

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Materiais**

Bruno Fernando Gianelli

**CARACTERIZAÇÃO DO EFEITO CORONA
EM ISOLADORES POLIMÉRICOS DO TIPO BASTÃO
SUBMETIDOS À POLUIÇÃO SALÍNICA.**

**BAURU
2008**

Bruno Fernando Gianelli

**CARACTERIZAÇÃO DO EFEITO CORONA
EM ISOLADORES POLIMÉRICOS DO TIPO BASTÃO
SUBMETIDOS À POLUIÇÃO SALÍNICA.**

Dissertação apresentada como requisito à
obtenção do título de Mestre à
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho” - Programa de Pós-Graduação em Ciência
e Tecnologia de Materiais, área de concentração
Caracterização de Materiais, sob a orientação do
Prof. Dr. Nilson Cristino Cruz

BAURU
2008

**DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP – BAURU**

Gianelli, Bruno Fernando.

Caracterização do efeito corona em isoladores
poliméricos do tipo bastão submetidos à poluição salínica /
Bruno Fernando Gianelli, 2008.

73 f.

Orientador: Nilson Cristino Cruz.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2008.

1. Isolador polimérico. 2. Ultravioleta. 3. Poluição
salínica. 4. Câmara corona. I. Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Ciências. II. Título.

*Dedico esse trabalho á minha esposa e á minha mãe,
pela paciência e pelo apoio que sempre me prestaram.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me apoiaram e incentivaram para a conclusão de tal empreitada em minha vida.

Agradeço ao apoio sempre prestativo de minha esposa, que esteve presente nos momentos mais difíceis dessa jornada.

Agradeço as entidades financiadoras desse projeto, a empresa COSERN - Companhia Energética do Rio Grande do Norte – e a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

Ao Prof. Dr. Galdenoro Botura Jr., por me apoiar, me incentivar e por ser um grande amigo.

Ao meu orientador Prof Dr. Nilson Cristino Cruz, um ótimo profissional e sempre disposto a grandes realizações.

Às empresas LTS Consultoria, REM e OFIL, pelo auxílio prestado durante o decorrer desse estudo.

Aos meus companheiros de Rotary, e aos servidores da UNESP do Campus de Sorocaba e Bauru, que sempre me ajudaram quando precisei.

GIANELLI, B. F. **Caracterização do efeito corona em isoladores poliméricos do tipo bastão submetidos à poluição salínica..** 2007. 73f. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais)- UNESP, Faculdade de Ciências, Bauru, 2008.

RESUMO

O acúmulo de sais na superfície de isoladores acarreta a formação de arcos sobre os mesmos, aumentando o processo de corrosão por ácido nítrico. Essa corrosão pode iniciar uma falha da cadeia de isoladores.

Atualmente o principal método para análise da corrosão em isoladores, baseia-se em câmaras térmicas e não se tem mostrado adequado para a detecção de defeitos por poluição salínica em seus estágios iniciais.

Esse projeto propõe, a adoção de câmeras corona que operam em um comprimento de onda variando entre 240 – 280 nm, filtrando totalmente os raios solares UVA e UVB e permitindo a detecção do ponto aonde se encontra presente a anomalia.

Embora as câmeras corona tenham sido amplamente utilizadas, principalmente em linhas de 135 kV até 500 kV, poucos experimentos foram realizados com as mesmas em tensões de 69 KV, tensão padrão da empresa patrocinadora do projeto.

Nossa proposta é a de apresentar uma nova metodologia de inspeção utilizando esses equipamentos e possibilitando à empresa incrementar as suas atividades de inspeção.

Palavras – Chave: Isolador Polimérico, Ultravioleta, Poluição salínica, Câmera Corona, Inspeção.

ABSTRACT

The accumulation of salt on the surface of insulators causes the formation of arcs, increasing the corrosion process by nitric acid. This corrosion can start a fault of the insulators chain.

Presently the main method for corrosion analysis of insulators is based on thermal cameras and is not adequated to detect defects caused by salt pollution on initial stages.

This project proposes the adoption of corona cameras operating in wavelengths ranging from 240 to 280 nm, with filters to block UVA and UVB from sunrays and allowing the detection of anomalous spots.

