base de dados. A partir deste módulo, o usuário poderá verificar, rapidamente, se o item de interesse está incluído ou não na base de dados. As instalações catalogadas serão identificadas pelo nome, os sistemas / subsistemas pelos nomes e códigos adotados em cada instalação e os componentes serão reconhecidos pelo “tag” que os identifica na instalação. Além disso, cada componente receberá um código padronizado pela AIEA no IAEA-TECDOC-930 [1], que o classificará por tipo de componente. A princípio, qualquer tipo de componente, relacionado direta ou indiretamente com a segurança da instalação, deverá estar contido na base de dados.

Módulo de Entrada de Dados. Este módulo permite a entrada dos dados brutos, coletados das especificações técnicas dos itens e do histórico de operação, falha e manutenção das instalações. Estes dados poderão aparecer em relatórios de saída no seu formato original, servindo também de entrada para o módulo estatístico, que fará o tratamento adequado dos dados para, então, gerar relatórios de saída com os resultados finais. O módulo de entrada de dados está subdividido, ainda, nas seguintes partes:

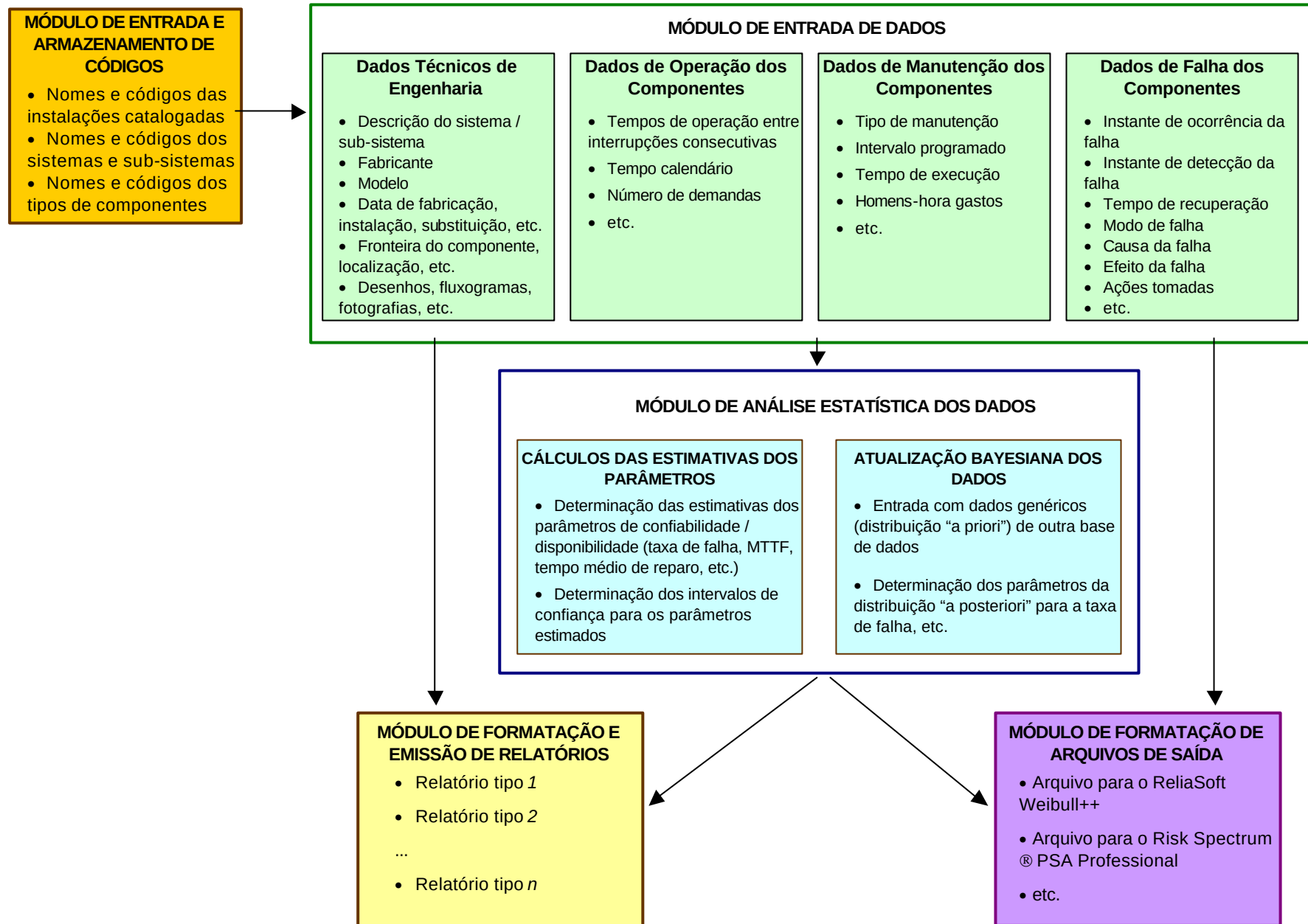


Figura 1. Diagrama Esquemático da Estrutura Proposta para a Base de Dados de Confiabilidade de Componentes dos Reatores de Pesquisa do IPEN/CNEN-SP.

Entrada de Dados Técnicos de Engenharia dos Itens. Este sub-módulo permite a entrada de descrições resumidas, fluxogramas de engenharia atualizados, desenhos esquemáticos, lista de componentes, etc. de cada sistema / subsistema das instalações catalogadas. Além disso, na parte referente aos componentes, a base de dados deverá ser alimentada com dados gerais de fabricante, modelo, data de instalação, data de início de operação, data de substituição, localização, desenhos ou fotografias atualizados e, principalmente, com a definição exata da fronteira de cada componente. Neste último tópico, estão sendo seguidas as diretrizes da AIEA (IAEA-TECDOC-636) [2] e algumas definições da base de dados OREDA [3].

