



## Análise de Segurança e Confiabilidade do Dispositivo de Movimentação de Cápsula do RMB: Resultados Preliminares

Cássia Machado Martins, Graiciany  
Barros, Luiz Leite da Silva,  
Eduardo Saraiva, Antônio Carlos  
Lopes da Costa e Vanderley de  
Vasconcelos

mmachadocassia@gmail.com; graiciany.barros@cdtn.br; silvall@cdtn.br; etss@cdtn.br;  
aclc@cdtn.br; vasconv@cdtn.br

Av. Presidente Antônio Carlos 6627, 31.270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil

### 1. Introdução

O Dispositivo de Movimentação da Cápsula (DMC) é um dispositivo que atualmente está em fase de prototipagem no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) e que será instalado no poço do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB) [1]. Esse dispositivo varia a posição da vareta encapsulada de combustível nuclear em relação ao núcleo do RMB, de modo que seja possível expor o combustível a um fluxo de nêutrons maior ou menor e levando, conseqüentemente, a uma maior ou menor queima do combustível. Este dispositivo permitirá a realização de pesquisas envolvendo o combustível nuclear [2].

Uma análise inicial de segurança e confiabilidade é necessária para assegurar uma interação segura entre o DMC e os demais sistemas que compõem o RMB. Uma análise “top-down” foi realizada dividindo o DMC em sistemas, subsistemas e componentes, de forma a obter um conhecimento mais profundo do dispositivo a ser analisado, assim como definir o escopo da análise. O software BlockSim [3] desenvolvido pela ReliaSoft® Corporation foi utilizado para representar a análise “top-down” por meio de diagramas de blocos.

Com o escopo da análise definido, o software BlockSim também foi utilizado para implementar duas Árvores de Falhas, visando definir as falhas de componentes que resultam em um posicionamento incorreto da cápsula e falhas que resultam no não funcionamento do DMC. A Árvores de Falhas é uma abordagem qualitativa, que frequentemente é analisada de modo quantitativo. Esta ferramenta busca identificar e analisar as prováveis causas de um evento indesejável específico de um sistema, denominado de evento topo, assim como pode ser usada para determinar a probabilidade de ocorrência deste evento [4,5,6].

### 2. Metodologia

#### 2.1. Aplicação da abordagem "top-down" no Dispositivo de Movimentação da Cápsula

A abordagem “top-down” foi aplicada no Dispositivo de Movimentação da Cápsula (DMC) visando a definição do escopo da análise inicial de confiabilidade e segurança a ser executada. Para isso, foi necessário a leitura de documentos técnicos do DMC e a realização de reuniões com a equipe de projetistas, com o objetivo de reunir informações e dados, assim como discutir sobre os componentes importantes que integrariam o escopo da análise.

Após reunir as informações necessárias, o DMC foi dividido em dois grandes sistemas: Sistema de Suporte e Conjunto Mecânico. Em seguida, cada sistema foi subdividido em subsistemas compostos por componentes que contribuem para o funcionamento do DMC. O Sistema de Suporte foi subdividido em cinco subsistemas, sendo eles o subsistema Rede de Alimentação, Acionamento, Proteção, Aquisição de Dados e subsistema de Controle. De maneira similar, o Conjunto mecânico foi subdividido nos seguintes subsistemas: Estrutura, Barra de Segurança e Proteção, Sistema de Acionamento Principal, Sistema

Móvel e Eixo Horizontal/Vertical Inferior. Os componentes, subsistemas e sistemas do DMC foram representados graficamente por meio de diagramas de blocos utilizando o software BlockSim desenvolvido pela ReliaSoft® Corporation.

## **2.2. Árvores de Falhas para o Dispositivo de Movimentação da Cápsula**

Com o objetivo de determinar as falhas de componentes que resultam em um posicionamento incorreto da cápsula e falhas que resultam no não funcionamento do Dispositivo de Movimentação da Cápsula (DMC), duas Árvores de Falhas foram implementadas no software BlockSim desenvolvido pela ReliaSoft® Corporation, sendo os eventos topos das árvores “Posicionamento Incorreto da Cápsula” e “DMC Inoperante”.

