



**XXI SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO 11

GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS (GIA)

**PLANO MITIGADOR DE IMPACTOS CAUSADOS POR VAZAMENTOS DE ÓLEO ISOLANTE EM
SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS**

Pedro Mendes Castro(*)
CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A.

Valter Leite
GEOINTEGRA ENGENHARIA AMBIENTAL

Nilton Soares da Silva
CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A

RESUMO

Trabalho de avaliação de riscos ambientais realizado em observância às condições de documento de especificação técnica da CEMIG D, com objetivos de:

- Formular índices de riscos ambientais associados a eventuais vazamentos de óleo mineral isolante em SE;
- Diagnosticar cada uma das SE, determinando os valores dos índices de riscos ambientais formulados;
- Classificar as SE segundo os índices de riscos ambientais, determinando prioridades de intervenção;
- Elaborar propostas de intervenções necessárias para o controle e a redução dos riscos ambientais, quantificando os custos associados às intervenções propostas;

O produto final do trabalho compreende:

- Relatório descritivo contendo texto e tabelas de dados levantados e interpretados;
- Banco de imagens aéreas das SE e entornos, com diagramas de escoamento superficial;
- Planilha interativa com apresentação e tratamento de dados;
- Proposta de priorização de ações e estimativas de custos e de cronograma de implantação;

PALAVRAS-CHAVE

Impacto Ambiental, Óleo mineral isolante, Separador água-óleo, Mitigação de impactos ambientais, Avaliação de riscos ambientais

1.0 - INTRODUÇÃO

O estudo foi realizado em observância às condições do documento "Plano Mitigador de Impactos Causados por Vazamentos de Óleo Isolante em Subestações Elétricas" (CEMIG D, maio/2009), que estabeleceu as diretrizes para avaliação das condições das Subestações Elétricas (SE) e proposição de medidas mitigadoras, de forma a reduzir ou evitar impactos ambientais advindos de vazamento de óleo isolantes. O documento apresentou os elementos básicos para o desenvolvimento do Plano Mitigador, bem como as condições previstas para desenvolvimento do mesmo.

Os trabalhos foram desenvolvidos entre 15 de junho e 10 de dezembro de 2009 e consistiram, basicamente, das seguintes etapas:

- Planejamento das ações através de reuniões entre as equipes técnicas da CEMIG D e da GEOINTEGRA;
- Elaboração de modelo de qualificação e quantificação de índices de riscos ambientais associados a eventuais vazamentos de óleo isolante;

(*) Avenida Barbacena 1200/14º andar; CEP 30.190-131; Belo Horizonte – MG; Brasil
Tel: (+55 31) 35063268 – Fax: (+55 31) 3506-XXXX – Email: pedro@cemig.com.br

- Realização de serviços de campo abrangendo visitas técnicas em todas as 364 Subestações (SE) operadas pela CEMIG D;
- Coleta de informações em gabinete a partir dos diversos bancos de dados da CEMIG D e base de dados de uso público;
- Avaliação integrada das informações e elaboração de propostas de intervenções com o objetivo de mitigar impactos ambientais associados a eventuais vazamentos de óleo isolante; e
- Elaboração de escala de priorização de ações de intervenção em função dos índices de risco ambientais calculados.

O produto final do trabalho compreende, além de relatório descritivo, uma tabela em formato digital com todas as informações levantadas em campo e em gabinete, além de um banco de imagens aéreas das SE, em formatos físico e digital.

A partir das informações de campo relativas as instalações e condições de entorno, foi elaborada uma hierarquia de subestações no que concerne ao grau de risco que oferecem de lançamento de óleo isolante, a prioridade de intervenções para redução ou eliminação desses riscos, bem como uma estimativa de custos dessas intervenções.

2.0 - DESENVOLVIMENTO

A fim de aprofundar o conhecimento sobre o potencial de risco ambiental apresentado por suas subestações, a Cemig Distribuição (Cemig D) e a GEOINTEGRA Engenharia Ambiental realizaram levantamento e ordenação das instalações, tomando por base metodologia para avaliação integrada e determinação de índices de riscos ambientais associados a eventuais vazamentos de óleo mineral isolante, com base nas características construtivas e operacionais das SE, e nas variáveis ambientais do entorno das subestações.

