

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

**ALDELIR FORTUNATO RIBEIRO**

**GESTÃO DE ATIVOS APLICADA EM  
DISJUNTORES A GÁS SF<sub>6</sub> DE 145 KV**

**São Carlos**

**2016**



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

**ALDELIR FORTUNATO RIBEIRO**

**GESTÃO DE ATIVOS APLICADA EM  
DISJUNTORES A GÁS SF<sub>6</sub> DE 145 KV**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
à Escola de Engenharia de São Carlos, da  
Universidade de São Paulo.

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em  
Sistemas de Energia e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Rogério de Andrade Flauzino

São Carlos

2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

RR484g

RIBEIRO, ALDELIR FORTUNATO  
GESTÃO DE ATIVOS APLICADA EM DISJUNTORES À GÁS SF<sub>6</sub>  
DE 145 KV / ALDELIR FORTUNATO RIBEIRO; orientador  
ROGÉRIO ANDRADE FLAUZINO. São Carlos, 2016.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com  
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de  
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,  
2016.

1. GESTÃO DE ATIVOS. 2. DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO.  
3. SF<sub>6</sub>. I. Título.

# FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Adelir Fortunato Ribeiro

Título: “Gestão de ativos aplicada em disjuntores a gás SF6 de 145 kV”

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado  
em 23 / 06 / 2016,

com NOTA 8,0 (oito, zero), pela Comissão Julgadora:

*Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino - (Orientador - SEL/EESC/USP)*

*Prof. Dr. José Carlos de Melo Vieira Júnior - (SEL/EESC/USP)*

*Mestre Valmir Ziolkowski - (ELEKTRO - Eletricidade e Serviços S.A.)*

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:  
Prof. Dr. José Carlos de Melo Vieira Júnior

## **Dedicatória**

À minha mãe Maria Moura, quem acreditou em mim, apoiou e sempre esteve ao meu lado durante todo período de minha graduação.

E ao meu pai Amadeu Ribeiro, quem mais se sacrificou para que eu tivesse a oportunidade e condição de alcançar meu sonho de estudar engenharia na melhor universidade do país.

## **Agradecimentos**

Aos meus pais Maria Moura e Amadeu Ribeiro por tudo que fizeram e fazem por mim para que eu concluisse este trabalho.

Aos irmãos Mateus Bizetti, André Vinícius Belletti, Murilo Pinheiro, João Otávio Barros, Guilherme Lobo e Victor Sebinelli pela fantástica fraternidade.

À minha namorada Sandinara Sampaio pelo companheirismo e inspiração.

À Camila Dias e família por terem me acolhido em sua casa e família como um filho possibilitando eu chegar até aqui.

Aos meus tutores de estágio Jacques Santos, Valmir Ziolkowski e equipe pelos ensinamentos e orientações durante todo esse trabalho.

Ao professor Doutor Rogério Flauzino por acreditar em mim e me confiar sua orientação neste trabalho.

“Tudo sempre parece impossível até que seja feito”

Nelson Rolihlahla Mandela

## **RESUMO**

Este trabalho consiste na elaboração de uma estrutura de gestão de ativos baseada na série ABNT NBR ISO 55000:2014 para o processo de manutenção dos disjuntores de 145 kV à SF<sub>6</sub>. Os ativos estudados pertencem à concessionária de energia elétrica Elektro Eletricidade e Serviços S/A. Existem quatro etapas no ciclo de vida de um ativo: criar/adquirir, utilizar, manter, renovar/descartar, e a estrutura de gestão criada encontra-se na etapa manter. Como principal objetivo a norma de gestão de ativos procura o ponto ótimo entre três variáveis: *custo, desempenho e risco*. Além da busca pelo ponto de equilíbrio das três variáveis, com a implantação do trabalho o processo de manutenção desses ativos se tornou mais robusto promovendo o uso eficiente dos recursos da organização.

**Palavras - chaves:** gestão de ativos, disjuntores de alta tensão, SF<sub>6</sub>, gestão de risco, manutenção centrada em confiabilidade.

## **ABSTRACT**

This work provides the development of an asset management framework based on the series ABNT NBR ISO 55000:2014 for the maintenance process of 145 kV SF<sub>6</sub> circuit breakers. The studied assets belong to the Brazilian energy company Elektro. There are four phases in an active life cycle: create/acquire, use, maintain, renew/discard, and the management structure created is in maintain phase. The main objective of the asset management standard is to seek the optimum point between three variables: *cost*, *performance* and *risk*. In addition to this pursuit, with these work running the maintenance process of those assets has become more robust promoting the efficient use of organizational resources.

### **Keywords:**

asset management, high voltage circuit breakers, SF<sub>6</sub>, risk management, reliability centered maintenance.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – MAPA GEOGRÁFICO COM A ÁREA DE ATUAÇÃO DA ELEKTRO. ....	21
FIGURA 2 - EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS: AR COMPRIMIDO, MÍNIMO VOLUME DE ÓLEO E GÁS SF <sub>6</sub> . ....	23
FIGURA 3 - DISJUNTOR INTERNO EM DESTAQUE COM UM FUNCIONÁRIO. ....	27
FIGURA 4 - DISJUNTOR EXTERNO EM DESTAQUE. ....	27
FIGURA 5 - COMPARATIVO ENTRE DISJUNTORES DE TANQUE VIVO E TANQUE MORTO. ....	28
FIGURA 6 - ÁTOMO DE SF <sub>6</sub> .....	29
FIGURA 7 - CORTE DA CÂMARA DE EXTINÇÃO DE UM DISJUNTOR PUFFER. ....	33
FIGURA 8 - CICLO DE FUNCIONAMENTO DE UM CILINDRO PUFFER.....	33
FIGURA 9 - ILUSTRAÇÃO DO EQUILÍBrio DESEJADO COM A NORMA ABNT NBR ISO 55.000. ....	38
FIGURA 10 - CICLO DE VIDA PADRÃO DE ATIVOS. ....	38
FIGURA 11 - MAPA ESTRATÉGICO DA ELEKTRO. DISPONÍVEL EM <a href="http://WWW.ELEKTRO.COM.BR">HTTP:WWW.ELEKTRO.COM.BR</a> .....	40
FIGURA 12 - PLANO ESTRATÉGICO DA GESTÃO DE ATIVOS. ....	40
FIGURA 13 - FLUXOGRAMA DA GESTÃO DE RISCO. ADAPTADO DA ABNT NBR ISO 31000:2009. ....	42
FIGURA 14 - FLUXOGRAMA DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO ADOTADO NA ELEKTRO. ....	44

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - MECANISMOS DE ABERTURA E FECHAMENTO DOS DISJUNTORES.....	24
TABELA 2 - DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE MANUTENÇÕES DOS DISJUNTORES.....	34
TABELA 3 – AVALIAÇÃO DA PROBABILIDADE DE FALHA DO DISJUNTOR DJ000OLD.....	46
TABELA 4 - AVALIAÇÃO DA CRITICIDADE DE UMA FALHA DO DISJUNTOR EM ESTUDO.....	47
TABELA 5 - RESULTADO FINAL DA CONDIÇÃO DO DJ000OLD COM SEU RISCO ATRELADO.....	47
TABELA 6 – RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA PROBABILIDADE DE FALHA DO DISJUNTOR DJ000NEW.....	47
TABELA 7 – RESULTADO DA AVALIAÇÃO DA CRITICIDADE DE UMA FALHA DO DISJUNTOR DJ000NEW.....	47
TABELA 8 - RESULTADO FINAL DA CONDIÇÃO DO DJ000NEW COM SEU RISCO ATRELADO.....	48
TABELA 9 - MODELO DE MATRIZ DE RISCO ADOTADO PARA DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO ADOTADA NA ELEKTRO.....	48
TABELA 10 - LEGENDA DE RISCO ADOTADO NA ELEKTRO.....	48
TABELA 11 - MATRIZ DE RISCO OBTIDA COM OS DISJUNTORES DE 145 KV À SF <sub>6</sub> NA ELEKTRO.....	49
TABELA 12 - MATRIZ DE RISCO OBTIDA COM OS DISJUNTORES DE 145 KV À SF <sub>6</sub> DIVIDIDO PELAS REGIÕES DA ELEKTRO.....	49

**LISTA DE GRÁFICOS**

GRÁFICO 1 - RIGIDEZ DIELÉTRICA (KV) PARA 10MM DE ABERTURA.....	30
GRÁFICO 2 - QUEDA DE TENSÃO (KV) DE MEIO ISOLANTES PARA DIFERENTES DISTÂNCIAS ENTRE OS CONTATOS (MM). .....	30



# SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.</b>	<b>ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS .....</b>	<b>18</b>
2.1	HISTÓRIA.....	18
2.2	ÁREA DE CONCESSÃO .....	21
<b>3.</b>	<b>DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO.....</b>	<b>23</b>
3.1	COMPONENTES.....	24
3.1.1	<i>Câmara de extinção.....</i>	24
3.1.2	<i>Unidade de acionamento.....</i>	24
3.1.3	<i>Unidade de comando.....</i>	25
3.1.4	<i>Capacitor de equalização.....</i>	25
3.1.5	<i>Resistor de pré-inserção .....</i>	25
3.1.6	<i>Coluna de isolamento.....</i>	26
3.2	CLASSIFICAÇÃO DE DISJUNTORES .....	26
3.2.1	<i>Classe de tensão: .....</i>	26
3.2.2	<i>Tipo de Instalação:.....</i>	26
3.2.3	<i>Isolação da câmara de extinção: .....</i>	28
<b>4.</b>	<b>HEXAFLUORETO DE ENXOFRE .....</b>	<b>29</b>
4.1	FORMAÇÃO E EXTINÇÃO DO ARCO EM DISJUNTORES A SF <sub>6</sub> .....	31
<b>5.</b>	<b>MANUTENÇÃO DE DISJUNTORES .....</b>	<b>34</b>
5.1	ENSAIOS ELÉTRICOS/VERIFICAÇÕES.....	35
5.1.1	<i>Inspecção.....</i>	35
5.1.2	<i>Resistência de contato e de Isolamento .....</i>	35
5.1.3	<i>Tempo de operação .....</i>	35
5.1.4	<i>Sistema de Aquecimento .....</i>	35
5.1.5	<i>Teste Funcional .....</i>	35
5.1.6	<i>Teste de Inoperância.....</i>	35
5.1.7	<i>Gás SF<sub>6</sub>.....</i>	35
5.1.8	<i>Limpeza.....</i>	36
5.1.9	<i>Vedações.....</i>	36
5.1.10	<i>Corrosão.....</i>	36
5.2	MANUTENÇÃO DO COMANDO MECÂNICO .....	36
5.2.1	<i>Contatos auxiliares .....</i>	36
5.2.2	<i>Partes móveis.....</i>	36
5.2.3	<i>Conexões.....</i>	36

5.2.4	<i>Inter-travamentos mecânico</i> .....	36
5.2.5	<i>Regulagem do Comando</i> .....	36
<b>6.</b>	<b>GESTÃO DE ATIVOS.....</b>	<b>37</b>
6.1.	CICLO DE VIDAS DOS ATIVOS .....	38
6.1.1	<i>Criar e/ou adquirir</i> .....	38
6.1.2	<i>Utilizar</i> .....	39
6.1.3	<i>Mantener</i> .....	39
6.1.4	<i>Renovar/Descartar</i> .....	39
6.2.	OBJETIVOS DA GESTÃO DE ATIVOS.....	39
6.3.	GESTÃO DE ATIVOS – DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO .....	41
6.3.1	<i>Gestão de Risco</i> .....	41
6.4.	DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA DE GESTÃO DE RISCO DE DISJUNTORES .....	43
6.4.1	<i>Preditiva</i> .....	44
6.4.2	<i>Preventiva</i> .....	44
6.4.3	<i>Corretiva</i> .....	45
6.4.4	<i>Condição do ativo</i> .....	45
6.4.5	<i>Estudo de caso</i> .....	45
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>50</b>
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>51</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Em 2014 a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a série de normas de gestão de ativos do país, ABNT NBR ISO 55.000, 55.001 e 55.002. A publicação das normas de gestão de ativos tem como finalidade aprimorar a atuação das empresas brasileiras nessa área, já que alguns segmentos econômicos já se destacam na adoção das práticas de gestão de ativos.

