

Introdução

A atual regulamentação do setor elétrico brasileiro, decorrente de sua reestruturação na última década, exige das empresas o cumprimento de requisitos de disponibilidade e confiabilidade operativa junto à ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e ao ONS (Operador Nacional do Sistema). O pagamento de rigorosas multas, caso esses requisitos não sejam atendidos, tem levado as empresas a adotarem ações destinadas a minimizar o tempo de indisponibilidade dos equipamentos. Em consequência disso, as responsabilidades assumidas pelas áreas de manutenção tornaram-se mais abrangentes, fazendo com que a gestão da manutenção ganhasse um lugar de destaque dentro da gestão estratégica das empresas do setor.

Segundo LAFRAIA (2001), a confiabilidade do equipamento é quase inteiramente uma função da qualidade do programa de manutenção. Com algumas exceções, a confiabilidade “intrínseca” dada a um equipamento pelo fabricante não é um fator significativo. Alta confiabilidade intrínseca rapidamente se perde com um programa de manutenção precário.

As manutenções aumentam a confiabilidade e diminuem os riscos, porém podem ocasionar a indisponibilidade dos equipamentos e gerar custos. Por outro lado, adiar as manutenções como forma de garantir a disponibilidade aumenta os riscos. Desta forma, a necessidade de um gerenciamento constante de riscos envolvidos, prioridades e um planejamento otimizado da manutenção dentro das empresas do setor elétrico torna-se evidente.

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (*Reliability Centered Maintenance* - RCM) é um processo utilizado na manutenção moderna, no qual está inserida a preocupação com o gerenciamento de riscos. Este processo difere da manutenção tradicional no enfoque dado às funções dos equipamentos e sistemas. Enquanto na manutenção tradicional o principal é preservar o equipamento, no RCM, conforme MOUBRAY (2000), preservam-se as funções.

A identificação dos modos de falha, suas causas e efeitos, é uma parte fundamental na aplicação do processo RCM. Uma técnica utilizada para isso é a Análise de Modos de Falha e seus Efeitos (*Failure Mode and Effect Analysis* -

FMEA). No caso da FMEA aplicada ao RCM, a gerência da manutenção é feita em nível do modo de falha, enquanto na manutenção tradicional é feita em nível de componente ou equipamento (LAFRAIA, 2001). Os modos de falha com maior risco deverão ser tratados prioritariamente, e sobre eles deve ser feito um plano de manutenção efetivo, estabelecendo-se tarefas que sejam econômica e operacionalmente aplicáveis. A obtenção de uma má priorização ou uma priorização errônea dos modos de falha pode conduzir a um plano de manutenção ineficiente, onde os pontos críticos do sistema não serão atingidos prioritariamente (GARCIA, 2006).

A priorização dos modos de falha deve servir como subsídio para o planejamento da manutenção dos equipamentos de subestações, a fim de que ações eficazes sejam tomadas, de forma a minimizar os riscos associados a tais equipamentos.

A tomada de uma decisão baseada no risco deve ser influenciada pela probabilidade de ocorrência de um determinado modo de falha, a severidade de suas consequências e a probabilidade de detecção deste modo de falha, ou seja, é um problema de análise de decisão multicritério, onde vários critérios influenciam o decisor em sua tomada de decisão.

1.1

Motivação

A necessidade das empresas do setor elétrico de garantir elevados padrões de confiabilidade levou os fabricantes a desenvolverem e aperfeiçoarem técnicas para diagnosticar e gerenciar a operação de equipamentos. Como consequência, tem-se um crescente número de sistemas de monitoramento sendo implantados nessas empresas. Por outro lado, existe hoje uma grande dificuldade na tomada de decisão baseada nesses sistemas, pois a grande maioria deles, além de fechados, não seguem uma padronização de saída para os diagnósticos oferecidos, o que dificulta a interação com outros sistemas equivalentes e de outros fabricantes já em operação. Os operadores desses sistemas devem conviver com um grande volume de dados e serem capazes de agrupar e avaliar as diferentes informações recebidas antes da sua tomada de decisão. Nessas circunstâncias a avaliação de

causas e efeitos para um gerenciamento de riscos apropriado torna-se de difícil execução.

DUPONT (2003) expõe uma discussão sobre tais dificuldades e apresenta a proposta de uma metodologia para a padronização e a integração de análises e diagnósticos de transformadores de potência a partir de indicadores de anormalidade (defeitos) graduados entre 0 e 1. A metodologia reúne as diferentes técnicas atualmente em uso, no sentido de gerar um Grau de Risco Global para os transformadores, permitindo um gerenciamento com priorização das atividades. Este modelo foi posteriormente generalizado para outros equipamentos (DUPONT, 2006), tornando-se extremamente útil na gestão da manutenção de subestações, por auxiliar o tomador de decisão na avaliação dos riscos operativos envolvidos e na definição de um plano estratégico para a manutenção dessas instalações.