2.1 Levantamento de informações

Foram coletados dados relativos as 364 SE da CEMIG D, distribuídas nas sete Malhas Regionais de Operação, distribuídas na área de concessão da empresa no estado de Minas Gerais. Para padronizar o levantamento de informações foi desenvolvido modelo tabular de coleta de dados, cuja síntese se encontra na Tabela 1, onde estão relacionadas, de forma sintética, as informações inerentes as subestações, o propósito do levantamento da informação e a forma de apresentação dos dados. Ver Figura 1.

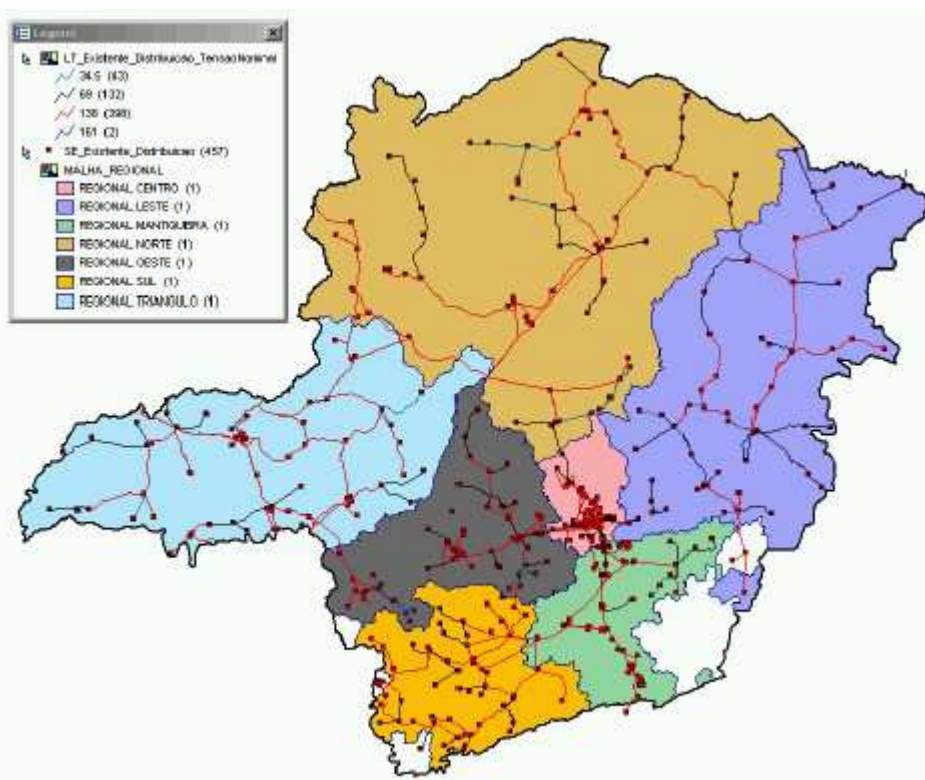


FIGURA 1 – Malhas Regionais de Operação e suas subestações

Tabela 1 – Dados de caracterização das instalações

Classe de Dados	Objetivo	Forma de apresentação
1) Lista de subestações	Apresentação do objeto do trabalho	Código Cemig, nome, malha regional, cidade e tipo de instalação (elevadora, chaveamento, etc).

