



XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil

| | | |
|---|---------------------------------|---|
| João Luiz de Oliveira Gomes | Allyson Ferreira Machado | Lorena Carolina Barbosa Delfin |
| Companhia Energética de Minas Gerais | CEMIG Distribuição S.A. | Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais |
| joaolog@cemig.com.br | allyson.machado@cemig.com.br | lorena.delfin@cemig.com.br |

| | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| Luciene Martins Moura | Italo Colins Alves |
| CEMIG Distribuição S.A. | CEMIG Distribuição S.A. |
| lumoura@cemig.com.br | colins@cemig.com.br |

ELABORAÇÃO DE CRITÉRIOS E METODOLOGIAS PARA DIMENSIONAMENTO IDEAL DA QUANTIDADE DE EQUIPAMENTOS DA RESERVA TÉCNICA IMOBILIZADA DE SUBESTAÇÕES

Palavras-chave

Distribuição Estatística
Equipamentos de Subestações
Execução Orçamentária de Investimentos
Reserva Imobilizada

Resumo

O dimensionamento de equipamentos para uma reserva técnica estratégica (Reserva Imobilizada) foi mitigado com a utilização de índices de desempenho e de ferramentas estatísticas de probabilidade e confiabilidade para obter a otimização para a Reserva Imobilizada de ativos de subestações da CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A. Para se conseguir a equalização dos custos com equipamentos sobressalentes, a garantia da integridade e segurança do sistema elétrico de alta tensão, além de melhorar a execução orçamentária de investimentos, o trabalho define uma ferramenta de orientação no processo de tomada de decisão sobre onde e quanto investir em equipamentos para manter a integridade do sistema.

1. Introdução

A constituição da Reserva Imobilizada (RI) surgiu na CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A. (CEMIG D) na década de 80 quando da destinação de corpo técnico específico para tratar da quantidade de equipamentos necessários para reposição do sistema elétrico em caso de contingências operativas. Muito se evoluiu nestes anos, passando por acertos e correções nas estruturas operacionais, tentativas de dimensionamentos com base em outras empresas concessionárias, até mesmo com a criação de programas computacionais dedicados utilizando Distribuição de Poisson.

Atualmente a RI é um agrupamento funcional pertencente a área de Gestão de Ativos Imobilizados da CEMIG D que, além de elaborar o plano anual de recomposição da RI, assegurando o dimensionamento adequado para atender as necessidades do sistema elétrico, dentre outros, realiza o planejamento de utilização dos equipamentos e subestações móveis para atendimento as necessidades das manutenções de subestações, com base nos relatórios de inspeção defini as manutenções corretivas dos equipamentos da RI e abri as respectivas ordens de manutenção (OM) para a realização desses serviços, acompanha a programação e a realização do orçamento específico para os serviços dos equipamentos da RI, analisa os indicadores de qualidade e custo relacionados com a RI, com base no dimensionamento realizado prevê os recursos de investimento para sua aquisição, administra os recursos financeiros dos projetos de investimentos de operação e manutenção, e de reforma de equipamentos sinistrados, e participa do Comitê de Gestão de Riscos Seguráveis (CRI) gerando documentação necessária para ressarcimento das apólices de seguros dos negócios da Empresa.

A RI é regulada na CEMIG D por Manual de Procedimentos, através de Instrução Financeira específica que estabelece os critérios para formação, conceituação, localização, registro e controle de equipamentos. Esses equipamentos são passíveis de inventários periódicos e da certificação da sua destinação ou aplicação, estando sujeitos a inspeções pela Auditoria Interna e ainda à fiscalização pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

A Resolução Normativa nº 367/2009, de 02 junho de 2009, que discorre sobre o Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico (MCPSE), em suas instruções gerais de controle patrimonial, item 6.5, estabelece como Reserva Imobilizada o bem ou conjunto de bens, que, por razões de ordem técnica voltada à garantia e confiabilidade do sistema elétrico, embora não estando em serviço, esteja à disposição e que poderá entrar em operação de imediato. Sua contabilização obedece a todos os preceitos do Ativo Imobilizado em Serviço (AIS), inclusive no que diz respeito à Reintegração. Os equipamentos de reserva exclusivos de uma Ordem de Investimento (OI) devem ser registrados nela, apresentando na sua descrição a palavra “RESERVA”.