Entrada de Dados de Operação dos Componentes. Este sub-módulo permite a entrada dos dados de operação de cada componente. Neste caso, entende-se como dados de operação os tempos contínuos de operação de cada componente, considerando os intervalos consecutivos entre paradas / desligamentos da instalação ou outras interrupções que tirem o componente de serviço. Por exemplo, o reator IEA-R1 opera, atualmente, 64 horas semanais (as operações têm início toda segunda-feira, às 7h30m, e término na quarta-feira às 23h30m). Para registrar os tempos de operação de uma bomba do primário, é preciso verificar, neste intervalo de 64 horas, se houve alguma interrupção não programada deste componente. Se, eventualmente, às 7h00 da terça-feira ocorreu um desligamento inesperado da bomba do primário por queda de tensão, evento este recuperado às 7h30m, então, devem ser registrados dois tempos de operação da bomba do primário: o primeiro contado a partir do instante em que a bomba foi ligada na segunda-feira (ex.: ligada às 8h00 conforme *checklist* de partida do reator) até às 7h00 da terça-feira, totalizando 23 horas contínuas de operação da bomba; e o segundo contado a partir das 7h30m de terça-feira até o instante de desligamento da bomba (*checklist* de desligamento do reator), registrando-se um outro período de 39 horas contínuas de operação. Além disso, neste mesmo sub-módulo serão apresentados os tempos acumulados de operação do componente, que poderão ser calculados até a data da consulta do usuário ou em qualquer período selecionado da vida do componente. Deverão ser incluídos e atualizados, também, os tempos “calendário” de cada componente da instalação (intervalo de tempo entre o início e o fim da pesquisa de dados do componente). Finalmente, outro dado de operação importante a ser armazenado neste sub-módulo é o número de demandas impostas a cada componente durante a operação da instalação, isto é, o número de vezes em que cada componente foi solicitado a operar, considerando partidas e desligamentos que possam ter sido efetuados durante a operação. Neste caso, também serão fornecidos os valores acumulados correspondentes ao número total de demandas do componente durante a vida da instalação ou durante um período de tempo especificado.