2) Referenciamento	Informações básicas das SE	Código da SE, nome, data da visita, endereço, área, telefone, tensão operacional, fechamento do terreno, coordenadas, altitude, abastecimento de água, destinação de esgoto, corpo de drenagem mais próximo e condição operativa.
3) Cadastro e caracterização de grandes equipamentos isolados a óleo mineral	Identificação de equipamentos e potencial para causar impactos por lançamento de óleo	Tipo de equipamento ; SIOM (Sistema de Informação sobre Operação e Manutenção) ; Processo; Fabricante; Número de Série; Volume (l) ou Massa (kg) de óleo; Proteção; Respiro; Posição; Campo; Cobertura; Base; Contenção; Defesa ambiental; Drenagem; Cerca; Bobina de amortecimento; Indício de Vazamento; Indício de Impacto; Observações
4) Cadastro e Caracterização de Bancos de Capacitores (BCAP)	Identificação específica de SE equipamentos e potencial para causar impactos por lançamento de óleo	Processo; Fabricante; Potência (kVar); Volume (L) ou Massa (kg) de óleo; Proteção; Posição; Cobertura; Base; Contenção; Defesa ambiental; Drenagem; Cerca; Indício Vazamento; Indício de Impacto; Observações
5) Cadastro e Caracterização de Equipamentos de Defesa Ambiental (EDA)	Levantamento dos dispositivos de prevenção e contenção de acidentes com óleo mineral e seu estado de conservação e funcionamento	Identificação; Tipo; Dedicção; Posição; Cobertura; Base; Contenção; Defesa ambiental; Drenagem; Cerca; Resíduos; Funcionalidade; Indício de vazamento; Indício de impacto; Observações
6) Cadastro e Caracterização de Bancos de Baterias (BBAT)	Caracterização das salas de baterias e potenciais para causarem impactos ambientais	Identificação; Marca; Modelo; Quantidade; Posição; Cobertura; Ventilação; Base; Contenção; Defesa ambiental; Drenagem; Cerca; Indício Vazamento; Indício Impacto; Observações
7) Demais substâncias perigosas ou resíduos estocados (SPR)	Levantamento de outras substâncias que possam causar algum impacto ou contaminação ambiental	Substância; Quantidade; Embalagem; Posição; Cobertura; Base; Contenção; Defesa ambiental; Drenagem; Cerca; Indício Vazamento; Indício Impacto; Observações
8) Registros Fotográficos	Evidência das informações levantadas	Tipo; Documentação fotográfica; Descrição
9) Histórico de acidente com lançamento de óleo no ambiente	Detectar possíveis condições adversas de operação ou de influências externas a instalação	Foram entrevistados os responsáveis pela SE e descritos os registros de ocorrências (vazamentos, acidentes com animais e pessoas, defeitos operacionais ambientalmente relevantes, entre outros) disponíveis no local da SE. Foram descritos os impactos ambientais associados as ocorrências e registradas as atividades decorrentes dessas ocorrências

As características de entorno das instalações também foram levantadas, com o objetivo de se avaliar a sensibilidade do entorno, as consequências e intensidade de possíveis lançamentos de óleo isolante no meio. Na Tabela 2 encontram-se sintetizadas as informações colhidas em campo, e sua forma de apresentação.

Tabela 2 – Dados de caracterização do entorno das instalações

Classe de Dados	Objetivo	Forma de levantamento e apresentação
1) Inserção Geomorfológica da SE e caracterização da vizinhança e do entorno até 200 m	Caracterização de relevo, solo, drenagem e ocupação humana	Levantamento visual do entorno, análise de mapas e imagens aéreas, caracterizando o terreno da SE e seu entorno conforme posicionamento em relação ao sentido estimado de deslocamento da água superficial e subterrânea: a montante, imediatamente vizinho e a jusante. Foram anotadas as Unidades de Conservação Ambiental (UCA) mais próximas, com registro de: nome, distância da SE (em relação ao ponto de georreferenciamento) e rumo. O levantamento dessa informação foi complementado com pesquisa em gabinete.

Após a coleta de dados em campo, trabalhos complementares de escritório foram realizados com objetivos de:

- Digitalizar as informações levantadas através das visitas de campo;
- Obter imagens aéreas das áreas de inserção das SE;

- Classificar, através da pesquisa em Deliberações Normativas do COPAM-MG (Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais), corpos d'água superficiais cujas existências foram levantadas nas visitas de campo;
- Calcular, através de informações extraídas do sistema de dados georreferenciados da CEMIG, as distâncias para as UCA mais próximas das SE;
- Cadastrar registros de ocorrências de acidentes operacionais nas SE;
- Levantar dados referentes aos índices cerâmicos e pluviométricos do Estado de Minas Gerais.

Foi elaborado também um banco de imagens aéreas das subestações e suas circunvizinhanças, diretamente a partir da base de consulta do IBGE na Internet (<http://biblioteca.ibge.gov.br>) e obtenção de imagens através de licença profissional do software Google Maps ou aquisição de fotos aéreas específicas das regiões de inserção das SE. Para as imagens aéreas, a cobertura foi superior a 99%. Os mapas do IBGE forneceram cobertura da ordem de 93%.

Para a identificação das UCA existentes no entorno das SE, foi considerada a menor distância linear relativa aproximada entre a SE e as zonas de amortecimento das UCA. O contorno das UCA e suas respectivas zonas de amortecimento foram fornecidos pela CEMIG através de arquivo em formato desenho digital.

A informação fornecida pela CEMIG foi convertida em um mapa digital plano (2D) em formato AutoCAD com escala horizontal aproximada 1:1, no qual foram lançados pontos referentes às coordenadas geográficas levantadas em campo.

As distâncias relativas aproximadas foram calculadas através do software AutoCAD, no qual foram traçadas as menores linhas retas possíveis entre as SE e as UCA. Os valores de distância obtidos foram lançados na Planilha de Dados '1'. Nos casos em que as subestações estavam dentro das zonas de amortecimento, a distância considerada foi zero.