Although the corona cameras have been widely used, especially in lines of 135 kV to 500 kV, few experiments have been performed with such an instrument at 69 KV, that is the standard voltage of the company sponsoring of the project.

Our proposal is to present a new methodology for inspection using such instrument that enables the company to improve its inspection activities.

Keyword: Polymeric Insulator, Ultraviolet, Salt Pollution, Corona Camera, Inspection.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	08
2. OBJETIVO	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 Características da Borracha de Silicone	13
3.2 Métodos de Fabricação – Isoladores Poliméricos Tipo Bastão	16
3.3 Características construtivas das linhas de transmissão	20
3.4 Formação de Descargas Superficiais em Isoladores Poluídos	22
3.5 Hidrofobia – Ângulo de Contato e Energia Superficial	24
3.6 O Efeito Corona	27
3.7 Equipamento de Detecção de Efeito Corona	30
3.8 Tipos de anomalias em linhas de transmissão	34
4. MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1 Definição da Amostragem	36
4.2 Ensaio de Hidrofobia	40
4.3 Caracterização de Efeito Corona	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1 Medidas de Ângulo de Contato	51
5.2 Medidas do Efeito Corona	52
6. CONCLUSÕES	66
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Devido à poluição ambiental presente intensamente em áreas litorâneas, os isoladores poliméricos podem apresentar descargas superficiais decorrentes das grandes diferenças de potenciais, podendo acarretar na erosão de sua superfície e perda de suas características isolantes.

Conforme Meloni et al. (2001), os custos para a substituição desses isoladores, além dos já ocasionados pelo desligamento de uma linha de transmissão por longos períodos, variam de R\$ 1.200,00 a R\$ 3.600,00 por um período de 4 horas de trabalho, sendo que as taxas de falhas permanentes devido a problemas apresentados nas cadeias de isoladores, podem ser estimadas em 20%.

Atualmente, a principal tecnologia utilizada para detecção de anomalias em isoladores em regime de linha viva é o emprego de câmeras de Infra Vermelho, para medição de gradientes térmicos. No entanto a mesma não se mostra eficaz para a detecção preventiva de defeitos decorrentes do acúmulo de poluição, pois o ambiente no qual é realizada a inspeção termográfica desempenha um importante papel nos resultados obtidos.

Os impacto das mudanças climáticas também podem ser significantes e difíceis de quantificar:

- Ventos com velocidades altas afetam consideravelmente a temperatura do objeto inspecionado, atuando como um resfriador convectivo e induzindo o inspetor a subestimar a severidade do defeito.

- A radiação solar pode mascarar pequenas diferenças térmicas indicativas de defeito, além de criar situações nas quais a sua reflexão em determinados componentes pode ser confundida com um defeito.

- A chuva, como o vento, também resfria os componentes sob inspeção.
(DOS SANTOS et al., 2005)

No caso específico de poluição por névoa salínica (maresia), o acúmulo desses sais na superfície do isolador, acarreta a formação de descargas superficiais, aumentando a possibilidade de corrosão por ácido nítrico, resultante da combinação entre o ozônio formado por essa descarga, o nitrogênio presente no ar, as gotículas de água e as partículas de sal acumuladas na camada superficial do isolador (MELONI et al., 2003).

De acordo com Vosloo & Stolper (1997), essas descargas superficiais apresentam emissões ópticas com comprimento de onda superior a 200 nm, sobrepondo-se em alguns instantes aos raios solares UVA e UVB, que possuem comprimentos de onda superiores a 300nm. Para se obter uma imagem clara das descargas superficiais, utiliza-se câmeras com filtros especiais que possibilitam sua atuação na faixa de 240 nm a 280 nm, eliminando-se assim totalmente a interferência dos raios UVA e UVB , possibilitando a detecção da emissividade ultravioleta proveniente dessas descargas superficiais.

CAPÍTULO 2

OBJETIVO

2. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é o de avaliar o emprego da tecnologia de câmeras ultravioleta no processo de caracterização de falhas em isoladores poliméricos, em regime de linha viva com tensões não superiores a 69 kV. Com isso visamos determinar o melhor processo para operação do equipamento de caracterização, levando-se conta as condições meteorológicas que influem no correto funcionamento do equipamento, tais como a umidade e a temperatura ambiente.