As empresas, especialmente as do setor de energia são consideradas “ativo-intensivas”, o que significa dizer que seu desempenho é sustentado pela boa ou má gestão dos seus ativos. Assim, quanto melhor a empresa gerenciar seus ativos, mais vantagens terá no presente cenário.

A Elektro, concessionária de energia elétrica do Estado de São Paulo enxerga a gestão de ativos como uma grande ferramenta para melhoria contínua e alcance de seus objetivos. Com essa visão da norma a Elektro acredita que a certificação junto a ABNT NBR ISO 55.000 apresentará ao setor a filosofia sustentável da Elektro para com a gestão de ativos. Assim, a Gerência de Subestações e Linhas de Transmissão apoiada pela empresa iniciou o trabalho de elaboração do sistema de gestão de ativos, baseado na norma, onde todos os ativos elétricos das subestações foram analisados.

Os primeiros ativos a serem estudados foram os disjuntores de alta tensão, que variavam de 69 kV até 145 kV. Os disjuntores escolhidos para o presente trabalho são os de 145 kV à SF<sub>6</sub>. Para esse ativo foi mapeado todo seu processo de manutenção, e criado um sistema de gestão para o processo. O objetivo do sistema de gestão criado é estruturar o processo de manutenção desses ativos, garantindo que no processo sejam analisadas as três variáveis que a norma cita, buscar o equilíbrio entre elas e que a gerência responsável possa ser certificada com a ABNT NBR ISO 55.000.

## **2. ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS**

A Elektro Eletricidade e Serviços S.A. é uma concessionária de capital aberto a qual presta serviços públicos na distribuição de energia elétrica. Foi constituída em janeiro de 1998 como subsidiária integral da CESP (Companhia Energética de São Paulo S.A.), dentro das diretrizes estabelecidas pelo PED – Programa Estadual de Desestatização do Governo do Estado de São Paulo.

### **2.1 História**

A Elektro foi constituída por meio da Assembleia Geral Extraordinária da Cesp, realizada em 6 de janeiro de 1998, sendo inicialmente uma sociedade por ações de capital fechado. Posteriormente, em Assembleia Geral Extraordinária, realizada em 23 de janeiro de 1998, a Cesp aprovou alteração estatutária da Elektro, elevando o seu capital social por meio da cessão de ativos relativos à distribuição de energia elétrica.

Em 1º de junho de 1998, deu-se o início das operações comerciais independentes da Elektro, com a concomitante transferência, para a Elektro, de todos os funcionários da Cesp que atuavam na distribuição de energia.

Ato contínuo, a Elektro obteve seu registro de companhia aberta junto a Comissão de Valores Mobiliários (CVM) no dia 8 de julho de 1998, sendo que, nos termos do Decreto Presidencial de 20 de agosto de 1998, por intermédio do Contrato de Concessão celebrado em 27 de agosto de 1998, a União concedeu à Elektro o direito de exploração dos serviços públicos de distribuição e de geração de energia elétrica nos municípios listados no Contrato de Concessão.

Por meio de leilões realizados na Bovespa, a Enron passou a deter indiretamente, por meio de suas *holdings* brasileiras, 99,62% do capital social total da Elektro (99,96% do capital votante).

Em 2 de dezembro de 2001, a Enron e algumas de suas afiliadas iniciaram um processo de proteção falimentar com base no Capítulo 11 da Lei de Falências dos Estados Unidos. Esse processo foi finalizado em 31 de agosto de 2004, quando a Enron transferiu sua participação acionária indireta na Elektro para a Prisma Energy International Inc. (*Prisma Energy*), concretizando assim uma das etapas do Plano de Reorganização da Enron, aprovado na Corte de Falências de Nova Iorque. Nesse estágio, a Prisma Energy passou a ser 100% controlada diretamente e indiretamente pela Enron.

Em 17 de novembro de 2004, o Plano entrou em pleno vigor e a Enron saiu do estado de falência, passando a ser considerada, a partir de então, uma empresa reorganizada, de acordo com o Capítulo 11 da Lei de Falências dos Estados Unidos da América.

Entre maio e setembro de 2006, a Ashmore Energy International Limited (AEI) adquiriu 100% das ações da controladora indireta da Elektro, Prisma Energy, o que somente ocorreu após a obtenção dos consentimentos e aprovações necessários, incluindo, no Brasil, a aprovação da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) e agentes repassadores de linhas de financiamento do BNDES.

Em 29 de dezembro de 2006, foi implementada a fusão das empresas Prisma Energy e Ashmore Energy International Limited, com o surgimento de uma empresa denominada Ashmore Energy International. Posteriormente, em 22 de outubro de 2007, houve a alteração da razão social dessa empresa de Ashmore Energy International para AEI.

A partir daí a Elektro foi controlada diretamente pelas empresas holdings EPC – Empresa Paranaense Comercializadora, ETB – Energia Total do Brasil, AEI Investimentos Energéticos e AEI Brazil Finance que, conjuntamente, detinham 99,68% do capital total e 99,97% do capital votante da Companhia. A EPC detinha o bloco de controle com 64,55% do capital votante da Elektro. Todas as holdings mencionadas são indiretamente controladas pela AEI.

Atenta à importância da Gestão da Qualidade, em 2007, a Elektro foi certificada com a norma ABNT NBR ISO 9001. A conquista soma-se a outras duas certificações obtidas pela empresa: a ABNT NBR ISO 14001:2004 (Meio Ambiente) e OHSAS 18001:2007 (Segurança e Saúde Ocupacional). Segundo a ABT (Associação Brasileira de Tele atendimento), em 2010, o Call Center da Elektro tornou-se o primeiro do Brasil a ser certificado nas três normas.

Em 2008, a Elektro inaugurou seu novo Centro de Distribuição, na cidade de Sumaré/SP, e passou a trabalhar com a divisão de sua área de concessão em quatro grandes regiões: Oeste, Centro, Sul e Leste, levando em consideração não apenas a localização geográfica, mas também as características socioeconômicas de cada macro região de sua área de concessão.

A Elektro entrou em 2009 com fortes investimentos nos temas Segurança, Produtividade, Qualidade e Inovação. Apoiada neste último, a empresa adquiriu novas tecnologias que mudaram o dia a dia dos colaboradores e revolucionaram a prestação dos serviços de distribuição de energia elétrica no Brasil. Exemplos desta inovação são os equipamentos *Digger Derrick* (que, em conjunto com a cesta aérea, permite a troca de postes e a substituição de cruzetas sem a interrupção do fornecimento de energia elétrica); e *Ez Hauler* (equipamento ideal para locais de difícil acesso, pois permite transportar e instalar postes em localidades remotas, com vegetação densa e solo arenoso ou pantanoso).

Em 2009, a Elektro teve seu rating corporativo elevado de brAA para brAA+, um dos melhores do setor elétrico; e o índice de Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC) atingiu recorde histórico de 5,94, devido a uma eficiente manutenção preventiva. Em 2010, o rating de crédito corporativo da Elektro foi elevado para brAAA, o melhor da escala, segundo a agência de classificação de riscos *Standard & Poor's* e a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC) foi de 5,75 interrupções no ano, nosso melhor nível histórico.

Em 2010, a empresa continuou seu processo de inovação trazendo ao país a cesta aérea híbrida, um equipamento que usa menos combustível fóssil e reduz a emissão de gás carbônico. A trajetória pela excelência teve um importante capítulo em outubro deste mesmo ano, quando a Elektro conquistou o Prêmio Nacional da Qualidade (PNQ), demonstrando, assim, que a companhia passou por uma análise profunda de sua gestão que está baseada no Modelo de Excelência de Gestão (MEG) e no Sistema Empresarial Elektro (SEE), uma ferramenta que permite à Elektro alinhar a organização em torno de suas estratégias, garantindo à empresa um padrão de excelência em seus processos gerenciais.

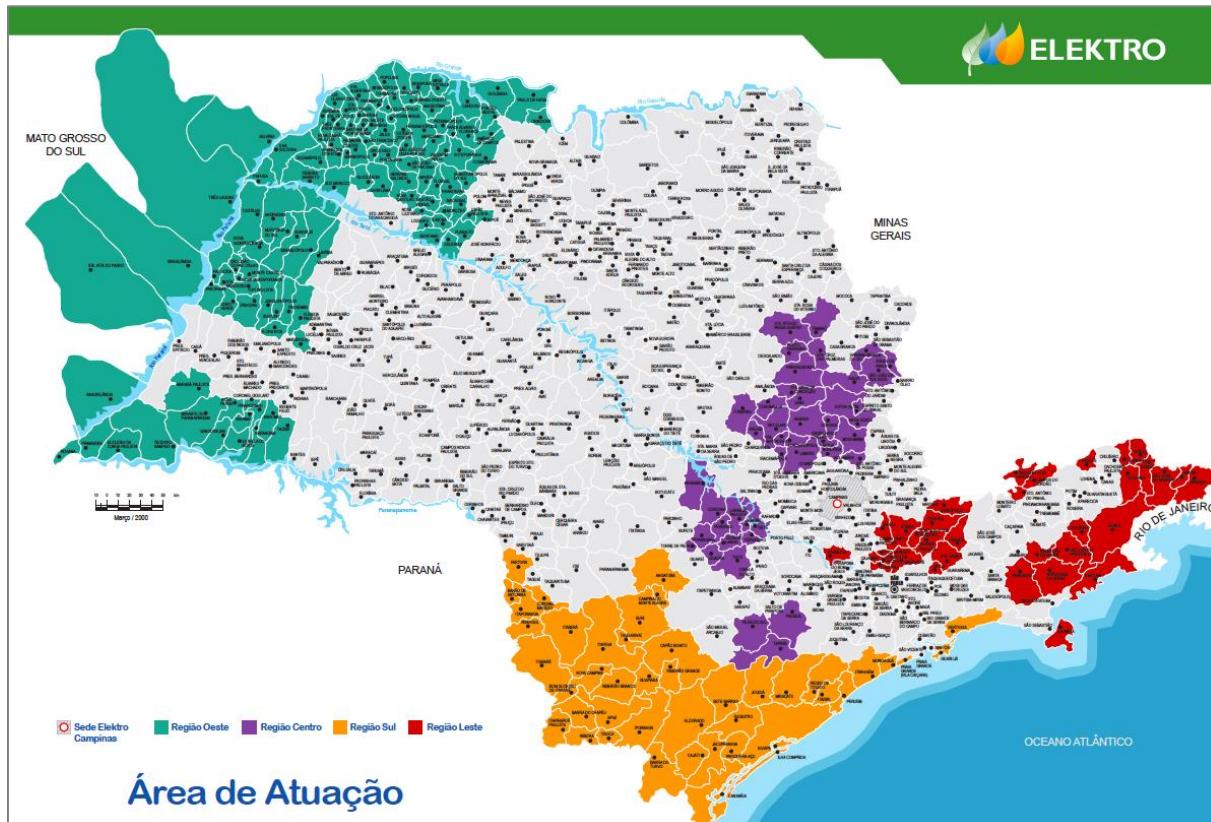
Em abril de 2011, o processo de venda da Elektro para a Iberdrola foi concluído, assim, a empresa passou a fazer parte do maior grupo de energia elétrica da Espanha, que está presente em 40 países, conta com uma equipe de aproximadamente 30000 pessoas e figura entre as cinco maiores empresas do setor elétrico do mundo.