Tendo como base a metodologia proposta por DUPONT (2003, 2006), vem sendo desenvolvido no CEPEL, em parceria com empresas do grupo Eletrobrás e com a Universidade de Santa Catarina - UFSC, um sistema computacional denominado DianE – Sistema de Análise e Diagnóstico de Equipamentos. Este sistema foi projetado para se tornar, ao longo do tempo, uma ferramenta completa de apoio à decisão dos mantenedores no gerenciamento de riscos associados a todos os tipos de equipamentos instalados em Subestações de Alta Tensão.

Conforme NASCIMENTO et al (2007), o sistema DianE, oferece ao usuário um diagnóstico adequado de equipamentos instalados em subestações. Este diagnóstico é feito através da análise de causas e efeitos, que tem como base o processo RCM. A partir de um banco de dados contendo parâmetros e variáveis dos equipamentos, são evidenciados e graduados entre 0 e 1 os defeitos, utilizando-se métodos de análise, e cada defeito estará associado às suas causas. Essas causas, identificadas durante a aplicação do processo RCM, são compostas pelos seguintes itens: falha funcional, componente, modo de falha. O DianE fornece ao usuário uma lista de causas, as quais estarão associadas às atividades recomendadas. Esta lista de causas e suas respectivas atividades devem ser priorizadas de forma a auxiliar a tomada de decisão no plano de manutenção da empresa.

A técnica de priorização hoje utilizada pelo sistema DianE é feita da seguinte forma: os valores do grau de possibilidade de ocorrência e da severidade

(também graduada entre 0 e 1) de cada modo de falha são multiplicados para a obtenção do grau de risco de cada modo de falha. Prioriza-se o modo de falha que tiver, o maior grau de risco. No caso de empate, prioriza-se o modo de falha que tiver a maior confirmação no grau de ocorrência, em seguida o maior grau de severidade, e por fim, o maior grau de ocorrência.

Esta técnica apresenta como desvantagem o fato de que os modos de falha priorizados não terão seus desempenhos maximizados sob o conjunto de critérios considerado, uma vez que é previamente estabelecida uma ordem de prioridade dos critérios. Isto pode levar a uma interpretação que, não necessariamente, seria aquela ideal sob o ponto de vista de um especialista.

A necessidade de uma técnica que encontre o conjunto de alternativas que tenham seu desempenho maximizado em um conjunto de critérios, foi a principal motivação para o desenvolvimento do modelo proposto no presente trabalho. O método de apoio multicritério à decisão PROMETHEE II (BRANS et al, 1986) foi o utilizado para alcançar tal objetivo.

O tratamento do problema sob o enfoque do apoio multicritério à decisão propõe auxiliar a tomada de decisão encontrando a solução ou o conjunto de soluções que correspondam às preferências do decisor, onde se tenta incorporar os julgamentos de valores desses agentes a fim de acompanhar a maneira como se desenvolvem suas preferências sobre os desempenhos do conjunto de alternativas em questão, avaliadas à luz dos múltiplos critérios considerados. As incertezas e subjetividades inerentes às avaliações dos modos de falha sob os critérios considerados, motivaram também a criação de uma solução alternativa utilizando uma metodologia híbrida do apoio multicritério à decisão com ferramentas de inteligência artificial, o modelo fuzzy F-PROMETHEE (GOUMAS e LYGEROU, 2000).

A modelagem aqui proposta para a priorização dos modos de falha será incorporada ao sistema DianE para substituir a metodologia atual.

1.2

Objetivos

Este trabalho tem como objetivo propor um modelo multicritério para a priorização dos modos de falha indicados a partir de uma aplicação do processo

RCM. Para isso, busca-se explorar o potencial e as facilidades da utilização do método PROMETHEE II para a problemática de ordenação de alternativas. O desenvolvimento do método e sua aplicação ao problema de priorização dos modos de falha são apresentados neste trabalho.