O cadastramento de registro de acidentes foi realizado tendo como fonte os relatórios de acidentes fornecidos pela CEMIG e os resultados do levantamento de campo. Os registros foram lançados em planilha específica e agrupados em duas categorias: "Acidentes com animais" e "demais acidentes".

Foram pesquisados dados referentes aos índices cerâmicos e pluviométricos das regiões de inserção das SE, porém as informações levantadas não foram utilizadas neste trabalho como base de dados para as ferramentas de priorização de ações com base no risco, com base nos seguintes fatores:

- Todas as SEs da CEMIG D são apropriadamente equipadas com dispositivos de proteção contra descargas atmosféricas, o que permite considerar que os equipamentos imersos em óleo isolante estão protegidos contra acidentes ocasionados pela incidência de raios nas SE;
- Todas as SE possuem sistemas de monitoramento de equipamentos e são abrangidas por procedimentos operacionais de atendimento a emergências apropriadamente conduzidos, de maneira que as equipes da CEMIG prestam pronto atendimento em caso de acidentes ocorridos por quaisquer fatores e que ocasionem perdas de óleo.

2.2 Modelo de Riscos

O modelo de avaliação de risco elaborado para a realização deste trabalho prevê que uma situação de risco é qualitativamente configurada quando da ocorrência concomitante de três fatores, a saber:

- Uma SE vulnerável, do ponto de vista construtivo ou operacional, às características meteorológicas, de ocupação de seu meio de inserção e/ou à dinâmica de variação da carga à que a SE está submetida;
- Um acidente operacional em SE vulnerável onde ocorre a ruptura ou defeito em equipamento isolado a óleo mineral, seguido de um vazamento de volume considerável de óleo e do aporte desse volume de óleo ao ambiente.
- O aporte do volume óleo decorrente desse vazamento aos diferentes compartimentos ambientais de um entorno criticamente sensível, causando impactos à qualidade ambiental e/ou à população do entorno e, conseqüentemente, à imagem da CEMIG D.

Para quantificar cada um desses fatores e ordenar as SEs em função de sua relevância em relação a eles, foram criados índices matemáticos da Tabela 3, cujas descrições são apresentadas a seguir.

Tabela 3 – Índices de quantificação de riscos

Fator de Risco	Índice Criado	Tipo de Formulação
Vulnerabilidade da SE	IVS Índice de Vulnerabilidade da SE	Somatória
Perigo Operacional Potencial	IPP Índice de Perigo Potencial	Fatorial e Logarítmica
Sensibilidade do Entorno	ISE Índice de Sensibilidade do Entorno	Somatória

Vulnerabilidade da SE (IVS)

Os fatores e subfatores interferentes na vulnerabilidade da SE são inerentes ao entorno e à região de inserção da SE. Tais fatores foram elencados pela Equipe do Projeto e cada um deles foi avaliado quanto à sua relevância e variabilidade para a formulação do IVS. Foram adotados para composição do IVS os fatores e subfatores considerados de média e alta relevância.

A formulação do IVS resultou de:

$IVS = A_{IVS} + B_{IVS}$, onde

IVS = Valor do Índice de Vulnerabilidade da SE em análise [-]

AIVS = Subfator de invasão da SE por animais (histórico de acidentes) [-]

BIVS = Subfator de invasão da SE por animais (caracterização do entorno) [-]

Os valores resultantes do cálculo de IVS servem para priorizar ações em função da vulnerabilidade da SE, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Interpretação dos valores de IVS

Valor de IVS	Representatividade
$\geq 10^4$	Mais de 10 registros de acidentes
$\geq 10^3$	Mais de 1 registro de acidentes por ano
$\geq 10^2$	Mais de 1 registro histórico de acidentes
$\geq 10^1$	1 registro histórico de acidente
$< 10^1$	Fatores ambientais, sem registro histórico

Perigo Operacional Potencial (IPP)

A formulação do IPP reflete a severidade de um potencial acidente operacional em equipamentos com grande volume de óleo e fornece subsídio para a classificação desses equipamentos em relação aos seus potenciais de agressão as comunidades circunvizinhas e aos compartimentos ambientais no seu entorno em caso de acidente com perda de óleo. Seu valor está associado as características construtivas do equipamento e, quanto maior o seu valor, maior é o potencial de impacto ambiental associado a um vazamento de óleo isolante. Em relação aos demais índices, o IPP possui as peculiaridades de:

- 1) ser específico para equipamentos e não para SE;
- 2) ser o índice sobre o qual é possível intervir através de alterações construtivas na instalação. Assim, elencados os fatores componentes do IPP, é possível admitir configurações construtivas ideais para cada um desses fatores e atribuir ao IPP um valor arbitrário que reflita tais situações, tomando o valor arbitrado como aceitável e utilizando-o como referência para priorização de ações visando a mitigar impactos ambientais associados a vazamentos de óleo isolante.