Atualmente controlada pelo Grupo Iberdrola, a Elektro é a oitava maior distribuidora de energia elétrica do País e a terceira do Estado de São Paulo, com 11% de participação no mercado, segundo dados da Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (Abradee). A concessionária distribui energia elétrica para uma

população de mais de 5,5 milhões de pessoas, em 223 municípios paulistas e em 5 cidades sul-mato-grossenses.

## 2.2 Área de concessão

O território de atendimento da Elektro contempla aproximadamente 2,5 milhões de clientes nas 228 cidades atendidas, cobrindo uma área de mais de 120 mil quilômetros quadrados.



*Figura 1 – Mapa geográfico com a área de atuação da Elektro.*

Disponível em [http://elektro.com.br/Media/Default/ImageGalleries/Mapa%20area%20de%20atuacao/Thumbnails/mapa\\_area\\_atuacao.pdf](http://elektro.com.br/Media/Default/ImageGalleries/Mapa%20area%20de%20atuacao/Thumbnails/mapa_area_atuacao.pdf)  
(23/05/16).

A área de concessão da Elektro contempla regiões muito distintas quanto a segmentos econômicos, topografia, quantidade de clientes, etc. Devido a essa realidade a área de concessão foi classificada em 4 regiões, denominadas Centro, Sul, Leste e Oeste conforme ilustrado na Figura 1.

A Elektro é a oitava maior distribuidora de energia elétrica do país, sendo a terceira maior do Estado de São Paulo. São atendidos 2,5 milhões de clientes, o que totaliza mais de 6 milhões de pessoas. A Elektro representa 11,5% da energia distribuída em São Paulo, e representa também aproximadamente 80% da energia distribuída do litoral paulista.

A Concessionária tem conquistado muitos prêmios de reconhecimento pela sua filosofia de gestão, excelência operacional, sustentabilidade e foco nas pessoas. Entre os principais prêmios estão:

- Eleita a melhor empresa para se trabalhar no Brasil pelo guia da revista Você S/A
- Eleita a melhor empresa para se trabalhar no Brasil pelo ranking da Great Places to Work (2013,2014 e 2015)
- Eleita a melhor empresa para se trabalhar na América Latina pelo ranking da Great Places to Work (2014 e 2015)
- Em 2015 foi eleita pela Abradee (Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia Elétrica) a Melhor Distribuidora de Energia nas categorias: Região Sudeste pela 9<sup>a</sup> vez e Gestão Operacional pela 10<sup>a</sup> vez.

### 3. DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO

Disjuntor tem sua origem na palavra em latim *disjunctus*, e significa desconectado. Segundo a norma IEC 60050:2009 (*International Electrotechnical Vocabulary*), disjuntor é um dispositivo mecânico de manobra, capaz de estabelecer, conduzir e interromper correntes nas condições normais do circuito. Assim como estabelecer, conduzir durante um tempo especificado e interromper correntes sob condições anormais especificadas do circuito, tais como curto-círcuito. Basicamente um disjuntor é um equipamento que idealmente no estado fechado deve conduzir a corrente nominal do circuito, ou seja, comportando-se como um condutor ideal. Já no estado aberto ele não deve conduzir corrente elétrica, comportando-se como um isolador ideal.

Os disjuntores que possuem o ar como meio de extinção são os mais simples e, historicamente, foram os primeiros a serem utilizados. Devido ao crescimento da potência de interrupção, tecnologia e elevação dos níveis de tensão no sistema elétrico, foram desenvolvidos os isolados a óleo mineral isolante (DIAS; ACIRES , 2011).

Em meados da década de 30, a tecnologia a ar comprimido se mostrava como o estado da arte para os disjuntores de alta tensão. Essa tecnologia era favorecida devido ao histórico dos disjuntores a óleo, que eram responsáveis por acidentes graves provocados por explosão e incêndio.

Em 1953 nos Estados Unidos da América construía-se o primeiro protótipo de um disjuntor isolado à SF<sub>6</sub> para aplicação em alta tensão. Os disjuntores a vácuo só vieram ser fabricados após a década de 60, quando eram considerados uma ótima opção nas aplicações em média tensão. A

Figura 2 ilustra três disjuntores externos, cada um de uma tecnologia distinta: sopro a ar, pouco volume de óleo e a gás SF<sub>6</sub>.



Figura 2 - Evolução das tecnologias: ar comprimido, mínimo volume de óleo e gás SF<sub>6</sub>.

*Adaptado de: SWARDT, Mike. Circuit Breaker technology made easy HV and MV distribution; ABB Cape Technology, Maio de 2014.*

### 3.1 Componentes

Disjuntor é um dispositivo mecânico que possui muitas peças constituintes. Abaixo foram listadas as principais características dos disjuntores de alta tensão.

#### 3.1.1 Câmara de extinção

A câmara de extinção é o compartimento que envolve os contatos principais do disjuntor. É nela que o SF<sub>6</sub> fica contido, onde o arco elétrico é criado e também extinto. A câmara suporta estruturalmente os terminais, contatos principais e mecanismos de atuação do equipamento.

#### 3.1.2 Unidade de acionamento

Trata-se do conjunto responsável pelo armazenamento de energia necessária para a operação mecânica do disjuntor, tanto abertura como fechamento do equipamento. As características dessa unidade são:

- Acelerar as massas das partes móveis;
- Vencer as forças de atrito existente no equipamento;
- Vencer o esforço oposto do amortecedor (atenuador de impactos);
- Vencer a resistência do injetor de SF<sub>6</sub> (*puffer*);
- Vencer as forças eletromagnéticas;
- Acumular energia na mola de abertura.

Existem alguns mecanismos de acumulação de energia para abertura e fechamento dos disjuntores, e os já encontrados na concessionária Elektro estão expostos na Tabela 1.

*Tabela 1 - Mecanismos de abertura e fechamento dos disjuntores.*

MECANISMO DE ABERTURA	MECANISMO DE FECHAMENTO
MOLA	MOLA
MOLA	AR COMPRIMIDO
AR COMPRIMIDO	AR COMPRIMIDO
SOLENÓIDE	MOLA
ÓLEO	MOLA
ÓLEO	ÓLEO

Observando-se a Tabela 1 nota-se que mola é uma tecnologia bem usada e muito bem aceita tanto para abertura quanto para o fechamento do disjuntor. Para abertura

também foram encontrados disjuntores com mecanismo de abertura via ar comprimido, óleo e solenoide. O mecanismo de abertura e fechamento à óleo possuem um histórico desfavorável por possuir um elevado número de falhas com o tempo. De todas as opções apresentadas acima, para abertura e fechamento, o mecanismo mais robusto e mais utilizado é o mecanismo à mola.

O método de acumulação de energia utilizado para abertura e fechamento dos disjuntores estudados no presente trabalho é a mola com carregamento motorizado. Trata-se também do mecanismo mais utilizado atualmente no mundo.

### **3.1.3 Unidade de comando**

Parte que engloba elementos de comando, controle e supervisão do disjuntor. Seus componentes e suas características funcionais dependem do tipo de acionamento e do meio extintor. Essa unidade também pode abranger outros dispositivos para complementar os requisitos específicos do ativo, como por exemplo, incluir *intelligent electronic device* (IEDs), também conhecidos como relés de controle, automação e proteção.

### **3.1.4 Capacitor de equalização**

O capacitor de equalização tem a finalidade de garantir que durante o processo de abertura e com o disjuntor aberto, a tensão sobre a câmara de extinção seja a mais uniforme possível. Geralmente utilizado em disjuntores de múltiplas câmaras de extinção.

### **3.1.5 Resistor de pré-inserção**

O resistor de pré-inserção é um componente instalado nas câmaras auxiliares, em paralelo com o contato principal do disjuntor, entrando em operação durante o processo de abertura e/ou fechamento do disjuntor.

Durante o processo de fechamento o resistor tem função de limitar a corrente de cargas capacitivas e reduzir as sobre tensões que ocorrem durante o fechamento de linhas longas.

Durante o processo de abertura ele tem função de equalizar as tensões nas câmaras de extinção, reduzir as sobre tensões devido as cargas indutivas, reduzir a taxa de crescimento e o pico da tensão transitória de restabelecimento em faltas terminais e também durante a abertura de cargas capacitivas.

### 3.1.6 Coluna de isolação

A coluna de isolação acomoda a haste de manobra que transmite o movimento da unidade de acionamento (hidráulica ou mola) para o mecanismo de acionamento. A coluna de isolação contém SF<sub>6</sub>, cuja função é isolar a coluna, além de circular pelas câmaras e resistores para auxiliar na refrigeração.

A coluna também mantém a distância de isolamento entre o solo e os componentes da câmara de extinção no caso de disjuntores de tanque vivo, e serve de suporte para estrutura, composta pela câmara de extinção, resistor, capacitor e mecanismo de acionamento. Os isoladores da coluna de isolação são unidos por flanges e as vedações são críticas por evitar que o SF<sub>6</sub> entre em contato com a umidade.

## 3.2 Classificação de disjuntores

Existem diversos critérios possíveis para classificação de disjuntores de alta tensão, mas para o presente trabalho são descritos os principais critérios, os quais sempre são mencionados independentes da literatura adotada.

**3.2.1 Classe de tensão:** o nível de tensão nominal do equipamento. Segue abaixo descrição segundo norma regulamentadora 10 - segurança em instalações e serviços em eletricidade (NR10).

- Extra Baixa Tensão (EBT) – tensão não superior a 50V em C.A. ou 120V em C.C; entre fases ou entre fase e terra
- Baixa Tensão (BT) – tensão superior a 50V em C.A. ou 120V em C.C e igual ou inferior a 1.000V em C.A. ou 1.500V em C.C entre fases ou entre fase e terra
- Alta tensão (AT) – tensão superior a 1000V em C.A. ou 1.500V em C.C; entre fases ou entre fase e terra.

**3.2.2 Tipo de Instalação:** o local onde o dispositivo é instalado.

- Interno: o disjuntor está dimensionado para instalação abrigada em compartimentos protegidos das intempéries, como exemplo ilustrado na Figura 3.



Figura 3 - Disjuntor interno em destaque com um funcionário.

Extraído de <http://electrical-engineering-portal.com/sf6-or-vacuum-mv-circuit-breaker-in-specific-switching-applications> (23/05/16).

- Externo: o disjuntor está dimensionado para instalação ao ar livre, sujeito à intempéries, conforme

Figura 4.



Figura 4 - Disjuntor externo em destaque.

Disponível em <http://www.hitachi.com/products/power/TandD/common/images/gcb/img02.jpg> (23/05/16).

**3.2.3 Isolação da câmara de extinção:** segundo a IEC 62271:2006 (*High-voltage switchgear and controlgear Part 100: High-voltage alternating-current circuit-breakers*) quanto à isolação da câmara de extinção tem-se:

- Disjuntor de tanque vivo: as partes ativas de interrupção são inseridas em um invólucro, o qual está no potencial da linha e isolado da terra.
- Disjuntor de tanque morto: as partes ativas de interrupção são inseridas em um invólucro metálico aterrado. A fig5 ilustra ambas configurações supracitadas.