Após a análise definida utilizando a abordagem “top-down”, foram utilizados os diagramas de blocos criados bem como o conhecimento adquirido ao desenvolvê-los para analisar a maneira pela qual os componentes interagem entre si e entre os sistemas e subsistemas de forma a determinar quais componentes contribuiriam para a ocorrência dos eventos topos em caso de falhas. Para o evento topo “Posicionamento Incorreto da Cápsula” foi verificado que este evento topo poderia ocorrer devido a falhas no subsistema Acionamento do Sistema de Suporte, falhas envolvendo o Motor de Passo, o Controlador do Motor de Passo e o Redutor do Motor de Passo, assim como falhas do subsistema de Aquisição de Dados do Sistema de Suporte, falhas envolvendo o funcionamento do Encoder. Para o evento topo “DMC Inoperante” foi verificado que a ocorrência deste evento está ligada tanto ao Sistema de Suporte quanto ao Conjunto Mecânico, sendo as falhas de suporte relacionadas a perda de alimentação no painel de controle, falhas no Disjuntor e nos Contatores, perda de alimentação do Motor de Passo, falhas no Motor de Passo e no Controlador do Motor de Passo, assim como a perda de alimentação da Embreagem Eletromagnética Dentada e falhas na Fonte da Embreagem. Já as falhas ligadas ao Conjunto Mecânico são falhas referentes a quebra e desprendimento de componentes como o Pinhão, a Cremalheira, o par de Engrenagens Cônicas e do Acoplamento de Trava.

Após definir os sistemas, subsistemas e componentes que podem acarretar nos eventos topos descritos acima em caso de falha, foi preciso identificar os modos pelos quais estes componentes podem falhar. Com este objetivo, foi realizada uma pesquisa em documentações técnicas e informações técnicas disponibilizadas por fabricantes, assim como em artigos científicos que tinham como objetivo analisar os modos de falhas de certos componentes. Também foram realizadas reuniões com os projetistas envolvidos na construção do Dispositivo de Movimentação da Cápsula com o objetivo de validar as árvores de falhas implementadas.

## **3. Resultados e Discussão**

No presente trabalho foram implementados os diagramas de blocos, os quais, através de uma análise qualitativa, permitiram modelar a configuração lógica dos sistemas, subsistemas e componentes que compõem o Dispositivo de Movimentação da Cápsula e determinar como estes elementos interagem entre si, de forma a obter um maior conhecimento sobre o dispositivo em questão bem como definir o escopo da análise, os diagramas de blocos serão apresentados no trabalho completo. Com a realização deste trabalho, também foi possível determinar quais sistemas, subsistemas e componentes que podem ser relacionados à ocorrência de um posicionamento incorreto da cápsula e à ocorrência de um não funcionamento do DMC, cujas informações podem ser utilizadas para definir ações de manutenção, mitigação ou controle de falhas, visando manter o Dispositivo de Movimentação da Cápsula funcionando corretamente e de forma segura. As Figs. 1 e 2 mostram, respectivamente, as árvores de falhas implementadas para os eventos topos “Posicionamento Incorreto da Cápsula” e “DMC Inoperante”.