Diferentemente da revogada Portaria DNAE 815, de 30 novembro de 1994, após 31 dezembro de 2010 os ativos novos da RI passaram a sofrer a mesma taxa de depreciação dos ativos em serviço, sendo que a partir de 31 dezembro de 2011 vale esta regra para os ativos existentes.

2. Desenvolvimento

2.0 - Fatores considerados no dimensionamento da reserva imobilizada

O principal fator que colabora na otimização do dimensionamento dos equipamentos da RI é o tipo de falha registrada. Sendo assim, quando tratamos de constituição de uma metodologia para reposição de parte componente ou de equipamentos, foi necessário separar os equipamentos em duas classes distintas quanto à gravidade da avaria sofrida pelos equipamentos utilizados em subestações. A literatura sobre controle e confiabilidade, nos diz que devemos separar os equipamentos em duas classes bem distintas: a 1ª a classe

dos constituída por equipamentos avariados e sem condições de reparo. A 2ª classe formada por equipamentos avariados, porém com condições de recuperação dos sinistrados. Essa divisão é de suma relevância na determinação correta do tipo de componente ou equipamento que deverá compor a RI, bem como o perfeito entendimento sobre a definição de defeito, falha e o custo dessas avarias, para a metodologia aplicada. A seguir é apresentada uma definição do que foi considerado falha, defeito e custo de manutenção dessas avarias.

2.1 O Defeito e a Falha

O defeito é um desvio inaceitável da especificação de um atributo ou medida da qualidade e uma característica indesejável de um produto ou serviço. Defeito não significa perda da capacidade funcional. Ex.: Um automóvel 0 km com teto amassado. Já a falha é um defeito relacionado com a confiabilidade do desempenho e a falta de capacidade funcional de uma unidade em realizar sua função quando requerida, e um estado inoperável no qual um item não desempenha ou não desempenharia suas funções como especificado. Ex.: O freio não funciona.

2.1.1 Os Processos de Falha

Segundo Kelly, 1980, as falhas em equipamentos/sistemas, quanto a origem, podem ser classificadas em:

a. Falhas causais ou introduzidas.

- Especificação não conforme: Falta de visão sistêmica, bem como uma especificação sem participação dos órgãos responsáveis pelo setor produtivo (Pós-operacional - Manutenção e Operação).
- Projeto inadequado: Falta de robustez e mau dimensionamento das peças, locais de difícil acesso e/ou circulação, componentes ou partes difíceis de serem trocadas.
- Má qualidade da fabricação: São originárias da deficiência ou inexistência do controle de qualidade durante a fabricação da máquina, equipamento ou unidade, onde ocorrem negligências de um modo geral.
- Má qualidade da instalação: Instalações executadas em ambientes inadequados, erros de montagem e cabeações, testes com instrumentos não aferidos e não calibrados e pressa na entrega.
- Má qualidade de operação: O desconhecimento e desprezo do operador com uma determinada máquina, equipamento ou unidade poderá introduzir defeitos por falha humana, elevando-se a demanda de corretiva.
- Má qualidade de manutenção: Não cumprimento do plano de manutenção programada ou um plano de manutenção programada inadequado ou até a inexistência deste, ferramentas indevidas, equipe não qualificada, falta de supervisão e controle, poluição, insalubridade, temperatura, fadiga, monotonia e uma atmosfera de relações humanas precárias.

a. Falhas casuais ou aleatórias

São as falhas que deveriam ocorrer normalmente se todas as condições anteriores estivessem atendidas, tornando assim mínima a demanda gerada por falhas esperadas, dentro de certa previsibilidade, para as quais devem ser estruturadas a organização e administração dos recursos humanos e materiais de suporte e atendimento.

2.2 O Custo de uma Avaria

É uma função de pessoal, energia, reserva técnica, equipamentos de suporte, ferramental, apoio logístico e estrutura de gerenciamento e planejamento, bem como do investimento inicial do sistema correspondendo assim ao custo do ciclo de vida útil do equipamento / sistema. Relacionado com a confiabilidade, deve ser visto numa visão de ciclo de vida do item englobando os custos diretamente relacionados ao programa de

confiabilidade e aos custos associados ao uso do item. Os custos globais, segundo MARTINS (1990), associados à manutenção corretiva podem ser classificados conforme se segue:

- a. Custos da falta de disponibilidade e/ou qualidade ou custo indireto.
- b. Custos dos recursos de manutenção ou custo direto.