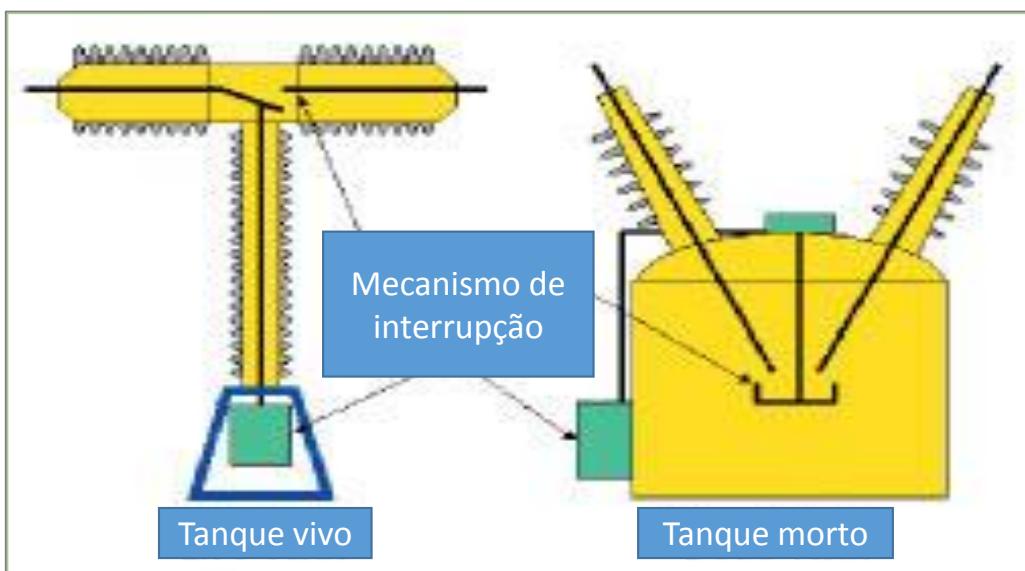


Figura 5 - Comparativo entre disjuntores de tanque vivo e tanque morto.

Adaptado de: SWARDT, Mike. Circuit Breaker technology made easy HV and MV distribution; ABB Cape Technology, Maio de 2014.

As principais vantagens do disjuntor de tanque vivo são o baixo custo se desprovido de transformadores de corrente, menor espaço para montagem e a menor quantidade de fluido isolante. E em relação ao disjuntor de tanque morto as principais vantagens associadas são a facilidade para instalação de transformadores de correntes em ambos os lados do equipamento, ajustes e montagem feitos de fábrica.

#### 4. HEXAFLUORETO DE ENXOFRE

O SF<sub>6</sub> (hexafluoreto) de enxofre é um composto químico inorgânico formado por um átomo central de enxofre ligado a seis átomos de flúor, em uma estrutura octaédrica simétrica semelhante à Figura 6.

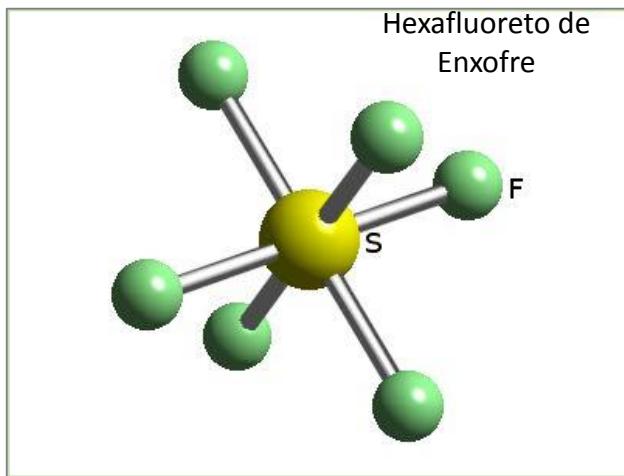


Figura 6 - Átomo de SF<sub>6</sub>.

Disponível em [https://www.webelements.com/\\_media/compounds/S/F6SI-2551624.jpg](https://www.webelements.com/_media/compounds/S/F6SI-2551624.jpg).

Em condições normais de temperatura e pressão em seu estado puro, o SF<sub>6</sub> é um gás quimicamente inerte, estável, inodoro, incolor, não tóxico e não inflamável. Trata-se de um produto industrializado desenvolvido pela síntese direta a partir do flúor e do enxofre fundido.

O SF<sub>6</sub> foi sintetizado pela primeira vez nos laboratórios da Faculdade de Farmacologia de Paris, por Henri Moissan e Paul Lebeauem em 1900. Moissan em 1906 ganhou o prêmio Nobel de química pelas experiências envolvendo o flúor (DIAS; ACIRES, 2011).

As primeiras pesquisas sobre aplicações industriais só surgiram na década de 30 pela GE (*General Electric Company*), a qual sugeriu que se utilizasse o composto como em equipamentos elétricos devido a sua alta rigidez dielétrica, isso significa a intensidade máxima do campo elétrico que um material isolante pode suportar sem conduzir electricidade, vide Gráfico 1 e Gráfico 2. Mas só a partir da década de 60 iniciou-se a comercialização em larga escala do SF<sub>6</sub> na indústria elétrica nos Estados Unidos da América e na Europa, ao mesmo tempo em que eram lançados os primeiros disjuntores e chaves utilizando este gás.

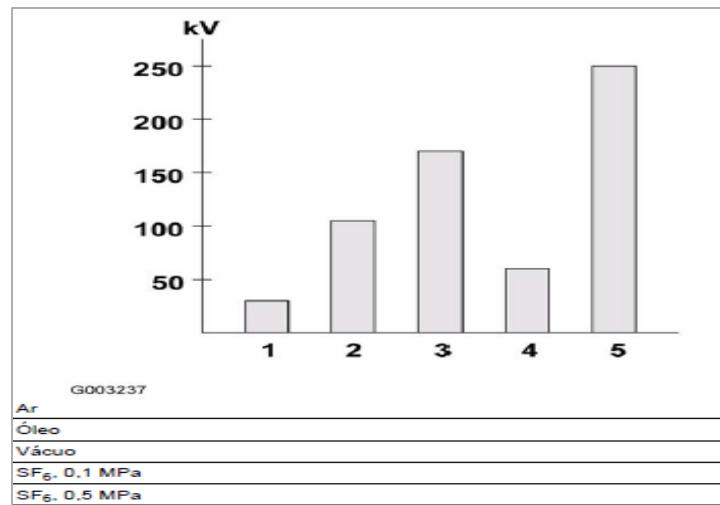


Gráfico 1 - Rrigidez dielétrica (kV) para 10mm de abertura.

Extraído de ABB – manual de produto. (IHSB429954-3PT).

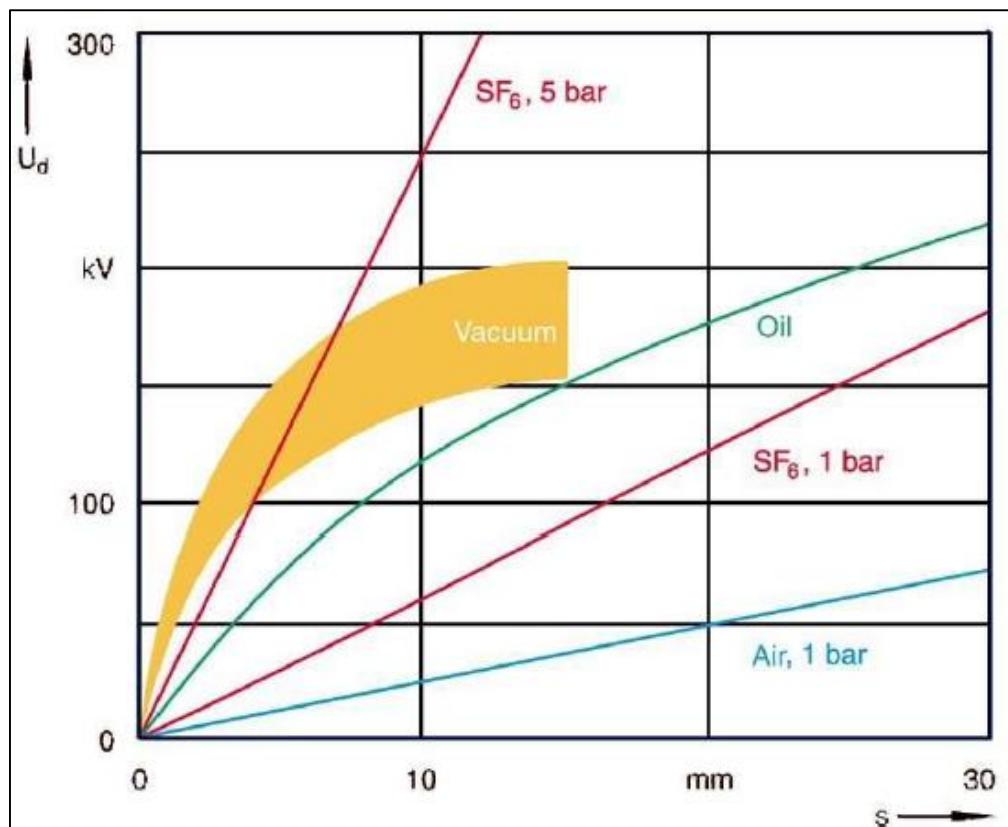


Gráfico 2 - Queda de tensão (kV) de meio isolantes para diferentes distâncias entre os contatos (mm).

Extraído de: SWARDT, Mike. Circuit Breaker technology made easy HV and MV distribution; ABB Cape Technology, Maio de 2014.

O SF<sub>6</sub> possui elevada eletronegatividade, baixa temperatura de ionização e alta capacidade de transferência de calor, características que tornam este composto químico tão desejado pela indústria elétrica como meio dielétrico e de extinção de arco. O tempo

de extinção no SF<sub>6</sub> é aproximadamente 100 vezes menor do que no ar, sob condições semelhantes. E a densidade do SF<sub>6</sub> é 6,139 g/l a 21°C e 1bar, ou seja, aproximadamente 5 vezes maior que a densidade do ar.

A grande desvantagem no uso do SF<sub>6</sub> como meio de extinção e dielétrico em equipamentos está relacionada com o processo de formação de subprodutos, por decomposição do gás nas condições operação. Este processo de degradação é favorecido pelas altas temperaturas desenvolvidas durante o arco e também pela presença de algumas impurezas como ar, CF<sub>4</sub>, água, carbono, hidrogênio, sílica, tungstênio, cobre e níquel. Ocorre a quebra de ligações S-F no processo, o que acarreta na formação de um elevado número de subprodutos, muitos dos quais possuem características tóxicas e corrosivas.

Mas sobre o olhar ambiental, o SF<sub>6</sub> é aproximadamente 23.000 vezes mais nocivo para o efeito estufa que o dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, ou seja, sua emissão para atmosfera é extremamente negativa.

Quanto à questão de segurança, o SF<sub>6</sub> não é tóxico. Porém, por ser mais denso que o ar, em ambientes fechados e de pouco espaço, o composto expulsa o oxigênio, o que causa asfixia. E caso o SF<sub>6</sub> encontre-se em sua forma líquida, ele pode causar congelamento.

O trabalho desenvolvido na Elektro sobre gestão de ativos em 2015 contou com um parque de aproximadamente 150 disjuntores de alta tensão instalados, sendo que 94% usam SF<sub>6</sub> como meio de extinção. E dos disjuntores à SF<sub>6</sub> 90% tem o mesmo mecanismo de acionamento, que no caso é a mola.

#### **4.1 Formação e extinção do arco em disjuntores a SF<sub>6</sub>**

O arco elétrico é um fenômeno que ocorre quando se separam dois terminais de um circuito que conduz determinada corrente de carga, sobrecarga ou curto-circuito. Devido a isso, em um meio altamente ionizado forma-se um canal condutor com intenso brilho, semelhante à um grande flash, onde se eleva significativamente a temperatura do entorno no qual o arco se desenvolve.