Para o cálculo do IPP consideram-se os equipamentos imersos em mais de 1000 L de óleo, principalmente os transformadores e alguns disjuntores, além de outros equipamentos de menor ocorrência. O cálculo do IPP é realizado com base nos seguintes fatores:

- Quantidade de óleo armazenada em equipamentos de grande porte;
- Dispositivos de proteção dos equipamentos de grande porte (proteções de terminais de buchas, caixas anti-subida de animais, proteções termo-retráteis em barramentos, etc.);
- Existência de dispositivos de contenção de vazamentos em equipamentos de grande porte (principalmente bacias de concreto);
- Existência e caracterização de dispositivos de defesa ambiental (separadores água-óleo, poços coletores, tanques coletores, etc.).

A expressão para cálculo do IPP possui a seguinte estrutura:

$IPP = V_{On} \times FM_{V_{On}} \times VCR \times DEF_D \times DEF_{SAO} \times PREV$, onde:

IPP = Valor do Índice de Perigo Potencial do equipamento em análise;

V_{On} = Volume normalizado de óleo do equipamento;

$FM_{V_{On}}$ = Fator de Multiplicação do V_{On} ;

VCR = Fator de atenuação do volume crítico de óleo do equipamento;

DEF_D = Fator de atenuação quando da presença de contenção e defesa ambiental;

DEF_{SAO} = Fator de atenuação quando de SAO (Separadora Água – Óleo)

PREV = Fator de atenuação quando da presença de prevenções.

Sensibilidade do Entorno (ISE)

O ISE foi calculado através da contabilização somatória e multiplicatória de fatores associados às características geomorfológicas, hidrogeológicas e hidrológicas das regiões de inserção das SEs, bem como às características de ocupação do entorno.

A formulação do ISE resultou de:

$ISE = A_{ISE} + B_{ISE} + C_{ISE} + D_{ISE} + E_{ISE}$, onde

ISE = Valor do Índice de Sensibilidade do Entorno da SE em análise;

A_{ISE} = Subfator de sensibilidade associado ao solo;

B_{ISE} = Subfator de sensibilidade associado à água subterrânea;

C_{ISE} = Subfator de sensibilidade associado ao meio antrópico;

D_{ISE} = Subfator de sensibilidade associado à existência de UCA;

E_{ISE} = Subfator de sensibilidade associado aos corpos d'água superficiais.

2.3 Proposta de Intervenções

A realização do diagnóstico das instalações das SE e o tratamento dos dados para a

avaliação dos riscos permitiu a elaboração do Anteprojeto de Intervenções no sentido de mitigar os impactos ambientais decorrentes de vazamentos de óleo nos equipamentos das CEMIG D. As ações foram planejadas com direcionamentos:

- Proteção ambiental de meios de maior sensibilidade: águas superficiais, Unidades de Conservação Ambiental e comunidades vizinhas das SE.
- Melhoria do desempenho ambiental das operações e pro atividade em relação à conformidade perante a regulamentação ambiental.
- Aprimoramento operacional e à redução dos riscos operacionais associados à vulnerabilidade das SE.

2.4 Medidas de Intervenção

As medidas de intervenção propostas neste trabalho consistem de:

- Construção de SAO e Bacias de Contenção, ou interligação de SAO a bacias existentes, conforme projeto adotado pela CEMIG D, nos equipamentos que ainda não dispõem dessas estruturas;
- Substituição de Poços Coletores e Tanques Coletores por SAO, de maneira a disponibilizar as estruturas consideradas ideais para retenção de volumes de óleo acidentalmente perdidos dos equipamentos;
- Instalação de dispositivos de prevenção de acidentes com animais nos equipamentos que ainda não dispõem desses dispositivos; e
- Adaptar tubos de explosão posicionados na horizontal para diminuir a probabilidade de projeção de óleo para fora de bacias de contenção em caso de perdas acidentais de óleo em grandes transformadores.