Alguns especialistas indicam que uma das decisões a ser tomada pelo gerente de manutenção é a decisão entre investir em força de trabalho e/ou recursos, elevando-se os custos diretos e diminuindo-se os indiretos e vice-versa, gerando um compromisso de forma a aperfeiçoar os custos globais, maximizando os objetivos.

Em muitas ocasiões, o custo da falta de disponibilidade pode variar enormemente, a depender de fatores relacionados com vendas e armazenagem do produto, bem como a importância do serviço prestado pelo equipamento/sistema. As estimativas de custo devem ser utilizadas para apoio a tomada de decisão no confronto manutenção e produção, na ocasião mais adequada.

2.3 O Papel da Gestão da Manutenção

A atividade da manutenção está diretamente ligada a capacidade produtiva e bem organizada da administração, melhorando o desempenho do equipamento para garantir uma boa qualidade e durabilidade dos produtos e/ou serviços, tornando a empresa mais competitiva.

A administração da manutenção procura tratar como a empresa efetua os seus serviços procurando abordar tarefas, problemas e decisões tomadas pelo gerente de manutenção que proporcionam os serviços necessários a empresa.

Por papel da gestão da manutenção, entende-se a razão básica da função ou a principal razão de sua existência. Para a função manutenção existem três papéis importantes a serem considerados:

- Apoio a estratégia
- Implementação para a estratégia
- Impulsão estratégica

2.4 A Confiabilidade e o Conceito da Manutenibilidade

A manutenibilidade é a probabilidade de que um item que tenha falhado possa ter sua condição operacional restabelecida dentro de um período de tempo específico, quando a ação de manutenção é executada de acordo com um planejamento estabelecido. É característica definida previamente nas fases de projeto e instalação do item. Outra definição encontrada em Barros Filho (1995), é que manutenibilidade é a probabilidade de que um equipamento ou sistema que se encontra em falha no instante inicial de observação t_0 ser repostado em perfeito estado de funcionamento dentro de um intervalo de tempo Δt , corresponde a uma função de probabilidade identificada por uma cadeia de Markov.

Observa-se então que a manutenibilidade corresponde ao atendimento das manutenções corretivas ou aleatórias, estando associada à duração das falhas, sendo para o cliente/consumidor os gastos com apoio logístico, tecnológico, entre outros, e principalmente recursos humanos responsáveis pela execução desta atividade. Corresponde, portanto, ao trabalho envolvido para garantir a disponibilidade especificada do sistema, ou seja, a capacidade de atender a demanda de falhas (BARROS FILHO, 1995).

A manutenibilidade, conforme Almeida (1999), está associada com os tempos envolvidos nas ações necessárias para o restabelecimento dos equipamentos a condição operacional. A análise do processo de reparo permite observar que há uma grande variedade de cursos alternativos de ação necessários para possibilitar o retorno de um item a condição normal de operação. O processo, em geral, requer que as equipes de manutenção se esforcem, de forma que um grande número de intervenções tenha curto tempo

para reparo, enquanto poucos números tenham grandes tempos de reparo. Sendo previsível o comportamento padrão das frequências de ocorrências dos tempos de interrupção.

2.5 Distribuição de Probabilidades em Confiabilidade

Uma análise no histórico de manutenção de um equipamento revela que itens iguais, de um mesmo lote de fabricação, não falham ao mesmo tempo. Em geral, a falha desses itens obedece a uma distribuição de probabilidade.

A determinação da distribuição de probabilidade que rege o comportamento operacional de um equipamento, até que o mesmo venha a falhar, pode ser determinado através de um teste de amostragem.

As distribuições de probabilidade que possibilitam esse estudo podem ser agrupadas em dois tipos básicos: discretas e contínuas. Em seguida, são apresentados os comentários sobre as principais distribuições ligadas a confiabilidade, tomando como base O'Connor (1985 ,cap.2).

a. Distribuições discretas

São aquelas associadas as variáveis aleatórias que somente podem assumir valores discretos. As mais importantes para o estudo da confiabilidade são:

i. Distribuição binomial

Focaliza uma situação em que há somente dois resultados possíveis, como por exemplo, o estado de um equipamento: em manutenção ou operação. Acrescenta-se o fato de que todos os possíveis resultados subsequentes tenham as mesmas probabilidades. Esta distribuição fornece a probabilidade de se obter x casos favoráveis ou não x (ele ou não ele) casos desfavoráveis em n observações.