Os primeiros disjuntores a SF<sub>6</sub> eram chamados de disjuntores de dupla pressão. Esse tipo de disjuntor é constituído de dois circuitos de pressão. Um circuito de alta pressão de SF<sub>6</sub>, normalmente alocado na parte superior do equipamento e, o segundo circuito de baixa pressão. O SF<sub>6</sub> a alta pressão é liberado sobre a região entre os contatos do disjuntor sob baixa pressão. O SF<sub>6</sub> a baixa pressão tem uma função adicional de manter o isolamento das partes energizadas e a terra. E após a interrupção do arco o gás

descarregado a baixa pressão é bombeado por um compressor para o lado de alta pressão, passando através de um filtro para remoção de resíduos provenientes do processo de extinção do arco.

Este tipo de disjuntor apresenta dificuldades operacionais e alta complexidade mecânica, o que se reflete no fato de estar praticamente fora de linha de produção. As principais desvantagens dos disjuntores a SF<sub>6</sub> de dupla pressão eram a baixa confiabilidade dos compressores de gás e a tendência do SF<sub>6</sub> liquefazer-se à temperatura ambiente quando comprimido (a temperatura de liquefação do SF<sub>6</sub> a 16 bar é 10°C), o que obrigava a instalação de aquecedores no circuito de alta pressão com consequente aumento da complexidade e redução da confiabilidade.

A segunda geração de disjuntores a SF<sub>6</sub> foram os de pressão única ou tipo impulso, alternativa criada para resolver os inconvenientes do disjuntor de pressão dupla. Neste modelo o gás fica confinado em um único circuito fechado com pressão única constante, a depender dos requisitos de abertura especificados.

Um tipo de disjuntor de pressão única é o disjuntor tipo *puffer* (soprador). O disjuntor tipo *puffer* é também chamado de auto compressão. Nesse tipo o SF<sub>6</sub> permanece no disjuntor durante a maior parte do tempo, a uma pressão constante de 3 a 6 bar (DIAS; ACIRES, 2011). A pressão necessária à extinção do arco é produzida individualmente nas câmaras de extinção por um dispositivo (*puffer*) formado por um pistão e um cilindro soprador. Ao se movimentarem, estes elementos deslocam consigo o contato móvel comprimindo o gás existente no interior do cilindro, e com maior pressão, maior é a capacidade dielétrica do gás SF<sub>6</sub>.

A compressão do gás nesse processo eleva a pressão na ordem de 2 a 6 vezes a original (DIAS; ACIRES, 2011). No intervalo entre a separação dos contatos e o fim do movimento o gás comprimido é迫使ido a fluir entre os contatos e através de passagens chamadas de *nozzles* (bocais), extinguindo o arco de forma semelhante ao dos disjuntores de dupla pressão. O alto fluxo de gás em alta pressão colabora resfriando a temperatura do arco com mais eficiência, e com um fluxo eficiente de gás isolante limpa a região de contato com gases quentes, os quais são contaminantes devido ao arco e à condutividade instável pós arco.

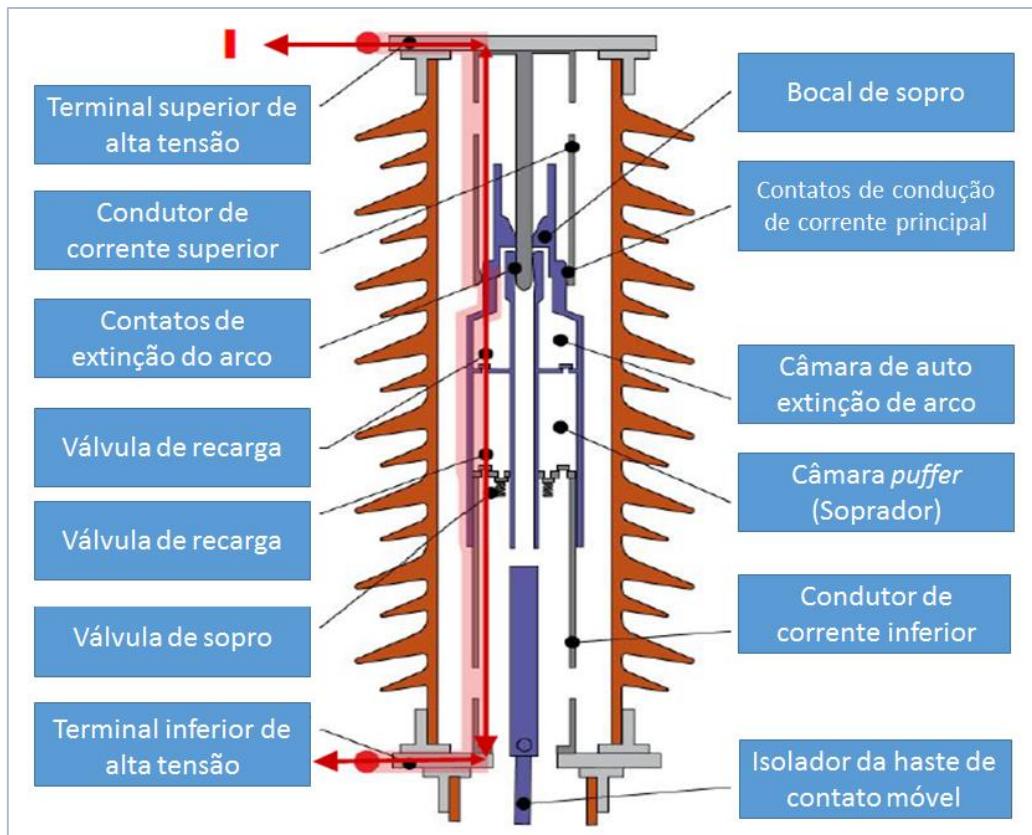


Figura 7 - Corte da câmara de extinção de um disjuntor puffer.

Adaptado de: SWARDT, Mike. Circuit Breaker technology made easy HV and MV distribution; ABB Cape Technology, Maio de 2014.

Na Figura 7 é destacado um cilindro puffer. A figura ilustra em vermelho que a corrente flui do terminal superior (fixo) para o terminal móvel através dos contatos principais. Já a Figura 8 mostra o processo de extinção da corrente e abertura do disjuntor tipo puffer.

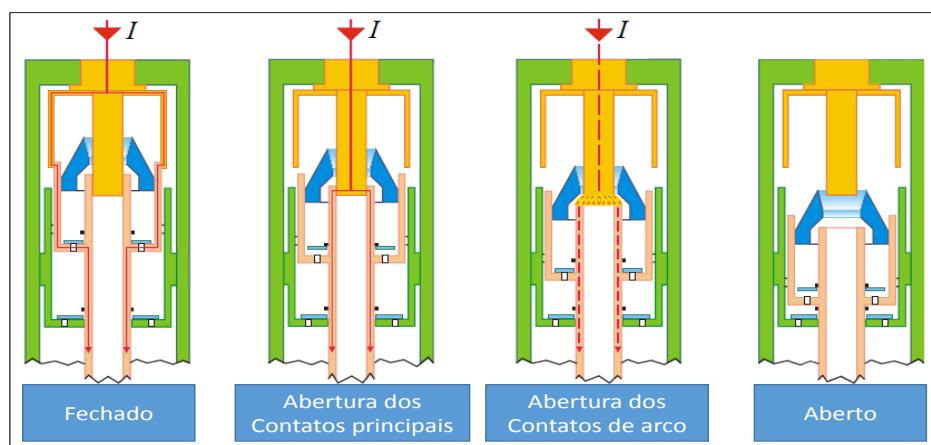


Figura 8 - Ciclo de funcionamento de um cilindro puffer.

Adaptado de SWARDT, Mike. Circuit Breaker technology made easy HV and MV distribution; ABB Cape Technology, Maio de 2014.

## 5. MANUTENÇÃO DE DISJUNTORES

Todas as atividades de manutenção dos disjuntores bem como as periodicidades das mesmas são descritas no manual do equipamento pelo respectivo fabricante. A periodicidade adotada pela Elektro varia para cada ativo, sendo dependente do resultado da análise de risco do equipamento. Abaixo são descritas as diretrizes básicas para manutenção preventiva dos disjuntores de 145 kV adotadas na Elektro, conforme ilustrado na Tabela 2.

*Tabela 2 - Descrição dos tipos de manutenções dos disjuntores.*

Providências/ Razões	Intervalo Máximo	Estado do Disjuntor
INOPERÂNCIA	120 dias	Em operação
INSPEÇÃO VISUAL	45 dias	Em Operação
MANUTENÇÃO PREVENTIVA	3 a 5 anos de acordo com o modelo do comutador do transformador	Desligado
MANUTENÇÃO CORRETIVA	N/A	Desligado

Os instrumentos necessários para realização dos ensaios são:

- Megômetro 5kV
- Micromímetro 100A
- Oscilógrafo
- Termo higrômetro
- Torquímetro
- Detector de gás SF<sub>6</sub>

As atividades de manutenção estão divididas em dois grupos:

- Ensaios Elétricos/Verificações
- Manutenção Comando Mecânico

Na sequência serão descritas as atividades de cada grupo.

## **5.1 Ensaios Elétricos/Verificações**

### **5.1.1 Inspeção**

É realizada inspeção geral nas partes ativa e comando antes do início da manutenção, a fim de identificar avarias no equipamento que necessitam de atuação imediata ou replanejamento da manutenção preventiva. É realizada inspeção da estrutura, suporte e dos painéis do equipamento com objetivo de avaliar pontos de corrosão que necessitam de intervenção. E também é realizada inspeção de todas as vedações do equipamento, painel de comando com objetivo de avaliar vedações que necessitam de intervenção.

### **5.1.2 Resistência de contato e de Isolamento**

É realizado ensaio de resistência de contato antes e após a manutenção do equipamento utilizando o Micromímetro. Também é realizado ensaio de resistência de isolamento antes e após a manutenção do equipamento utilizando o Megômetro.

### **5.1.3 Tempo de operação**

É realizado ensaio de medição dos tempos de operação, fechamento e abertura, antes e após a manutenção utilizando o oscilógrafo.

### **5.1.4 Sistema de Aquecimento**

São verificados todos os componentes do sistema de aquecimento, e substituídos os componentes com avaria que possa comprometer sua idoneidade.

### **5.1.5 Teste Funcional**

São realizados testes funcionais de fechamento, abertura e anti-bombeamento nas condições de operação local e remota, incluindo:

- Verificação da sinalização dos contatos auxiliares;
- Verificação do sistema de supervisão de bobina;
- Teste do meio físico responsável pela linha de comando do equipamento.

### **5.1.6 Teste de Inoperância**

Caso o disjuntor não tenha operado dentro de 120 dias o mesmo é aberto, e são medidos os valores do tempo de carregamento da mola e a corrente do motor.

### **5.1.7 Gás SF<sub>6</sub>**

A pressão do gás SF<sub>6</sub> é verificada, e caso necessário realiza-se a reposição seguindo as recomendações e procedimentos do manual do equipamento. É verificada

existência de vazamento de gás por meio do instrumento detector de gás SF<sub>6</sub>. Também são verificados, testados e aferidos os manômetros, pressostatos e densímetros.

### **5.1.8 Limpeza**

É realizada limpeza da parte ativa do equipamento e na parte interna do painel de comando.

### **5.1.9 Vedações**

São substituídas ou reparadas as vedações quando as mesmas necessitarem de intervenção.

### **5.1.10 Corrosão**

São eliminados todos os pontos de corrosão do suporte, estrutura e painéis que necessitarem de intervenção. Todos os parafusos, arruelas, porcas e peças com estado avançado de corrosão devem ser obrigatoriamente substituídos.

## **5.2 Manutenção do comando mecânico**

### **5.2.1 Contatos auxiliares**

São verificados e limpados os contatos auxiliares, inclusive as bobinas de abertura e fechamento.

### **5.2.2 Partes móveis**

São verificadas, limpas e lubrificadas as partes móveis utilizando produto adequado, conforme especificado no manual do fabricante.