CAPÍTULO 3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme denotado por González et al (2001), os isoladores poliméricos ou compósitos, gradualmente estão substituindo seus similares de porcelana e vidro nas linhas de transmissão de energia. Dentre os principais materiais empregados na fabricação dos mesmos, se destacam o EPDM (monômero de etileno-propileno-dieno) e a borracha de silicone. Nos últimos anos é possível notar a crescente tendência no emprego de isoladores poliméricos baseados na borracha de silicone devido, principalmente, ao seu melhor desempenho na recuperação de sua característica hidrofóbica.

3.1 Características da Borracha de Silicone.

Análogo aos hidrocarbonetos, cuja estrutura básica é o metano, CH_4 , a borracha de silicone possui sua estrutura baseada no silano, SiH_4 .

O principal processo para se obter a borracha de silicone envolve a reação de clorosilano com água, produzindo assim uma hidroxila intermediária, sendo que logo após, a mesma condensa para formar a estrutura básica do polímero, como pode ser visto na Figura 1. (GUBANSKI, 1992)

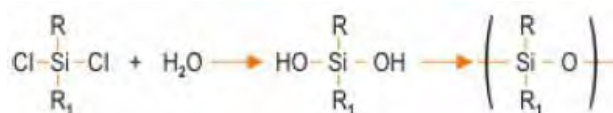


Figura 1 – Processo para obtenção do silicone base (GUBANSKI, 1992).

A estrutura básica mais empregada para a fabricação dos isoladores poliméricos de borracha de silicone é o polidimetilsiloxano (PDMS), cujas propriedades são apresentadas na Tabela 1. (GONZALEZ et al, 2001)

Tabela 1 – Estrutura do PDMS e suas propriedades dielétricas (GONZALES, E.G.C. et al, 2001).

PROPRIEDADE	FAIXA TÍPICA
Rigidez dielétrica	> 20kV/mm
Constante dielétrica	2 - 4
Fator de dissipação	0,3 - 3 %
Resistividade volumétrica	1-10 T Ω.m
Estrutura química	$\left(\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{Si}-\text{O}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$

Os agrupamentos metílicos presentes no PDMS, tendem a repelir a água, ou seja, possuem um comportamento hidrofóbico, formando gotículas de água em uma área restrita, dificultando assim o surgimento de correntes de fuga superficiais, como denotado por Kim, Cherney & Hackam (1992). Entretanto, como verificaram Martins (1990) e Swift (1995), a exposição da borracha de silicone a altos graus de

umidade, por um período prolongado de tempo, acarreta na formação de filmes transitórios de água, possibilitando assim o surgimento de correntes de fugas.

De acordo com Kindersberg (1996) e Gorur et al (1988), para se melhorar a resistência ao trilhamento elétrico, e também elevar a resistência a erosão da borracha de silicone, é adicionado durante o processo de fabricação o hidróxido de alumínio – $\text{Al}(\text{OH})_3$ –, também conhecido como alumina trihidratada (ATH).

Segundo Gonzáles (2001), “a alumina trihidratada é uma carga mineral semi-reforçadora, quimicamente inerte, que apresenta as características de retardar as chamas e suprimir a fumaça na maioria dos materiais poliméricos”.

Vale ressaltar que a ATH contém 34,6% de água quimicamente combinada em sua estrutura. Sendo assim, quando a mesma é exposta a temperaturas elevadas ela tende a se decompor, absorvendo energia e liberando vapor de água, propiciando assim uma maior estabilidade térmica aos isoladores de silicone.

A transformação térmica da alumina trihidratada ocorre próximo a 200°C , mas atinge seu ápice entre 300°C e 350°C , a reação endotérmica de desidratação é apresentada na expressão 1 (DVORNIC & LENZ, 1990):



Apesar da grande importância da alumina trihidratada para os compostos de silicone utilizados em isoladores poliméricos, trata-se de um composto hidrofílico que pode acarretar correntes de fuga na superfície do isolador. Portanto a

quantidade de ATH utilizada durante o processo de fabricação de isoladores poliméricos deve ser muito bem dosada (GORUR & MISHRA, 1996).