i. Distribuição de Poisson

Esta distribuição está associada a eventos que ocorrem a uma taxa média constante, em que apenas um de dois possíveis resultados é considerado. Sua função de distribuição de probabilidade é caracterizada pela seguinte equação:

$$f(x|\lambda) = \frac{(\lambda)^x}{x!} \exp(-\lambda)$$

Essa função pode ser utilizada, por exemplo, para estudar o número de equipamentos recebidos para manutenção em determinado período, mas vem sendo utilizada para determinar inclusive o número ótimo de equipamentos.

a. Distribuições contínuas

i. Distribuição normal

Esta função de distribuição apresenta grande aplicação na descrição de fenômenos que ocorrem na vida real, sendo amplamente empregada em controle de qualidade. Uma grande razão para aplicação desta função é que, quando se aumenta o tamanho da amostra de uma população, a distribuição das médias amostrais tende para a distribuição normal, conforme estabelece o teorema do limite central. Sua expressão é:

$$f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$$

O valor esperado $E(x)$ e o desvio padrão DP desta função são respectivamente $e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$ e $\sigma \sqrt{\exp(\sigma^2) - 1}$. No caso particular em que $\mu = 0$ e $\sigma = 1$, tem-se a função densidade de probabilidade normal padronizada, que é facilmente encontrada em forma de tabela.

i. Distribuição Lognormal

É a função de distribuição de probabilidade adequada para a análise de confiabilidade, pois permite representar o comportamento de sistemas reparáveis que apresentam características de desgastes decorrentes do ciclo operacional. Sua expressão é:

$$f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \text{ para } x \geq 0 \text{ e } f(x) = 0 \text{ para } x < 0$$

O valor esperado $E(x)$ e o desvio padrão DP desta função são respectivamente:

$$E(x) = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right)$$

$$DP = \sqrt{\exp(2\mu + 2\sigma^2) - \exp(2\mu + \sigma^2)}$$

i. Distribuição exponencial negativa

Esta função de distribuição de probabilidade é por demais empregada no estudo de confiabilidade, pois possibilita mostrar a função de vida útil de um equipamento reparável, representando, portanto, a densidade de falha. Pelo fato da distribuição exponencial negativa representar a vida útil de um equipamento, pode-se obter uma expressão matemática que descreva a expectativa de vida útil do mesmo, ou seja, a função confiabilidade. Ela corresponde a probabilidade de não ocorrer falha no equipamento até um determinado período de tempo.

Considerando o tempo como variável, a função confiabilidade é obtida integrando a função $f_{(x|\lambda)} = \lambda e^{-\lambda x}$ de 0 até t, subtraindo o resultado de 1, ou seja:

$$R(t) = 1 - \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt$$

A distribuição exponencial negativa apresenta a propriedade de “não possuir memória” e considerando que muitos equipamentos formados por componentes eletrônicos tem esta característica, tal fato reforça a condição da utilização da distribuição exponencial negativa na análise da confiabilidade dos mesmos.

i. Distribuição de Weibull

Expressão semi desenvolvida por Ernest Hjalmar Wallodi Weibull, físico sueco, que em 1939 apresentou o modelo de planejamento estatístico sobre fadiga de material. Sua utilidade decorre do fato, de permitir:

- Representar falhas típicas de partida (mortalidade infantil), falhas aleatórias e falhas devido ao desgaste;
- Obter parâmetros significativos da configuração das falhas;

- Representação gráfica simples.

A Probabilidade de falhas de um item, num dado intervalo de tempo "t" de operação.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\beta}\right)^\beta\right]$$

F(t) è Função Distribuição Cumulativa

- Probabilidade a qual o equipamento não irá falhar para um dado período de tempo "t" de operação (confiabilidade)

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right]$$

- Tempo Médio Entre falhas (TMEF)

$$TMEF = t_0 + \eta \cdot \Gamma(1 + \beta^{-1})$$

- Desvio Padrão

$$\sigma = \eta \cdot \left[\Gamma(1 + 2\beta^{-1}) - \Gamma^2(1 + \beta^{-1}) \right]^{1/2}$$

"?" è Símbolo da Função Gama

3.0 - O desenvolvimento da metodologia

Para se determinar a necessidade ou não de reposição de equipamentos da reserva imobilizada, é necessário adotarmos dois parâmetros básicos. O primeiro parâmetro é o tempo entre falhas para um determinado tipo de equipamento e o outro fator é o tempo de manutenção gastos para repor um determinado equipamento no sistema, que podemos denominar tempos de manutenção.