### **5.2.3 Conexões**

São verificadas e reapertadas todas as conexões das réguas borne.

### **5.2.4 Inter-travamentos mecânico**

É verificado o correto funcionamento dos inter-travamentos mecânicos, avaliando as condições de conservação dos mesmos.

### **5.2.5 Regulagem do Comando**

Quando necessário é realizada a regulagem no mecanismo de comando do disjuntor.

## 6. GESTÃO DE ATIVOS

A Série ABNT NBR ISO 55.000 fornece princípios, requisitos e orientações para um Sistema de Gestão de Ativos e aborda requisitos como a implantação dos princípios de Gestão de Ativos e a documentação sobre quais ativos fazem parte e são escopo deste Sistema. Trata, ainda, da integração dos processos decisórios técnicos e financeiros, particularmente sobre a Gestão de Ativos, e destaca também a implantação de um processo decisório com foco no balanceamento entre os fatores de riscos, custos e desempenho dos ativos. A integração dos processos técnicos e financeiros é descrita de maneira genérica, e cada organização deve definir como isto ocorrerá.

Os benefícios da implementação da Série ABNT NBR ISO 55.000 para as companhias incluem o seguinte:

- Melhoria da reputação;
- Melhoria da sustentabilidade da empresa;
- Aumento da eficiência e redução dos custos dos processos do ciclo de vida dos ativos e de terceiros;
- Aprendizado organizacional e criação de conhecimento;
- Melhorias na captação e distribuição de investimentos;
- Consolidação e utilização de informações sobre os ativos;
- Maior engajamento dos colaboradores;
- Confiança dos órgãos reguladores.

A NBR ISO 55.000 destaca que o controle eficaz dos ativos passa pelo gerenciamento de riscos, tendo por objetivo principal atingir o equilíbrio ou “ponto ótimo” entre custo, risco e desempenho, conforme mostrado na Figura 9. Isso significa dizer que as três variáveis citadas são tratadas de formas individuais e o objetivo final não é ter o melhor desempenho, nem o menor risco ou o menor custo, e sim a combinação das três concomitantemente. Com a aplicação da norma de gestão de ativos supracitada as organizações podem alcançar os seus objetivos de longo prazo de forma eficiente e sustentável.

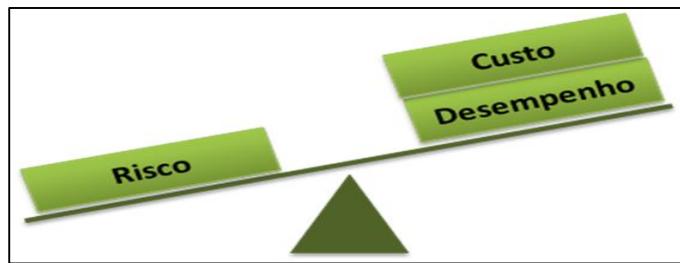


Figura 9 - Ilustração do equilíbrio desejado com a norma ABNT NBR ISO 55.000.

A PAS 55:2008 que é a base da ABNT NBR ISO 55.000, define gestão de ativos como sendo um conjunto de atividades sistemáticas e coordenadas por onde as organizações gerenciam o desempenho, riscos e custos ao longo do ciclo de vida de seus ativos de forma ótima e sustentável, com o propósito de alcançar os seus objetivos organizacionais.

### 6.1. Ciclo de vidas dos ativos

A Engenharia da Elektro para atender aos requisitos da norma estruturou todo processo durante a vida útil de seus ativos. Abaixo na Figura 10 são apresentadas as fases do ciclo de vida dos disjuntores de alta tensão:

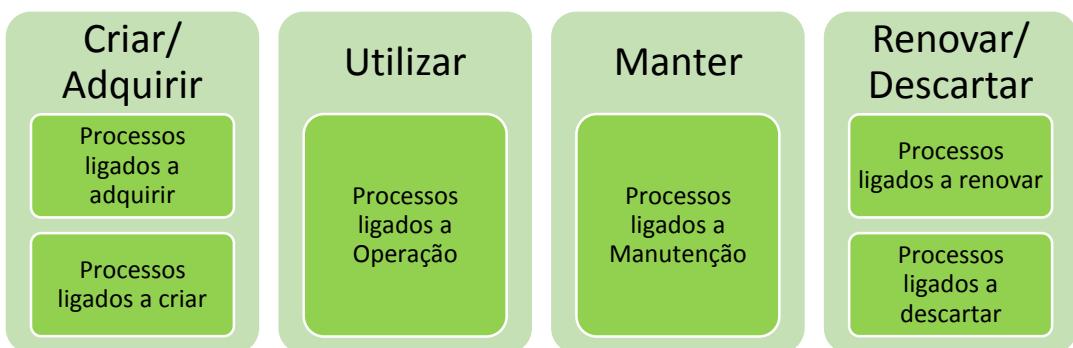


Figura 10 - Ciclo de vida padrão de ativos.

#### 6.1.1 Criar e/ou adquirir

Na fase criar/adquirir estão compreendidas todas as etapas até a aquisição concreta do ativo. É nessa fase que se mapeia a real necessidade de ter um ativo, que se definem as funções do ativo, resultados esperados, características do ativo (especificação técnica) e viabilidade econômica. No presente trabalho as funções, objetivos esperados e especificação técnica são de responsabilidade da engenharia. Já a viabilidade econômica ocorre envolvendo dois departamentos: Suprimentos e Planejamento Estratégico. Planejamento Técnico determina a quantia planejada para compra de novos equipamentos, já Suprimentos negocia com fornecedores e realizam a compra do ativo se enquadrando com os valores planejados.

### **6.1.2 Utilizar**

Na fase utilizar estão compreendidas as etapas de operação do ativo. De modo geral essa é a etapa de maior duração no ciclo de vida do ativo. A partir da montagem e início de operação do ativo se encerra a fase criar/adquirir e se inicia a fase utilizar. No presente trabalho a Ger. de Operações é a responsável por colocar ou tirar o ativo de operação.

### **6.1.3 Manter**

Nessa fase estão compreendidas todas as etapas relacionadas à preservação e manutenção do ativo. É nessa fase que se define e executam as atividades de manutenção, periodicidade, equipamentos e ferramentas necessárias para executar a manutenção. Essa fase foi reestruturada na Elektro. É nela que ocorre a análise do estado do ativo, performance do mesmo, análise de risco, a gestão e acompanhamento das atividades de manutenção como inspeções visuais, termográficas e manutenção preventiva.

### **6.1.4 Renovar/Descartar**

Essa é a última fase de um ativo. Após sua completa operação ou após a ocorrência de um defeito, o ativo é avaliado resultando em duas opções: o descarte do ativo ou sua reforma. Para o presente trabalho os casos em que a reforma do ativo é financeiramente inviável ou mesmo tecnicamente inviável o ativo deve passar por um processo de descarte a fim de cumprir com toda a legislação legal. Mas nos casos em que a reforma ocorre, o ativo passa a ser tratado como novo, voltando à sua fase inicial criar/adquirir.

## **6.2. Objetivos da gestão de ativos**

A Política de Gestão estabelecida pela Elektro segue o mapa estratégico da Figura 11. Baseado nesse mapa estratégico, em especial os pilares de Negócio e Excelência Operacional do mapa estratégico, pois esses direcionam a alta direção da empresa a definir os objetivos de curto, médio e longo prazo de toda a Engenharia. Como resultado obtém-se o plano estratégico da Engenharia, que é ilustrado na Figura 12.



Figura 11 - Mapa estratégico da Elektro.

Disponível em <http://www.elektro.com.br>



Figura 12 - Plano estratégico da gestão de ativos.

Extraindo do plano estratégico os objetivos da Engenharia são:

- ✓ Melhorar continuamente a confiabilidade do sistema elétrico com investimentos prudentes e custos otimizados de operação e manutenção;
- ✓ Maximizar os resultados dos indicadores técnicos;
- ✓ Maximizar o retorno do investidor;
- ✓ Aumentar o nível de segurança dos funcionários;
- ✓ Reter e disseminar o conhecimento na empresa e capacitar as pessoas;
- ✓ Melhorar continuamente a satisfação do cliente com relação ao fornecimento de energia elétrica.

### **6.3. Gestão de Ativos – Disjuntores de alta tensão**

Nesse ponto já se conhece as etapas do ciclo de vida dos disjuntores, e a base de onde são definidos os objetivos da Engenharia. E com isso, alinhado com as diretrizes da ABNT NBR ISO 55.000 foi desenvolvida a estrutura do sistema de gestão do presente trabalho. A estrutura faz o uso da gestão de risco, que analisa a saúde do ativo, ou mesmo a probabilidade do ativo falhar e concomitantemente analisa o impacto que é causado caso o ativo falhe.

#### **6.3.1 Gestão de Risco**

O risco pode ser definido como uma estimativa do grau de incerteza que se tem, e pode ser de um processo, de um investimento, negócios, etc. Para o presente trabalho risco é o produto entre a probabilidade de um evento de falha de um disjuntor e a severidade gerada por um evento de falha. Já a gestão de risco significa identificar, analisar e responder aos riscos relacionados com os disjuntores de forma a garantir um bom desempenho independente dos riscos envolvidos.

O Sistema de Gestão de Risco tem por objetivos:

- Mensurar o risco dos equipamentos;
- Mensurar o risco das subestações devido aos equipamentos instalados;
- Determinar a criticidade das subestações de acordo com o seu impacto nos indicadores técnicos:
  - DEC = duração equivalente de interrupção por unidade consumidora. O DEC indica o número de horas em média que um consumidor fica sem energia elétrica durante um período, geralmente mensal.

- FEC = frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora. O FEC indica quantas vezes, em média, houve interrupção na unidade consumidora.
- DIC = duração de interrupção por unidade consumidora. O DIC indica por quanto tempo (duração) que uma unidade consumidora ficou sem energia elétrica durante um período considerado.
- FIC = frequência de interrupção por unidade consumidora. O FIC indica o número de vezes (frequência) que uma unidade consumidora ficou sem energia elétrica durante um período considerado.
- DMIC = duração máxima de interrupção por unidade consumidora. O DMIC é um indicador que limita o tempo máximo de cada interrupção, impedindo que a distribuidora deixe o consumidor sem energia elétrica durante um período muito longo.

As informações geradas pelo sistema de gestão de risco são utilizadas para direcionar as ações do plano estratégico. Essas informações são responsáveis por:

- Alterar as estratégias de manutenção e monitoramento dos equipamentos;
- Desenvolver o plano de investimentos;
- Auxiliar a priorização de atividades de manutenção e obras.

De forma a facilitar o entendimento do sistema de gestão de risco na Figura 13 é apresentado o modelo de fluxo da ABNT NBR ISO 31000:2009 – *Gestão de Risco*, fluxo adotado pela Engenharia para tratar dos disjuntores.