3.2 Métodos de Fabricação – Isoladores Poliméricos Tipo Bastão.

Segundo Mobedjina, Johnnerfelt & Stenström (2006), a fabricação de isoladores poliméricos tipo bastão é baseada no processo de injeção. Isso se deve ao fato desse processo permitir a obtenção de produtos finais com alto grau de repetibilidade para comprimentos não superiores a 1.800 mm, empregados na fabricação dos isoladores tipo bastão. O equipamento usado nesse processo é uma injetora, normalmente constituída por um funil alimentador (a), um parafuso de injeção (b), resistências termoelétricas (c), um bulbo de injeção (d), canal de alimentação (e) e um molde (f), como mostra a Figura 2.

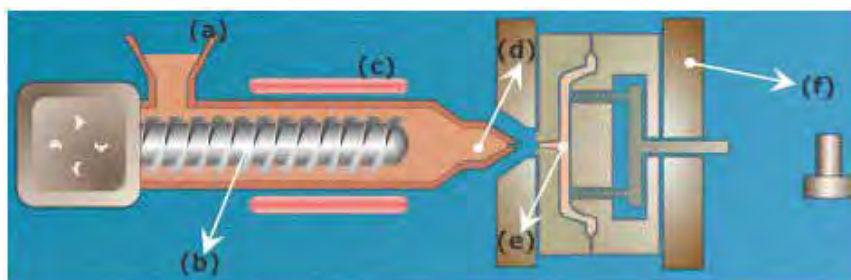


Figura 2 – Esquema de um Processo de Injeção (<http://www.battenfeld-imt.com/en/home.html>, acesso em 29/06/2006).

Durante esse processo um núcleo reforçado de fibra de vidro, também conhecido como “fiber glass reinforced plastic”, ou FRP, é posicionado dentro do molde e preparado para a injeção. O silicone é então alimentado na injetora através do funil alimentador, e conduzido para a parte frontal através do parafuso de injeção, enquanto as resistências termoeletricas aquecem o material, tornando-o mais maleável. Quando o bulbo de injeção estiver totalmente preenchido, o parafuso de injeção avança e através do canal de alimentação preenche o molde, dando origem assim ao isolador polimérico tipo bastão, visto na fotografia apresentada na Figura 3.



Figura 3 – Isolador Polimérico tipo Bastão após o Processo de Injeção (<http://www.isoladores-santana.com.br/santana-nova/>, acesso em 05/05/2006).

Caso seja necessário a obtenção de comprimentos maiores aos do molde presente na injetora, o bastão de FRP é deslocado e uma nova injeção é realizada. Vale ressaltar que para esse processo: pressão, velocidade e temperatura de injeção devem ser devidamente controladas, evitando assim descolamento da borracha de silicone do bastão de FRP.

Usualmente um isolador polimérico tipo bastão é constituído por três partes fundamentais: o núcleo, as pontas de conexão e a superfície polimérica como pode ser visto na Figura 4.

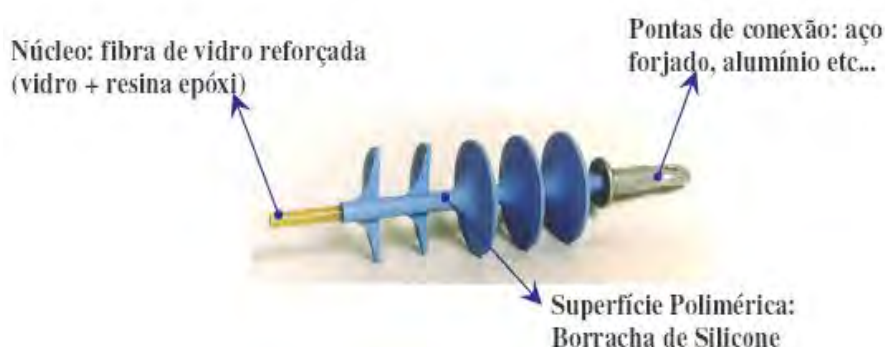


Figura 4 – Elementos de um Isolador Polimérico (Adaptado de SEIFERT, J. M., HUBL, W., 2001).