3.1 A Escolha da Distribuição para Determinar a Reposição de Equipamentos da Reserva

Quanto à distribuição dos tempos de manutenção, estes tendem a serem distribuídos pela função Lognormal, pois está baseada na Lei de Weber-Fechner, que provou que o tempo de resposta de animais e elementos humanos a simples estímulos físicos ou percepções são frequentemente Lognormal. É também verdadeiro, que o processo de localização e retirada de uma falha em equipamentos seguem um processo de partição caracterizado pela lógica. Desse modo, essas considerações indicam que os tempos de paralisação quando da manutenção de sistemas são lognormalmente distribuídos, visto que, a localização e correção de falhas em equipamentos são uma extensão do processo lógico de colocar coisas em categorias. Em relação ao tempo médio para reparo, algumas obras e alguns especialistas citam que o método mais utilizado para estimar este é efetuar a média ponderada dos tempos de reparo de cada modo de falha. A ponderação é feita pela respectiva taxa de falha.

Uma vez escolhida a distribuição que melhor representa o modo com que deve ser tratado os sinistros registrados, optou-se em fazer um levantamento da taxa de falha em um grupo de equipamentos

denominados fundamentais para a continuidade do sistema de subtransmissão da Cemig D. Foram calculadas as taxas de falha de disjuntores, transformadores e reguladores tensão, além de religadores. Na Tabela 1 é demonstrada a taxa de falha de disjuntores, em 2010, que necessitaram de pelo menos efetuar uma reposição de componentes principais, tais como, câmaras de extinção, contatos principais e mecanismos de acionamento, por fabricante.

Tabela 1: Dados consolidados de falhas em Disjuntores, estratificadas por fabricante.

| FABRICANTE | TOTAL DE FALHAS | TOTAL DE EQUIPAMENTOS | TAXA DE FALHA | MTBF (meses) | Confiabilidade | Prob. De falha |
|--------------------|-----------------|-----------------------|---------------|--------------|----------------|----------------|
| Mc Graw edson | 33 | 510 | 0,065 | 185,45 | 0,937 | 0,063 |
| BRUSH POWER EQUIP. | 1 | 9 | 0,111 | 108,00 | 0,895 | 0,105 |
| COOPER POWER SYSTE | 17 | 598 | 0,028 | 422,12 | 0,972 | 0,028 |
| LINE MATERIAL | 3 | 13 | 0,231 | 52,00 | 0,794 | 0,206 |
| LMB | 1 | 1 | 1,000 | 12,00 | 0,368 | 0,632 |
| WESTINGHOUSE | 13 | 248 | 0,052 | 228,92 | 0,949 | 0,051 |
| ABB | 1 | 44 | 0,023 | 528,00 | 0,978 | 0,022 |
| OUTROS | 0 | 13 | 0,000 | 0,00 | 1,000 | 0,000 |
| TOTAIS | 69 | 1436 | 0,048 | 20,81 | 0,953 | 0,047 |

Esses dados tratam informações sobre avarias permanentes em disjuntores de 13,8kV a 161kV que se originaram das informações obtidas nos anos de 2005 a 2010, verificando a ocorrência de falhas por nível de tensão e por tipo de extinção de arco elétrico, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Taxas de falha de disjuntores por nível de tensão e por tipo de extinção de arco elétrico no período de 2005 a 2010