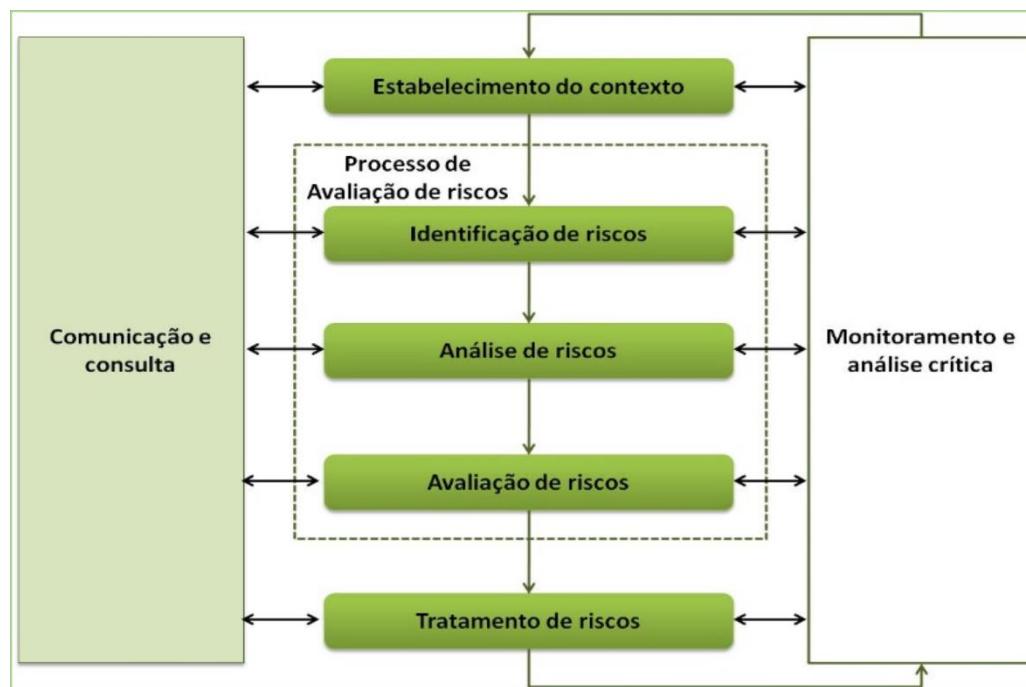


Figura 13 - Fluxograma da Gestão de Risco. Adaptado da ABNT NBR ISO 31000:2009.

A identificação e análise dos riscos é feita pela Gerência de Subestações. Para os disjuntores foi aproveitado o FMEA (*failure mode and effect analysis*), que é um método sistemático e proativo que avalia um processo e identifica onde e como ele pode falhar, além de também avaliar o impacto relativo de diferentes falhas, a fim de identificar as partes do processo que mais oferecem riscos para sua normal operação. Os fabricantes dos equipamentos disponibilizam o FMEA do mesmo. Além do FMEA a Engenharia utiliza da Análise de Causa Raiz – RCA (*Root Cause Analysis*).

A RCA é um estudo realizado por uma equipe multidisciplinar na Elektro, que tem por objetivo identificar a real causa de um evento de falha do equipamento, sendo esse evento já previsto no FMEA ou não, e nesse último caso, quando o evento não era previsto no FMEA a Engenharia complementa o FMEA com a informação. Como entrega toda RCA resulta em plano de ação, com intuito de evitar que a falha venha ocorrer novamente, ou mesmo para que o risco da falha ocorrer seja mitigado.

Tanto o FMEA quanto os planos de ação oriundos da RCA direcionam de que forma a organização e a Engenharia deve tratar os risco identificados. Mas de forma geral, os riscos identificados são tratados na sua maior parte nas manutenções dos disjuntores, e essa sim sendo alterada para mitigar os riscos, como por exemplo, a adoção do teste de inoperância. Em uma RCA foi identificado que a não operação por um período elevado, maior que 5 meses, gera o risco de um mau funcionamento do equipamento, causando uma falha e necessidade de atuação de sua contingência. Após identificado esse risco a Engenharia adotou a prática do teste de inoperância em seus disjuntores, atuando todos seus equipamentos inoperantes num período maior ou igual a 120 dias.

#### **6.4. Desenvolvimento da estrutura de gestão de risco de disjuntores**

O modelo criado e ilustrado na

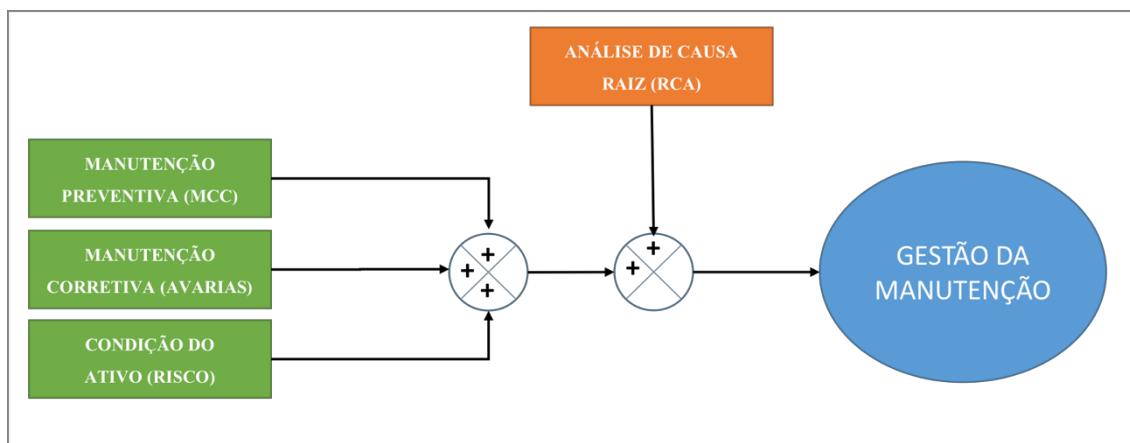


Figura 14 é composto por quatro variáveis de entrada, sendo três partes diretamente ligadas, e uma indiretamente. As entradas diretas do modelo são:

- Manutenção preventiva (MCC)
- Manutenção corretiva (Notas de avarias)
- Condição do ativo (análise de risco)

A variável indireta é a análise de causa raiz, do inglês, *Root Cause Analysis*. Ela pode ou não influenciar a saída do modelo, e por isso é considerada indireta.

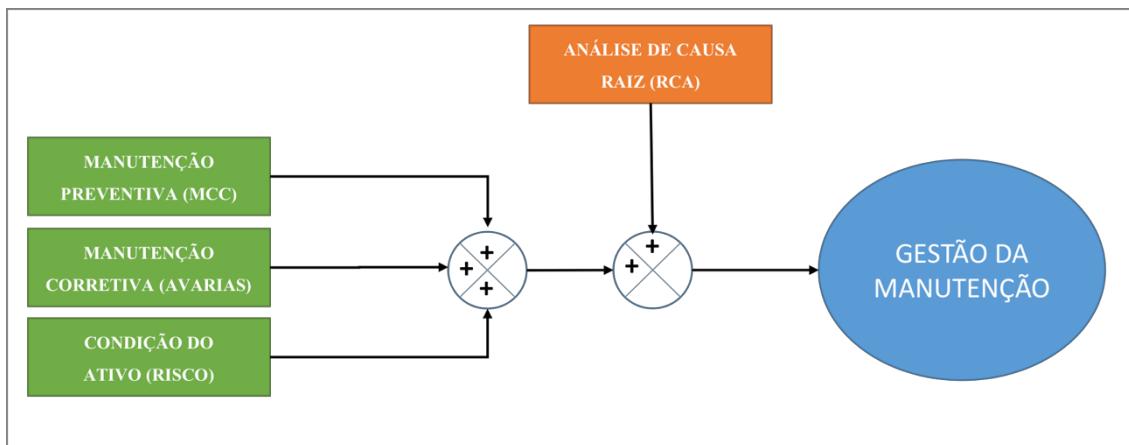


Figura 14 - Fluxograma da gestão da manutenção adotado na Elektro.

#### 6.4.1 Preditiva

É um tipo de manutenção que estabelece uma previsão de diagnóstico de possíveis falhas através da análise de parâmetros do sistema em questão. O acompanhamento desses parâmetros, de forma contínua ou amostral, permite a definição mais acurada da necessidade de manutenção, permitindo assim um aumento na qualidade do processo.

#### 6.4.2 Preventiva

A Elektro adotou a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) como método para determinação dos planos de manutenção de toda a área de subestações. MCC é a aplicação de um método estruturado para estabelecer a melhor estratégia de manutenção para um sistema ou equipamento. A MCC determina qual a melhor periodicidade de manutenção para o ativo, levando em conta os modos de falhas do equipamento, as notas de avarias abertas e sua criticidade, a periodicidade e boas práticas sugeridas pelo fabricante, e parâmetros individuais de cada ativo. E toda inspeção visual faz parte da manutenção preventiva.

#### **6.4.3 Corretiva**

Ao encontrar causas de possíveis desligamentos e interrupções indesejadas são abertas *notas de avarias*. Nota de avaria é como é chamado o registro de uma avaria, onde são descritos os prazos para tratar a avaria, e todas as informações essenciais para tratar e eliminar tal avaria. Portanto as ações da manutenção corretiva são resultado da manutenção preventiva em sua maior parte, e também resultado de monitoramento da operação ativo.

#### **6.4.4 Condição do ativo**

Para avaliar a condição do ativo é realizado uma análise de risco do mesmo, ponderando suas características entre probabilidade de falha versus seu impacto. Essa análise resulta ao final um grau de risco associado a cada equipamento individualmente. A análise é realizada para todos os disjuntores e ativos elétricos de subestações da empresa, inclusive os que não são à SF<sub>6</sub>.

As variáveis utilizadas para análise foram divididas em 2 partes: probabilidade de falha e impacto. Para a parte de probabilidade de falha as variáveis utilizadas foram:

- Idade do ativo;
- Quantidade de defeitos do ativo individualmente.

Já para a parte de impacto, as variáveis usadas foram:

- Meio de extinção do arco;
- Mecanismo de acionamento;
- Clientes supridos pela Subestação do ativo;
- Distância da equipe mais próxima até o local de instalação do ativo.

O resultado dessa etapa é o grau de risco do ativo. Em outras palavras, o grau de risco é um fator  $\beta$  que retrata a atual situação do ativo com base nas ponderações assumida. Esse fator  $\beta$  é responsável por aumentar ou diminuir a periodicidade da manutenção preventiva dos ativos, o que reduz o risco e aumenta a robustez e confiabilidade do sistema.

#### **6.4.5 Estudo de caso**

Para melhor detalhar como é realizada a análise de condição do ativo será comentada uma situação ocorrida a qual culminou na substituição de um disjuntor classificado como risco 5, risco muito alto por um de risco 1, risco muito baixo.

Primeiramente foram mapeadas todas as características necessárias do disjuntor, seu registro de sistema, local de instalação, classe de tensão, quantidade de clientes atendidos, distância do ativo para a equipe de manutenção mais próxima, meio de extinção, mecanismo de acionamento, isolação da câmara de extinção, tipo de instalação, quantidade de notas de avarias do ativo e ano de fabricação. Seguem os dados do disjuntor estudado:

- a. Local de instalação: subestação Cananéia 01;
- b. Tipo de instalação: externo;
- c. Classe de tensão: 145 Kv;
- d. Ano de fabricação: 1979;
- e. Quantidade de defeitos registradas: 03;
- f. Meio de extinção: óleo isolante;
- g. Mecanismo de acionamento de abertura: hidráulico;
- h. Mecanismo de acionamento de fechamento: hidráulico;
- i. Quantidade de clientes atendidos: 6.023.
- j. Distância do ativo até a equipe de manutenção: 60 km.

De posse das informações básicas do ativo são avaliadas as variáveis de probabilidade de falha, ou de saúde do ativo. Para essa etapa foram consideradas as variáveis: ano de fabricação e quantidade de avarias registradas. Cada variável é avaliada individualmente, resultando em uma nota de 0 a 100. Para o ano de fabricação considerou-se faixas de idade, sendo a nota determinada 0 para a menor faixa de idade, e 100 acima de determinada idade. O mesmo conceito para a quantidade de notas de avarias do ativo, sendo 0 para a menor faixa de registros, e 100 acima de uma determinada quantidade.

A soma das duas notas define o Health Index, em outras palavras, a nota da probabilidade do ativo falhar. O Health Index varia de 1 a 5, sendo 1 o estado de menor possibilidade de falha, ou seja, “melhor estado de saúde”. Para definir os limites entre 1 e 5 são considerados os possíveis valores do Health Index e divide-se em 5 faixas, sendo a de menor valor 1, e a de maior valor 5. A Tabela 3 ilustra o resultado dessa primeira etapa.