As principais características de cada um desses componentes encontram-se listadas a seguir:

- · Núcleo: constituído de fibra de vidro reforçada - FRP (“fiber-glass reinforced plastic”), sendo que o material empregado normalmente é uma fibra de vidro e uma resina epóxi como matriz. Possui como característica servir de matriz para a deposição da borracha de silicone durante o processo de injeção
- · Pontas de conexão: normalmente são constituídas de aço forjado, alumínio ou outros materiais condutores e com boa resistência mecânica. São fixadas previamente ao núcleo antes mesmo desse ser submetido ao processo de injeção. Possui como característica principal a de servir de conexão e ancoragem entre a linha de transmissão de energia e a torre.

➤ · Superfície polimérica: como já mencionado, é constituída de borracha de silicone e provê principalmente isolação elétrica e proteção ao núcleo de FRP.

Os isoladores em questão são todos do mesmo padrão, possuindo um comprimento total entre pontas de 880 mm, e um total de 25 discos poliméricos, esses discos poliméricos também são conhecidos como saias ou abas, mostradas na Figura 5.

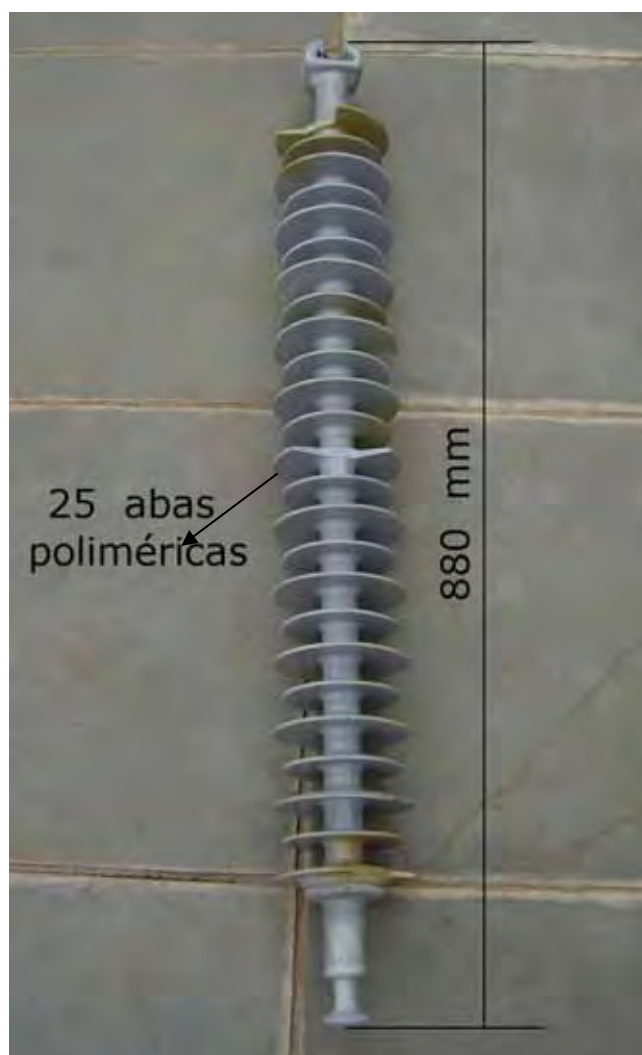


Figura 5 – Isolador polimérico padrão das linhas em estudo.

3.3 Características construtivas das linhas de transmissão.

As linhas de transmissão possuem as mais diversas formas de construção de torres e de materiais empregados, podendo suportar várias fases (cabos de condução de energia) por torre.

Neste estudo estaremos focando a estrutura conhecida como “poste canadense”; uma torre de cimento com pára-raio central, esta estrutura permite a fixação de até 03 fases, sendo uma inferior, uma lateral e uma superior, como pode ser visto na Figura 6.



Figura 6 – Poste canadense com 03 fases.

O “poste canadense” é uma estrutura que permite o uso tanto de isoladores do tipo ancoragem, mostrado na Figura 7, como do tipo suspensão, mostrado na Figura 8, vale ressaltar que a única distinção entre esses dois tipos de isoladores é a maneira como os quais são fixados nas linhas de transmissão, enquanto o isolador de ancoragem possui uma base que é fixada diretamente á estrutura da torre de transmissão, o isolador de suspensão é fixado á estrutura da torre por um gancho conector.



Figura 7 – Isolador Polimérico de Ancoragem.



Figura 8 – Isolador Polimérico de Suspensão.