Entrada de Dados de Manutenção dos Componentes. A entrada de dados deste sub-módulo deve ser feita

registrando-se toda atividade de manutenção, quer seja preventiva, preditiva ou corretiva, realizada em cada componente da instalação. Neste registro estão incluídos alguns detalhes da atividade executada (tipo de atividade, intervalo programado, tempo de execução, etc.) além de desenhos ou fotografias, caso disponíveis, que ilustrem a tarefa realizada.

Entrada de Dados de Falha dos Componentes. Qualquer falha de componente deve ser notificada e avaliada no sentido de verificar suas causas, seus efeitos na operação do subsistema / sistema / instalação, ações tomadas e tempo de recuperação. Neste sub-módulo é importante que sejam armazenados os instantes exatos de ocorrência e detecção da falha assim como o instante em que o componente volta a estar disponível para operação. Neste ponto, muita atenção deve ser dada à interpretação dos registros da instalação, para garantir que a falha atribuída a um determinado componente ocorreu, de fato, em algum item incluído em sua fronteira. Os modos de falha dos componentes são identificados e codificados segundo os documentos IAEA-TECDOC-636 [2] e IAEA-TECDOC-930 [1].

Módulo de Análise Estatística dos Dados. Parte dos dados armazenados no Módulo de Entrada de Dados deve receber um tratamento estatístico para que os parâmetros de interesse em análise de confiabilidade / disponibilidade sejam determinados. Num primeiro sub-módulo, adota-se a suposição de que a distribuição do tempo até a falha (ou tempo de vida) dos componentes obedece a uma distribuição exponencial e estima-se um valor médio da taxa de falha e respectivo intervalo de confiança. Pode-se estimar, também, a partir dos dados de entrada de manutenção, o tempo médio de reparo de cada componente. Para os casos em que não é razoável considerar a distribuição exponencial, recomenda-se gerar um arquivo de compilação dos tempos até a falha do componente e formatá-lo como entrada de outro programa computacional estatístico mais completo. Deste modo, uma distribuição de probabilidade mais adequada poderá ser ajustada. Esta opção da base de dados será discutida mais adiante. No segundo sub-módulo de análise estatística dos dados, o usuário poderá efetuar a atualização Bayesiana de qualquer parâmetro de confiabilidade / disponibilidade gerado no sub-módulo anterior. Para tanto, deverá fornecer alguma estimativa deste mesmo parâmetro obtida em base de dados genéricos.

Módulo de Emissão de Relatórios. Neste módulo, o usuário poderá selecionar o tipo de relatório que deseja obter, entre os vários oferecidos no menu. Estes relatórios podem se referir a um componente específico da instalação, contendo suas especificações de engenharia e estimativas de taxa de falha e tempo médio de reparo, podem se referir a um determinado tipo mais genérico de componente, com todos os dados de falha e manutenção correspondentes, ou podem conter todos os dados de todos os componentes de um sistema escolhido, etc. De qualquer

forma, estes relatórios devem apresentar formato e conteúdo que atendam às necessidades dos principais usuários da base de dados.

Módulo de Formatação de Arquivos de Saída. A inclusão deste módulo visa oferecer ao usuário da base de dados a opção de gerar arquivos que sirvam como entrada para outros programas computacionais nas áreas de análise estatística de dados, análise de confiabilidade / disponibilidade e APS. Mais especificamente, está sendo estudada a possibilidade de formatar arquivos para os programas computacionais utilizados pelo grupo de APS, que são:

- Risk Spectrum ® PSA Professional [4],
- SAPHIRE for Windows [5],
- Weibull++ [6],
- BlockSim [7],
- JMP 4 for Windows and Macintosh (em processo de aquisição) [8].