*Tabela 3 – Avaliação da probabilidade de falha do disjuntor DJ000OLD.*

Asset	Local (SE)	Region	Voltage Level	Age	Defect notes	Health Index	Translate Health Index
DJ000OLD	CAN01	SUL	AT	100	50	150	HI-5

Para a sequência são consideradas as variáveis de criticidade, que avaliam o impacto causado caso ocorra uma falha no disjuntor. São avaliadas as variáveis de meio de extinção, mecanismo de operação, quantidade de clientes e distância do ativo para a equipe de manutenção. Todas as variáveis recebem notas de 1 a 100, conforme a primeira parte de probabilidade. A soma dessas variáveis resulta no Critical Index. O Critical Index segue o mesmo modelo do Health Index, sendo classificado de 1 a 4, e sendo 1 o índice de menor criticidade e o índice 4 o de maior, e o resultado é ilustrado na Tabela 4.

*Tabela 4 - Avaliação da criticidade de uma falha do disjuntor em estudo.*

Asset	Local (SE)	Region	Voltage Level	Arc extinguishing	Operating mechanism type	Asset number of costumers	Asset distance from staff	Critical Index	Translate Critical Index
DJ000OLD	CAN01	SUL	AT	100	100	10	80	290	CI-3

Ao final dessa etapa tem-se os índices de probabilidade e de criticidade do ativo, e a combinação dessas duas variáveis resulta o RISK NUMBER e RISK INDEX, sendo o primeiro sua forma algébrica, e o último uma classificação de risco que varia de 1 a 5, da mesma forma que o Health Index já descrito. A Tabela 5 ilustra esses valores.

*Tabela 5 - Resultado final da condição do DJ000OLD com seu risco atrelado.*

Asset	Health Index	Translate Health Index	Criticality Index	Translate Criticality Index	RISK NUMBER	RISK INDEX
DJ000OLD	150	HI-5	290	CI-3	440	R5

Esse disjuntor, chamado de DJ000OLD foi classificado como risco 5. O disjuntor que o substituiu é o DJ000NEW, um equipamento de 2015, com acionamento de abertura e fechamento por mola e seu meio de extinção é o gás SF<sub>6</sub>, sendo o restante das características iguais entre os disjuntores. O mesmo estudo realizado para o DJ000NEW em 2016 resulta nas Tabela 6, Tabela 7 e Tabela 8.

*Tabela 6 – Resultado da avaliação da probabilidade de falha do disjuntor DJ000NEW.*

Asset	Local (SE)	Region	Voltage Level	Age	Defect notes	Health Index	Translate Health Index
DJ000NEW	CAN01	SUL	AT	0	0	0	HI-1

*Tabela 7 – Resultado da avaliação da criticidade de uma falha do disjuntor DJ000NEW.*

Asset	Local (SE)	Region	Voltage Level	Arc extinguishing	Operating mechanism type	Asset number of costumers	Asset distance from staff	Criticality Index	Translate Criticality Index
DJ000NEW	CAN01	SUL	AT	0	0	10	80	90	CI-1

Tabela 8 - Resultado final da condição do DJ000NEW com seu risco atrelado.

Asset	Health Index	Translate Health Index	Criticality Index	Translate Criticality Index	RISK NUMBER	RISK INDEX
DJ000NEW	0	HI-1	90	CI-1	90	R1

Essa avaliação detalhada e realizada para todos os disjuntores da empresa, e ao final são agrupados todos de características semelhantes, sendo as características analisadas: probabilidade de falha, criticidade e risco. Como resultado final desse estudo é elaborada uma matriz de risco, idêntica a matriz ilustrada na Tabela 9. As linhas dizem respeito à criticidade (Impacto) e as colunas dizem respeito a probabilidade do equipamento falhar, e internamente é alocado o risco. Portanto um probabilidade de falha improvável versus um impacto baixo resulta em um risco muito baixo. Já uma probabilidade frequente versus um impacto moderado resulta em um risco alto.

Para facilitar a interpretação foram definidas cores relacionadas aos riscos, e a Tabela 10 ilustra essa relação. Para ativos de risco muito baixo a cor é verde, risco baixo a cor é azul, para os de risco moderado a cor é amarela, os de risco alto a cor é laranja e por fim os de risco muito alto a cor é vermelha.

Tabela 9 - Modelo de Matriz de risco adotado para disjuntores de alta tensão adotada na Elektro.

Impacto x Probab.	Improvável	Remota	Ocasional	Provável	Frequente
Baixo	Muito Baixo	Baixo	Moderado	Moderado	Moderado
Moderado	Muito Baixo	Baixo	Moderado	Alto	Alto
Alto	Muito Baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito Alto
Crítico	Muito Baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito Alto

Tabela 10 - Legenda de risco adotado na Elektro.

Risco	Descrição
R1	Muito Baixo
R2	Baixo
R3	Moderado
R4	Alto
R5	Muito Alto

A Tabela 11 ilustra a matriz resultado obtida para a análise total dos disjuntores de alta tensão da Elektro. Observando a Tabela 11 nota-se que nenhum disjuntor encontra-se classificado em risco muito alto, entretanto 8% dos disjuntores à SF<sub>6</sub> da empresa encontram-se classificados em risco alto – R4. Dividindo essa matriz pelas regiões de atuação da empresa obtém-se como resultado a Tabela 12, onde novamente nota-se que nenhum dos ativos estão classificados em R5, e também observando que do total de disjuntores presentes na região sul, 14% deles estão classificados como risco alto – R5.

Tabela 11 - Matriz de Risco obtida com os disjuntores de 145 kV à SF<sub>6</sub> na Elektro.

Impacto versus Probabilidade					
I / P	P1	P2	P3	P4	P5
I1	40%	14%	16%	11%	1%
I2	4%	1%	4%	4%	3%
I3				1%	
I4					

Tabela 12 - Matriz de Risco obtida com os disjuntores de 145 kV à SF<sub>6</sub> dividido pelas regiões da Elektro.

REGIÃO	R1	R2	R3	R4	R5
CENTRO	60%	9%	23%	9%	0%
LESTE	41%	19%	30%	11%	0%
OESTE	45%	15%	38%	2%	0%
SUL	14%	29%	43%	14%	0%
TOTAL	44%	16%	32%	8%	0%

A partir das informações geradas e apresentadas pelas matrizes, a Engenharia direciona e prioriza ações do seu plano estratégico, como por exemplo, a Engenharia define qual região onde deve priorizar os investimentos com novos ativos, e qual motivo, para diminuir o risco da região, ou mesmo para elevar a performance. As informações da análise de risco também são responsáveis por alterar a periodicidade de manutenção dos ativos, e assim garantindo o uso eficiente da mão de obra e recursos disponíveis.

## 7. Conclusões

O Setor de Energia do Brasil vem passando por um grande desafio econômico, sendo necessário dia após dia ser mais eficiente em suas operações, sustentável e acurado em seus investimentos. Por isso a Gestão de Ativos é um importante modelo que eleva e potencializa os ganhos das organizações, que obtidos através da boa gestão de seus ativos, aumentam assim a acuracidade dos seus investimentos, a eficiência de sua operação e torna a empresa cada vez mais sustentável.

Em particular a estrutura implantada na Elektro, apresenta diversos ganhos ligados aos indicadores técnicos e econômicos, que mostram a viabilidade de um sistema de tamanha complexidade. Além dos ganhos nos indicadores técnicos como redução significante de DEC e FEC, pode-se dizer que existe um maior alinhamento da estratégia de manutenção, investimento e operação com estratégias de negócio. Atualmente a empresa possui um maior e melhor conhecimento da situação de seus ativos. Foi possível eliminar incertezas com ações baseadas na causa raiz dos problemas, uso do FMEA e atualmente tem-se uma maior previsibilidade quanto a possíveis falhas.

A manutenção deixa de funcionar como antigamente, quando só considerava-se a periodicidade ou o número de operações do equipamento. Manutenção deixa de ser vista como despesa fixa e passa a integrar ativamente um lugar na estratégia de negócio da organização, o que simboliza um dos grandes presentes da ABNT NBR ISO 55.000 para com a manutenção dos ativos.

Em relação aos disjuntores, os que usam o gás SF<sub>6</sub> como meio de extinção representam uma das tecnologias mais robustas e confiáveis do mundo até hoje em dia. Alguns fabricantes estão investindo no gás CO<sub>2</sub> como solução eco sustentável. Esse gás em condições favoráveis de pressão e temperatura garante a mesma robustez que o SF<sub>6</sub>, tempo de extinção ligeiramente menor que o SF<sub>6</sub>, ou seja, a tecnologia atende os requisitos e objetivos de um disjuntor, e não oferece o mesmo problema quanto a vazamento de gás e contribuição com o efeito estufa. Portanto, apesar de características dielétricas mais atrativas, os disjuntores a SF<sub>6</sub> tendem a ser substituídos no futuro por disjuntores com tecnologia menos nociva ao meio ambiente, como por exemplo o próprio disjuntor à CO<sub>2</sub>.

## 8. Referências Bibliográficas

1. IEC 60050:2011 - International Electrotechnical Vocabulary.
2. IEC 62271-100:2006 - High-voltage switchgear and control gear Part 100: High-Voltage Alternating-current Circuit Breakers.
3. ABNT NBR ISO55.000 – Gestão de Ativos – Visão geral, princípios e terminologia.
4. ABNT NBR ISO55.001 – Gestão de Ativos – Sistemas de gestão - Requisitos.
5. ABNT NBR ISO55.002 – Gestão de Ativos – Sistemas de gestão – Diretrizes para aplicação da ABNT NBR ISO 55001.
6. DIAS, Acires, et al. Florianópolis: Metodologia para análise de risco: Mitigação de perda de SF<sub>6</sub> em disjuntores, 2011.
7. SANTOS, Jacques V. APLICANDO A ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE E OS CONCEITOS DA GESTÃO DE ATIVOS PARA OTIMIZAÇÃO DOS RESULTADOS NA ÁREA DE SUBESTAÇÕES, Simpósio Internacional de Confiabilidade, 2015.
8. SANTOS, Jacques V.; FERREIRA, Isabella Alves. GESTÃO DE ATIVOS SUPORTADA PELA RELIABILITY TPM, 28º Congresso e 5º Congresso Mundial de Manutenção e Gestão de Ativos, 2013.
9. ARCOS, Gerson Ap., Gestão de Ativos - PAS 55. Abraman, 2013.
10. SPANÓ, Claudio. Gestão de Ativos Suportada pela Engenharia de Confiabilidade, 1.0.6 ed. São Paulo: ReliaSoft, 2012.
11. KARDEC, Alan, et al. Gestão de Ativos. 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2014.
12. KARDEC, A., & XAVIER, J. *Manutenção Função Estratégica*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.
13. DAMODARAN, Aswath. Gestão estratégica do risco: uma referência para a tomada de riscos empresariais, 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.
14. SEIXAS, Eduardo S. Manutenção Centrada em Confiabilidade Estabelecendo a Política de Manutenção com Base nos Mecanismos de Falha dos Equipamentos: ReliaSoft.
15. ARY, T. O., & Fernandes, Gestão de Ativos, Análise de Risco em função de baixa confiabilidade de componente aeronáutico e análise econômica baseada no seu intervalo de remoção preventiva, 2013.

16. DODSON, B., & Nolan, D. *Reliability Engineering Handbook*. New York, 1999.
17. SWARDT, Mike. Circuit Breaker technology made easy High Voltage and Medium Voltage Distribution; ABB Cape Technology, Maio de 2014.