3.4 Formação de Descargas Superficiais em Isoladores Poluídos.

A formação de descargas superficiais, conhecidas como “flashover”, desgastam a superfície do isolador podendo levar a uma falha crítica, como mostra a Figura 9.



Figura 9 - Efeito das descargas superficiais em uma cadeia de isoladores (BOLOGNA, F. F. et al, <http://www.corocam.com/papers.asp>, acesso em 20/12/2006).

Conforme descrito por Melo et al (2001), a seqüência de eventos que levam à ocorrência de descargas superficiais e conseqüentemente a esta falha crítica, pode ser descrita da seguinte maneira:

- i. Ocorre a precipitação de particulados, contendo sais solúveis ou ácidos diluídos, em suspensão na atmosfera, diretamente sobre a superfície do isolador.
- ii. A superfície do isolador é umedecida pela presença de névoa, chuva fina, nevoeiro ou ambiente com alto grau de umidade, durante um período significativo de tempo. Isso acarreta a dissolução dos depósitos salínicos, criando uma camada condutora na superfície do isolador.

iii. Assim que a camada condutora se forma, ela possibilita o início de correntes de fuga superficiais. Essas correntes sobreaquecem a superfície do isolador, secando assim determinados pontos dela.

iv. A secagem da camada condutora não ocorre de maneira uniforme, fazendo com que partes da camada poluidora úmida sejam cortadas por bandas secas, interrompendo o fluxo de corrente de fuga.

v. As tensões aplicadas sobre as bandas secas, que normalmente possuem alguns centímetros de largura, causam uma descarga no ar que ultrapassam essa banda. Esses arcos se encontram eletricamente em série com a resistência das camadas úmidas da poluição.

vi. Se a resistência da banda seca for muito baixa, os arcos que a ultrapassam não se extinguem e passam a aumentar sua extensão ao longo da superfície do isolador. Este fato diminui a resistência em série com os arcos, aumentando a corrente e sua extensão, até o ponto no qual toda a superfície do isolador esteja coberta, ocasionando uma descarga disruptiva.

3.5 Hidrofobia – Ângulo de Contato e Energia Superficial.

Segundo Ashraf & Rakam (1998) e Hillborg & Gedde (1999), a interação entre um líquido e uma superfície pode ser caracterizado pelo ângulo de contato. Essa interação entre o líquido e a superfície está diretamente relacionada à energia

superficial presente em cada material. Essa energia é caracterizada pelo fato de que os átomos presentes na superfície do material se encontram em um estado de energia superior aos apresentados pelos átomos no interior do mesmo, pois os átomos da superfície acabam não interagindo com o número máximo possível de átomos vizinhos, ao contrário do que ocorre com os átomos presentes no interior do material, como mostra a Figura 10.

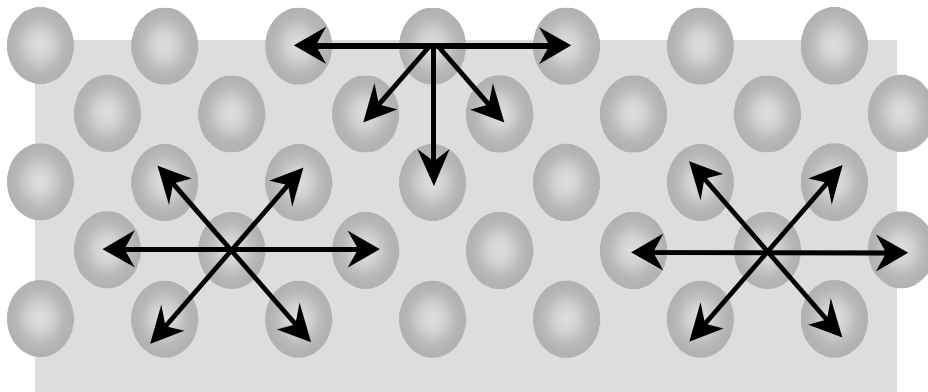


Figura 10 – Interação entre átomos ou moléculas no interior e na superfície de um material.

A interação entre uma gotícula de água e a superfície de um material, origina um ângulo θ , que é definido como o ângulo formado entre o plano tangente à gota do líquido e a superfície onde ela se encontra depositada, como ilustra a Figura 11.