V. PROCESSO DE COLETA E RECUPERAÇÃO DOS DADOS DOS REATORES DE PESQUISA DO IPEN/CNEN-SP

O processo de coleta de dados de operação, falha e manutenção dos componentes dos reatores de pesquisa do IPEN/CNEN-SP está sendo conduzido pelo próprio pessoal de operação e manutenção das unidades, com supervisão de um especialista em APS. Inicialmente, foi feito um levantamento de todos os tipos de documentos que são normalmente adotados nos reatores para registrar os dados de interesse. Deste levantamento resultou a seguinte relação:

Tipos de Documentos Usados no Reator IEA-R1 para Registrar Dados de Operação, Falha e Manutenção. O Reator IEA-R1 opera num regime de 64 horas contínuas semanais, principalmente, para produção de radioisótopos. Além disso, tem sido utilizado para pesquisas de física com nêutrons obtidos a partir de tubos colimadores, análise por ativação, pesquisas acadêmicas e treinamento e retreinamento de operadores de reatores. Todas as medições efetuadas durante a operação do reator, notificações de ocorrências e atividades de manutenção realizadas na instalação são registradas nos seguintes documentos:

1. *Log-Book* (Livro de Registros do Reator IEA-R1),
2. Livro de Turno,
3. Lista de Verificação Inicial da Operação do Reator IEA-R1,
4. Medidas de Temperatura do Reator IEA-R1,
5. Dados Operacionais do Reator IEA-R1,
6. Lista de Verificação Final da Operação do Reator IEA-R1,
7. Plano Anual de Manutenção Preventiva do Reator IEA-R1,
8. Ficha de Avaliação de Equipamento (manutenção preventiva),

9. Registro de Manutenção Corretiva,
10. Relatório de Evento de Operação (REDO),
11. Relatório Mensal da Operação e Manutenção do Reator IEA-R1.

Cabe citar que os documentos numerados de 1 a 6 são preenchidos semanalmente, a cada operação do reator; os documentos 8 e 9 não têm periodicidade definida; e o REDO é elaborado somente em caso de falhas ou eventos não usuais que estejam relacionados com a segurança da instalação.

Tipos de Documentos Usados no Reator IPEN/MB-01 para Registrar Dados de Operação, Falha e Manutenção.

No caso do Reator IPEN/MB-01, as operações não têm programação definida, podendo haver semanas com nenhum experimento previsto e outras em que possa ser necessário realizar duas operações distintas na mesma semana, com duração variando entre 1 a 6 horas cada. A diferença maior da rotina de operação deste reator em relação ao Reator IEA-R1 é que o IPEN/MB-01 opera, primordialmente, para fins científicos e educacionais, isto é, na validação da metodologia de cálculo neutrônico utilizada pelo Instituto (IPEN/CNEN-SP), no desenvolvimento de novas metodologias experimentais para aquisição de parâmetros nucleares de interesse à área de Física de Reatores, no treinamento e retreinamento de operadores de reatores ou ainda em cursos de graduação e pós-graduação ligados à Universidade de São Paulo. Assim, todas as medições efetuadas durante a operação do reator, notificações de ocorrências e avaliações de manutenção realizadas na unidade são registradas nos seguintes documentos:

1. *Log-Book* (Livro de Registros do Reator IPEN/MB-01),
2. Lista de Verificação Inicial da Operação do Reator IPEN/MB-01,
3. Folha de Dados de Operação do Reator IPEN/MB-01
4. Lista de Verificação Final da Operação do Reator IPEN/MB-01,
5. Plano Anual de Manutenção Preventiva do Reator IPEN/MB-01,
6. Folha de Ocorrência de Manutenção (registros da manutenção preventiva),
7. Livro de Registros de Máquinas (registros da manutenção corretiva de máquinas),
8. Livro de Registros da Instrumentação da Sala de Controle (manutenção corretiva),
9. Livro de Inspeções Visuais,
10. Livro de Aferições da Instrumentação Nuclear,
11. Relatório de Evento de Operação (REDO).