2.5 Priorização de Ações

As propostas de priorização de ações foram elaboradas a partir do Agrupamento de equipamentos e SE. Desta forma, priorizou-se:

1. A instalação de Bacias e SAO e demais ações em equipamentos com grande volume de óleo (≥ 10000 L) em SE inseridas em meios sensíveis, por ordem de sensibilidade do meio onde a SE está inserida (Grupo 1A). O projeto das estruturas propostas deve seguir o projeto atualmente adotado pela CEMIG D;
2. A instalação de Bacias e SAO e demais ações em equipamentos com volume considerável de óleo (entre 1000 e 9999 L) em SE inseridas em meios sensíveis, por ordem de sensibilidade do meio onde a SE está inserida (Grupo 1B). O projeto das estruturas propostas deve seguir o projeto atualmente adotado pela CEMIG D;
3. Substituição de TC e PC por SAO e demais ações em equipamentos com grande volume de óleo (≥ 10000 L) em SE inseridas em meios sensíveis, por ordem de sensibilidade do meio onde a SE está inserida (Grupo 2A). O projeto das estruturas propostas deve seguir o projeto atualmente adotado pela CEMIG D;
4. Substituição de TC e PC por SAO e demais ações em equipamentos com volume considerável de óleo (entre 1000 e 9999 L) em SE inseridas em meios sensíveis, por ordem de sensibilidade do meio onde a SE está inserida (Grupo 2B). O projeto das estruturas propostas deve seguir o projeto atualmente adotado pela CEMIG D;
5. Instalação de Prevenções de Acidentes com Animais e demais ações, por ordem de vulnerabilidade da SE onde o equipamento está instalado (Grupo 3A); e
6. Adequações de Tubos de Explosão, onde necessário, por ordem de vulnerabilidade da SE onde o equipamento está instalado (Grupo 3B).

3.0 - CONCLUSÃO

A realização dessa avaliação de riscos permitiu à Empresa planejar com critérios mais detalhados e confiáveis o programa de adequação ambiental de subestações, bem como decidir com as Superintendências Regionais de Meio Ambiente, responsáveis pelo licenciamento ambiental em Minas Gerais, prazos e metas de adequação das subestações, e fim de atender as condicionantes do Licenciamento Ambiental Corretivo pelo qual as Malhas Regionais de Operação estão passando. Isso possibilita melhor planejamento e otimização de recursos orçamentários, aliando o planejamento de expansão de instalações ao programa de adequação ambiental e ao licenciamento ambiental corretivo em curso.

Permitiu também um melhor conhecimento das subestações e a atualização cadastral de seus componentes e equipamentos, o que contribui para o planejamento da manutenção e programação de reposições de equipamentos com vida útil avançada. Os índices de risco levantados, avaliados em função dos equipamentos com grande volume de óleo, permitem também o cruzamento de informações sobre esses grandes equipamentos e estabelecimento de prioridades de substituição.

Finalmente, o equacionamento dessas variáveis ambientais e sua inserção no planejamento operacional e de manutenção contribuem decisivamente para uma correta gestão ambiental da Empresa, reforçando seu compromisso com a sustentabilidade empresarial.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resoluções do CONAMA. Brasília, 2006. 808p.
- (2) CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A. Edital de Licitação - Pregão Eletrônico MS/CS 530-H906 – Anexo V – Escopo de Serviços – Plano Mitigador de Impactos Causados por Vazamentos de Óleo Isolante em Subestações Elétricas. Belo Horizonte, 2009.
- (3) SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. www.siam.mg.gov.br/sla/action
- (4) DINIZ et al. Lightning Research Carried Out by Companhia Energética de Minas Gerais - Brazil. Proceedings of International Conference on Lightning Protection – ICLP 1996, pp. 24-29, Firenze, 1996.
- (5) CETESB; GTZ. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas - 2.ed. São Paulo: CETESB, 2001. 389p.
- (6) SIQUEIRA et al. Comportamento Da Precipitação Pluviométrica Mensal Do Estado De Minas Gerais: Análise Espacial e Temporal, pp 16-18. Belo Horizonte, 2003.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Pedro Mendes Castro

Natural de Belo Horizonte, nascido em 10/03/1959

Graduado em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (1983) e Especialista em Gestão de Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Viçosa - 1999

Engenheiro de Meio Ambiente da Companhia Energética de Minas Gerais desde 1987, com atuação em Gestão Ambiental nos processos de Geração, Transmissão e Distribuição de eletricidade