| Tensão | Extinção | Tx 2005 | Tx 2006 | Tx 2007 | Tx 2008 | Tx 2009 | Tx 2010 | Média |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| Até 24KV | S. Mag. | 1,90% | 1,90% | 2,00% | 2,00% | 6,52% | 0,00% | 2,39% |
| | GVO | 3,30% | 7,30% | 1,80% | 4,80% | 9,43% | 10,68% | 5,33% |
| | PVO | 5,30% | 5,50% | 7,10% | 8,70% | 14,95% | 15,34% | 8,31% |
| | SF6 | 1,90% | 2,60% | 3,10% | 7,10% | 0,76% | 4,48% | 3,09% |
| | Vácuo | 2,50% | 4,30% | 3,70% | 2,3% | 4,2% | 6,0% | 3,39% |
| | Total | 3,20% | 4,70% | 3,80% | 5,30% | 7,28% | 8,39% | 4,86% |
| De 24KV a 34,5K V | GVO | 15,40% | 6,30% | 11% | 3,60% | 12,00% | 0,00% | 9,60% |
| | PVO | 0,00% | 0,00% | 16,7% | 5,60% | 16,67% | 0,00% | 7,79% |
| | SF6 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 22,22% | 0,00% | 4,44% |
| | Ar-H2O | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| | Vácuo | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| | Total | 0,00% | 1,80% | 9,00% | 2,80% | 11,29% | 0,00% | 4,98% |
| De 69KV | GVO | 6,40% | 5,30% | 0,00% | 6,30% | 5,56% | 0,00% | 4,71% |
| | PVO | 4,90% | 1,20% | 3,70% | 7,40% | 5,95% | 8,64% | 4,63% |
| | SF6 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 8,33% | 0,00% | 1,67% |
| | Total | 5,20% | 1,90% | 2,80% | 8,30% | 6,14% | 5,30% | 4,87% |
| 138KV | GVO | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 4,35% | 0,00% |
| | PVO | 3,50% | 4,60% | 6,80% | 5,30% | 5,44% | 5,70% | 5,13% |
| | SF6 | 4,00% | 0,80% | 3,40% | 0,80% | 4,90% | 0,91% | 2,78% |
| | Total | 3,60% | 2,00% | 4,30% | 2,40% | 4,82% | 2,73% | 3,42% |

3.2 Cenários Futuros para Construção da Metodologia de Reposição

Com o valor de confiabilidade para o período de operação, podemos estabelecer a probabilidade de ocorrência de alguns cenários. Como exemplo, elaboramos a previsão de falhas dos disjuntores para o ano 2011, de acordo com a Tabela 3

Tabela 3: Previsão de falhas para disjuntores no período de 2011

| Nº de equipamentos (n) | Prob. Falha (>n) |
|------------------------|------------------|
| 60 | 100,00% |
| 70 | 99,95% |
| 80 | 90,1% |
| 90 | 86,0% |
| 100 | 76,0% |
| 120 | 44,0% |
| 125 | 25,7% |
| 130 | 8,0% |
| 135 | 5,3% |

Na Tabela 3 utilizamos o conceito das distribuições Binomial e Poisson a fim de considerar a probabilidade de que ocorram um número superior de falhas ao valor da primeira coluna (nº de equipamentos). Assim sendo, a probabilidade de ocorrerem mais que 70 falhas é próxima de 100% (uma vez que a taxa de falha indica a ocorrência média de 106 falhas por ano). Já a probabilidade de ocorrerem mais que 130 falhas é de 8%. Seguindo-se os cenários vê-se que há menos que 6% de chances de ocorrerem mais que 135 falhas em um ano de operação dos 1384 disjuntores, conforme demonstrado no Gráfico 1.