Documentos Adicionais para Registrar Dados de Operação, Falha e Manutenção dos Reatores IEA-R1 e IPEN/MB-01.

Após uma análise detalhada da informação contida nos documentos citados anteriormente, foi necessário introduzir, nas rotinas de operação e manutenção dos reatores, algumas planilhas adicionais para complementar os dados requeridos na alimentação da base de dados. A principal deficiência detectada foi a ausência de registros que indiquem os tempos exatos de

operação dos componentes, instantes de falha e tempos efetivamente gastos nas atividades de manutenção. Estas novas planilhas foram elaboradas utilizando-se os programas Microsoft Excel e Microsoft Word e já começaram a ser utilizadas nas instalações.

Recuperação do Histórico de Operação, Falhas e Manutenção dos Reatores. Apesar do Reator IEA-R1 operar há 45 anos, não será possível recuperar toda a informação referente à sua experiência operacional, pois os registros mais antigos são incompletos e de difícil interpretação. Além disso, em 1976, o Reator IEA-R1 já havia passado por uma reforma significativa, inclusive com a duplicação do Sistema de Refrigeração do Reator. Outra reforma importante ocorreu em 1996, na qual as alterações visaram o aumento da potência de operação de 2MW para 5MW. Em recente discussão com o pessoal de operação e manutenção do Reator IEA-R1, considerou-se razoável estabelecer a meta de recuperação de pelo menos 15 anos do histórico desta instalação. Para o Reator IPEN/MB-01, o qual foi inaugurado em Novembro de 1988, espera-se recuperar todo o histórico operacional, isto é, todos os registros dos últimos 14 anos serão avaliados.

APOIO FINANCEIRO

O projeto de pesquisa descrito neste artigo recebe financiamento da AIEA, através da Seção de Administração de Contratos de Pesquisa (*Research Contracts Administration Section*), sendo coordenado, no que diz respeito ao aspecto científico, pela Divisão de Segurança de Instalações Nucleares (*Division of Nuclear Installation Safety*) do Departamento de Segurança Nuclear (*Department of Nuclear Safety*). Os profissionais que integram a equipe do projeto são remunerados pelo IPEN/CNEN-SP e a infra-estrutura de apoio é fornecida pelo Centro de Engenharia Nuclear deste Instituto.

REFERÊNCIAS

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **Generic Component Reliability Data for Research Reactor PSA, IAEA-TECDOC-930**, Vienna, February 1997.
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **Manual on Reliability Data Collection for Research Reactor PSAs, IAEA-TECDOC-636**, Vienna, January 1992.
- [3] OREDA PARTICIPANTS, **Offshore Reliability Data Handbook 3rd Edition, OREDA-97**, SINTEF Industrial Management and Det Norske Veritas, Norway 1997.
- [4] RELCON AB, **Risk Spectrum Ø PSA Professional – Version 1.21.00**, 2001.

[5] IDAHO NATIONAL ENGINEERING & ENVIRONMENTAL LABORATORY, **SAPHIRE for Windows – Version 6.65**, 1999.

[6] RELIASOFT CORPORATION, **Weibull++ – Version 6.0**, 2000.

[7] RELIASOFT CORPORATION, **ReliaSoft BlockSim – Version 1.0**, 1999.

[8] SAS INSTITUTE Inc., **JMP 4 Statistical Discovery Software™ for Windows and Macintosh**, 2002.

ABSTRACT

This paper contains the description and main features of the Component Reliability Database for IEA-R1 (pool type) and IPEN/MB-01 (critical facility) Brazilian Research Reactors. The database is being developed under a research contract with the International Atomic Energy Agency, signed in March 2001. Data collection and recovery process, necessary to provide the reliability database with adequate input data, is also presented. Finally, it is discussed the interface of the reliability database with the software normally used by specialists in the area of reliability engineering and Probabilistic Safety Assessment.