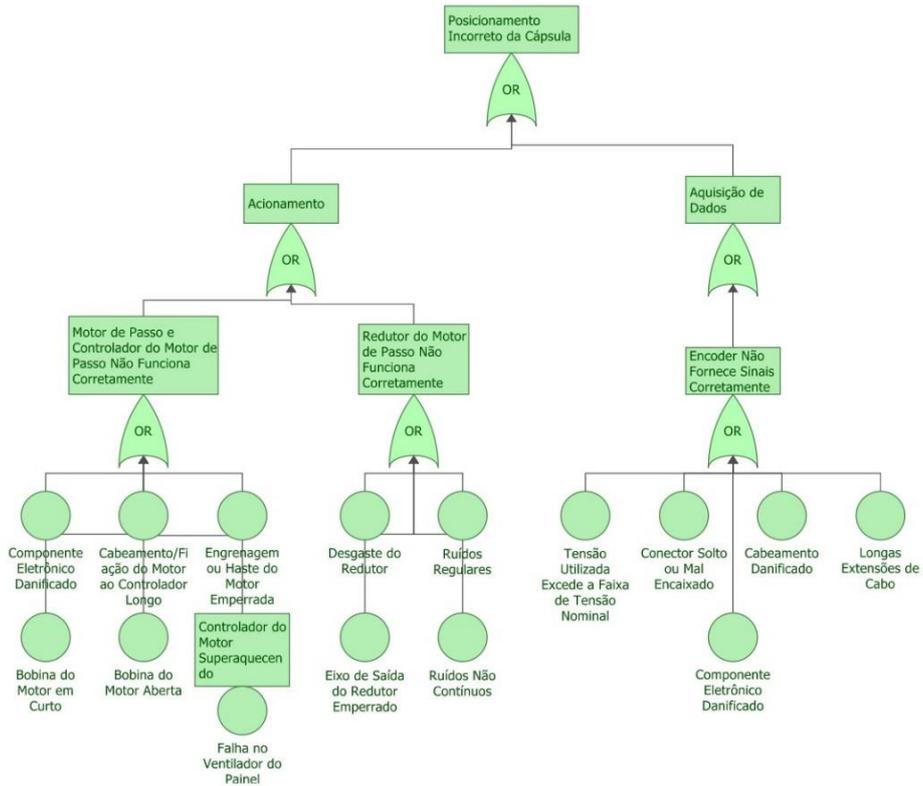


Figura 1: Árvore de Falhas para o evento topo “Posicionamento Incorreto da Cápsula”