As incertezas e subjetividades inerentes às avaliações dos modos de falha sob os critérios de probabilidade de ocorrência, severidade dos efeitos e a probabilidade de detecção destes modos de falha indicam a construção de uma solução alternativa, através de uma metodologia híbrida do apoio multicritério a decisão com ferramentas de inteligência artificial, mais especificamente números fuzzy, agregados ao método multicritério PROMETHEE. Isto foi desenvolvido como uma forma de comparação com o método PROMETHEE tradicional, na tentativa de obter uma solução mais confiável a partir de uma visão mais realista do problema. Essa modelagem híbrida é conhecida como F-PROMETHEE (fuzzy-PROMETHEE). Os resultados obtidos são apresentados e comentados no capítulo 5.

1.3

Descrição do Trabalho

Este trabalho foi elaborado em sete etapas, especificadas a seguir:

1. **Um estudo sobre as metodologias de apoio multicritério a decisão.** Este estudo envolveu a pesquisa bibliográfica sobre o Apoio Multicritério a Decisão, analisando os diferentes métodos e escolas existentes com o objetivo de escolher o mais adequado à solução do problema de priorização dos modos de falha de equipamentos.
2. **Um estudo sobre o processo de Manutenção Centrada em Confiabilidade - RCM.** Esta etapa teve como objetivo o entendimento do processo RCM, a importância de sua aplicação no planejamento das manutenções dos equipamentos dentro das empresas do setor elétrico e as definições dos conceitos fundamentais utilizados no processo, tais como falhas funcionais, causas, modos de falha, severidade, ações.
3. **Um estudo sobre os conceitos de lógica fuzzy.** O estudo dos conceitos relativos à lógica fuzzy, envolvendo a teoria dos conjuntos fuzzy, operações com números fuzzy e sistemas de inferência fuzzy, também foi

necessário para uma melhor análise de sua utilização no tratamento das incertezas e subjetividades inerentes às avaliações dos modos de falha no desenvolvimento da metodologia proposta.

4. **A definição dos critérios a serem considerados no modelo.** Nesta etapa foram definidos os critérios relevantes na avaliação dos modos de falha a serem priorizados.
5. **Representação das incertezas por meio de números fuzzy triangulares.** Neste trabalho, as incertezas nos dados foram representadas por meio de números fuzzy, os quais foram definidos como as avaliações dos modos de falha sob os critérios considerados no problema. Este conceito é apresentado no método F-PROMETHEE, no qual os números fuzzy triangulares foram utilizados por serem os mais adequados para o tratamento do problema. Esta etapa envolveu o estudo das propriedades e definições dos números fuzzy, assim como o emprego das operações com números fuzzy.
6. **A criação de um sistema de inferência fuzzy para o cálculo da severidade.** Para se obter a severidade de cada modo de falha, foi construído um sistema de inferência fuzzy, em função da dificuldade de se avaliar precisamente o seu valor a partir da combinação de vários critérios, para fins de comparação com os valores utilizados no Sistema DianE. Sendo assim, foram utilizados os conceitos da lógica fuzzy para traduzir em termos matemáticos a informação imprecisa expressa por um conjunto de regras lingüísticas fornecidas por especialistas.
7. **Implantação do modelo em um programa computacional em C++ e MatLab.** A implementação foi realizada para viabilizar a análise comparativa de sensibilidade com os resultados obtidos no Sistema DianE.

1.4

Estrutura do Trabalho

Além do capítulo 1, que constitui a presente introdução, este trabalho está estruturado em cinco outros capítulos.

No capítulo 2 é apresentada uma revisão teórica dos conceitos necessários para o entendimento do modelo posteriormente construído e formalizado no

capítulo 4. São apresentados neste capítulo os aspectos mais significativos relacionados à Manutenção Centrada em Confiabilidade – RCM e, posteriormente, são definidos os conceitos relacionados à lógica fuzzy, teoria dos conjuntos fuzzy, números fuzzy e sistemas de inferência fuzzy. Finalizando o capítulo são apresentados os conceitos relativos ao Apoio Multicritério à Decisão, apresentando a justificativa para a escolha do método PROMETHEE.

No capítulo 3 os métodos PROMETHEE e F-PROMETHEE são descritos, à luz das referências bibliográficas atualmente disponíveis.

O capítulo 4 descreve o modelo multicritério proposto para a priorização de modos de falha em equipamentos, considerando os critérios e os parâmetros levantados no problema. Os métodos utilizados são o PROMETHEE II e o F-PROMETHEE descritos em detalhes no capítulo 3. Na seqüência, ainda neste capítulo, é apresentado o modelo utilizado na construção do sistema de inferência para o cálculo da severidade.

No capítulo 5 é apresentado um estudo de casos, aplicando o modelo proposto no capítulo 4 em um equipamento real em operação em uma empresa do setor elétrico, comparando-se os resultados com os do Sistema DianE.

No capítulo 6 são discutidas as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.