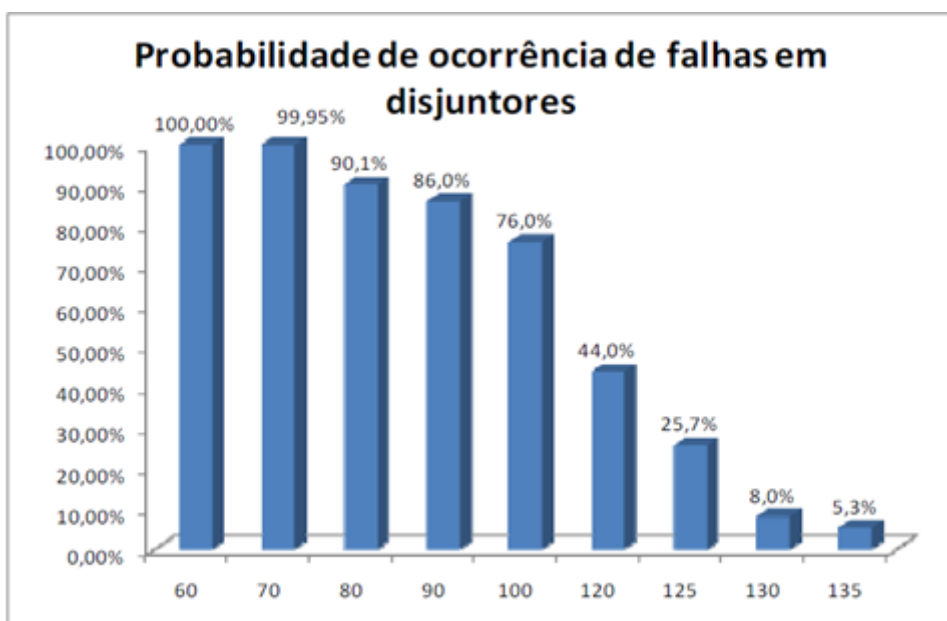


Figura 1: Probabilidades de falha em 2011 para disjuntores

Este último valor limite de 135 falhas é então utilizado para a configuração de estoque de peças de reposição e dimensionamento da Reserva Imobilizada.

3.3 Implementação da Metodologia de Reposição

Para a implementação da metodologia de reposição para o dimensionamento ideal da quantidade de equipamentos da reserva técnica imobilizada de subestações foi criado um aplicativo de controle de decisão, onde são informados a quantidade de equipamentos instalados (Número de Unidades), o tempo médio entre falhas (MTBF), a taxa de falhas e a margem de segurança esperada (MS). O resultado apresenta o dimensionamento com a margem de segurança desejada. A Figura 2 apresenta a tela principal do aplicativo.

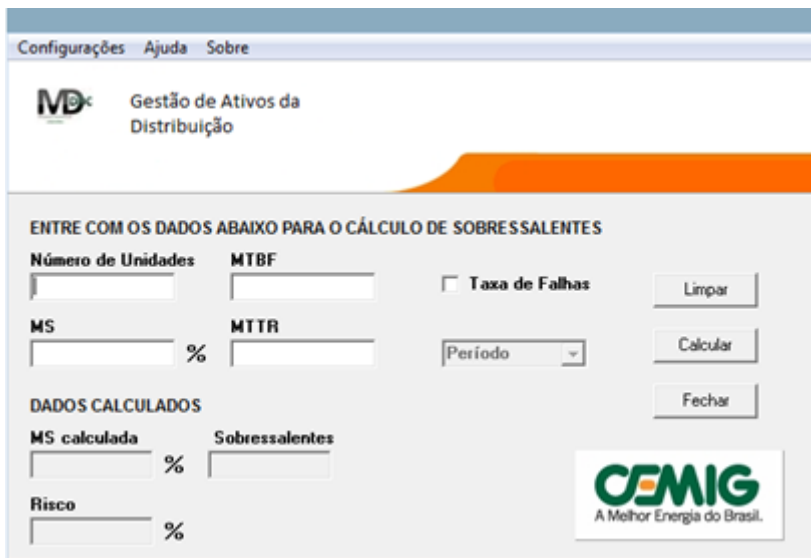


Figura 2: Tela principal do aplicativo para dimensionamento da RI

3. Conclusões

Diante da necessidade de avaliarmos as alternativas para gerir melhor os ativos da Cemig D, levando em conta a análise da taxa de falha e os aspectos econômicos e físicos dos equipamentos considerados, a manutenção deve ser tratada como uma função estratégica na obtenção dos resultados da organização e deve ser direcionada ao suporte do gerenciamento e à solução de problemas apresentados na distribuição de energia e faturamento, lançando a empresa em patamares competitivos de qualidade e produtividade.

O cálculo do dimensionamento ótimo da RI consistiu primordialmente na utilização de parâmetros de indicação de desempenho de equipamentos, tal como a taxa de falha dos ativos, considerando-se um determinado período, sendo considerados para este estudo os anos de 2009 e 2010.

O trabalho definiu uma ferramenta de orientação no processo de tomada de decisão de como e quanto investir em equipamentos para a Reserva Imobilizada de forma que a integridade do sistema não seja comprometida e estabelecendo limites decisórios para a redução dos custos com excedentes, pois os equipamentos que compõem a Reserva estão alocados em depósitos, de acordo com as resoluções da ANEEL, também possuem o mesmo coeficiente de falha que equipamentos em serviço. A otimização de tais equipamentos eleva a empresa a patamares competitivos de qualidade e produtividade.