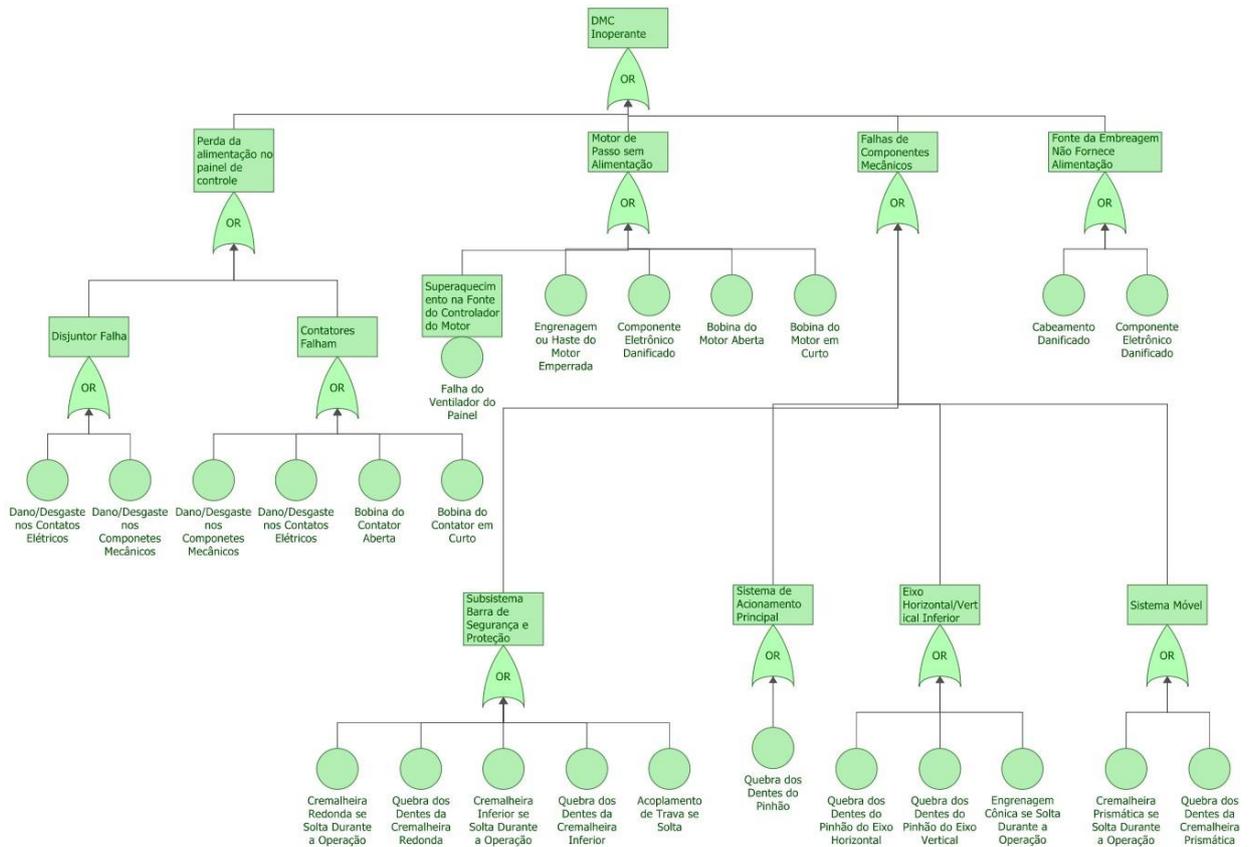


Figura 2: Árvore de Falhas para o evento topo “DMC Inoperante”

#### 4. Conclusões

Neste trabalho foi apresentada uma análise inicial de segurança e confiabilidade realizada para o Dispositivo de Movimentação da Cápsula, na qual foi definido o escopo da análise por meio da abordagem “top-down” bem como utilizando diagramas de blocos no software BlockSim. Foram também analisadas árvores de falhas utilizando o software BlockSim para identificar as falhas que resultam nos eventos topos “Posicionamento Incorreto da Cápsula” e “DMC Inoperante”. Os resultados obtidos serão utilizados para definir ações de manutenção, mitigação ou controle de falhas, visando manter o Dispositivo de Movimentação da Cápsula funcionando corretamente e com segurança.

Como trabalhos futuros sugere-se a realização de análises de segurança e confiabilidade para outros subsistemas do Dispositivo de Movimentação da Cápsula, uma vez que o presente trabalho trata-se apenas de uma análise inicial e específica. Análises quantitativas, utilizando dados de probabilidades de falhas dos eventos básicos (componentes), para estimar as probabilidades dos eventos topos, são também bastante úteis para priorização de melhorias de projeto, visando maior confiabilidade e segurança. Sugere-se também análises considerando falhas de modo comum, isto é, falhas que levam simultaneamente a falhas de mais de um componente, o que pode indicar melhorias de projeto e de ações de manutenção no DMC. Além disso, análises mais detalhadas e quantitativas, utilizando diferentes técnicas complementares a árvores de falhas (p.ex., FMEA – Failure Mode and Effects Analysis, Diagrama de blocos de Confiabilidade e Árvores de Eventos) permitiriam um conhecimento mais completo em relação à segurança e à confiabilidade dos dispositivos analisados.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CDTN (Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear), à CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento e Pesquisa), à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e à FINEP (Financiadora de Inovação e Pesquisa) pelo suporte e apoio financeiro para a realização deste trabalho.

#### Referências

- [1] L. L. da Silva. Desenvolvimento tecnológico de um protótipo de movimentação da cápsula de irradiação para qualificação de combustível nuclear no RMB, Projeto de Pesquisa, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN (2020).
- [2] V. A. Oliveira, E. Ribeiro, L. L. da Silva, A. C. L. Costa, E. T. S. Saraiva, V. M. Lima. Descrição do dispositivo de movimentação da cápsula – DMC - RMB-N01-00-PC-15607-DS-001, Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento – DPD, (2018).
- [3] ReliaSoft® Corporation. User’s Guide BlockSim Version 2021, ReliaSoft (2021).
- [4] R. O. Marques. Inspeção baseada em risco no contexto de reatores nucleares: estado da arte, diretrizes e procedimentos para sua utilização. Dissertação de Mestrado, Ciência e Tecnologia Das Radiações, Minerais e Materiais. Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (2018).
- [5] M. Senne Júnior. Abordagem sistemática para avaliação de risco de acidentes em instalações de processamento químico e nuclear, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química (2003).
- [6] V. Vasconcelos. Aplicação da metodologia da árvore de falhas na análise de risco em sistemas complexos. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Nuclear. Universidade Federal de Minas Gerais (1984).