Os resultados obtidos com essa metodologia estão sendo aplicados na correta alocação dos recursos de investimento da CEMIG D, possibilitando a especificação de um software de controle e decisão, obtendo uma visão geral do sistema da Reserva Imobilizada, além de melhorar e reduzir o estoque de determinados componentes e equipamentos, minimizando os custos operacionais.

4. Referências bibliográficas

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Resolução normativa nº 367/2009*, de 02 junho de 2009, manual de controle patrimonial do setor elétrico (MCPSE).
2. ALMEIDA, C. J. *Uma metodologia de projeto baseada na confiabilidade – aplicação à redes de distribuição de gás canalizado*. Florianópolis, SC. Curso de Pós- Graduação em Engenharia Mecânica, (dissertação de Mestrado). 1999.

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Confiabilidade e manutenibilidade - terminologia. NBR 5462*, Rio de Janeiro, 37p. 1994.
4. BARROS FILHO, L. C. *Modelos de decisão aplicados à avaliação de manutenibilidade: o caso de telecomunicações da Chesf*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. UFPE. Recife. 1995.
5. BLANCHARD, Benjamim. *Logistics engineering and management*. Virginia, Pentice Hall, 1974.
6. CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A. IF-3.22 – *Reserva imobilizada*. 2008.
7. GOMES, L.F.M.A.; ARAYA, M. C. G; CARIGNANO, C. *Tomada de decisões em cenários complexos*. São Paulo: Pioneira, 2004.
8. KARDEC, Alan; NARSCIF, Júlio. *Manutenção função estratégica*. Rio de Janeiro, Qualitymark, 2005.
9. KELLY, A.; HARRIS, M.J. *Administração da manutenção industrial*, IBP, 1980.
10. LAFRAIA, João R. Barusso. *Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade*. Qualitymark: Petrobrás. Rio de Janeiro, 2001.
11. MARTINS, Eliseu. *Contabilidade de custos*. 4. ed. rev. São Paulo: Atlas, 1990.
12. O'CONNOR, P. D. T. *Practical reliability engineering*. 4a ed. England: John Wiley & Sons, 2002.
13. TAVARES, Lourival A. *Administração moderna da manutenção: novo polo publicações*. Rio de Janeiro, 1999.

Luciene Martins Moura, nascida em Sete Lagoas, Minas Gerais, em 1979; Formação em Eletrotécnica pela FUMEP – Sete Lagoas, graduada em Matemática (2004) pela UNITRI – Uberlândia, Minas Gerais. Atua por mais de 10 anos, na área de execução, planejamento e gerenciamento da manutenção. Atualmente cursando a faculdade de Engenharia Elétrica Industrial pelo CEFET – MG

Lorena Carolina Barbosa Delfin, nasceu em Belo Horizonte, MG, em 24 de junho de 1989. É estudante de graduação de Engenharia de energia da Pontifícia universidade Católica de Minas Gerais – PUC-Minas, localizado em Belo Horizonte, MG, Brasil. Trabalha como estagiária da Cemig Distribuição, em 2012, nas áreas de Engenharia de Manutenção e Gestão de Ativos.

Ítalo Colins Alves, nasceu em Morrinhos, GO, em 06 de abril de 1970. É Mestre em Modelagem Matemática e Computacional, pelo CEFET-MG (2007) com Pós-graduação em Gestão de Informação tecnológica, pela UFMG (1999) e Graduação em Estatística, pela UFMG (1995). Empresas: Cemig Distribuição S.A., desde 1988, e CEFET-MG, desde 2004.

Allyson Ferreira Machado, nasceu em Turmalina, MG, em 12 janeiro de 1980. É técnico em Eletrônica e estudante de Engenharia Elétrica no Centro Universitário de Belo Horizonte, Uni-BH. Trabalha na Cemig Distribuição deste 2010, com Técnico Sistemas Elétricos II.

João Luiz Oliveira Gomes nasceu em Nova Lima, MG, Brasil, em 1962. É graduado em Matemática pelo Centro Universitário Newton Paiva e Mestre em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, ambas em Belo Horizonte, MG, Brasil. Desde 1982 trabalha na Cemig, tendo passado pelas áreas de engenharia de manutenção de sistemas de proteção, padronização de métodos de manutenção, exploração de base de dados corporativa de resultados de manutenção e implantação e gerenciamento de *softwares* para a gestão da manutenção. Atualmente coordena a reserva técnica estratégica (Reserva Imobilizada).