Figura 11 - Ângulo de Contato (Adaptado de INONE, P. C. et al, 2003).

Quando essa gotícula encontra-se em equilíbrio, o ângulo θ é definido de acordo com a expressão 2:

$$\cos \theta = (\gamma_{sv} - \gamma_{sl}) / \gamma_{lv} \quad (2)$$

Em que γ_{lv} representa a energia de superfície presente na interface líquido-vapor, γ_{sv} representa a energia de superfície na interface sólido-vapor e γ_{sl} representa essa mesma energia de superfície no entanto na interface sólido-líquido.

Baseado no conceito exposto anteriormente e devido ao fato que na natureza todos os elementos tendem ao estado de menor energia, quanto maior a energia superficial de um material, maior será a superfície de contato entre a gota de um líquido e a superfície, pois com isso os átomos da superfície desse material recobertos pela gota irão ter sua energia livre diminuída. Com essa maior área de contato, o ângulo θ é reduzido. Para ângulos menores que 90° a superfície é dita

hidrofílica, ou seja, possui afinidade com a água. Para ângulos maiores que 90° a superfície passa a ser hidrofóbica, possuindo baixa afinidade pela água.

Conforme dados levantados por Inone et al (2003), e considerando-se distância de escoamento como “sendo o menor caminho entre duas partes condutoras ou entre uma parte condutora e a superfície acessível do equipamento, medida ao longo da superfície do material isolante” (MELONI et al., 2003), isoladores de borracha de silicone novos possuem ângulo de contato de $106 \pm 3^{\circ}$, para uma distância de escoamento de 410 mm e um ângulo de contato de $105 \pm 6^{\circ}$ para uma distância de escoamento de 485 mm.

Esses mesmos isoladores de borracha de silicone, ao serem submetidos a um processo de envelhecimento por névoa salínica, com taxa de aspersão de $0,51 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e com concentração salínica igual a 10 g / l , durante um período de 1.000 h e a uma tensão eficaz de 13 kV, após a retirada da camada poluidora de sua superfície, mantiveram suas características hidrofóbicas praticamente inalteradas. Para o primeiro isolador os valores do ângulo de contato variaram entre $102 \pm 12^{\circ}$ e para o segundo entre $105 \pm 5^{\circ}$

3.6 O Efeito Corona.

O espectro eletromagnético é dividido em diferentes categorias, como os raios x, com comprimentos de onda pequenos e grande penetração de fótons, a região visível e as ondas longas usadas na transmissão e recepção de

comunicações. A caracterização por imageamento multiespectral tem como foco explorar o comprimento de onda na faixa do ultravioleta, entre 200 nm e 280 nm, e na faixa dos comprimentos de onda da luz visível, entre 400 nm (azul escuro) até 700 nm (vermelho), cujo espectro esta ilustrado na Figura 12.

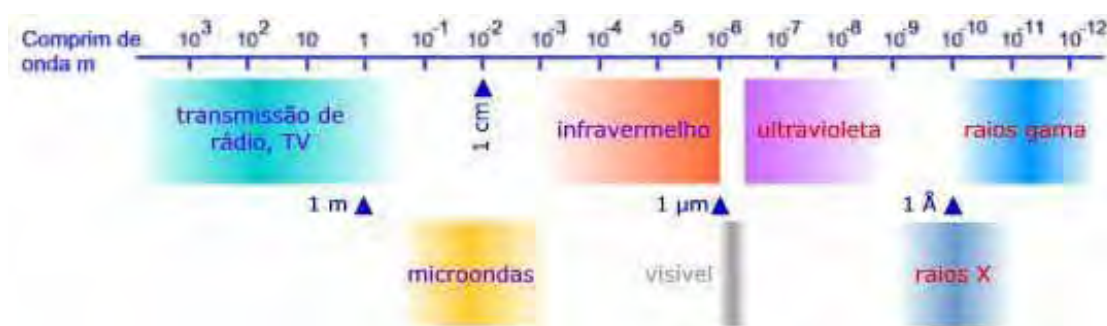


Figura 12 – Espectro Eletromagnético
(http://www1.ufrgs.br/extensao/salaoextensao/mostra/vis_acao_mostra.asp?CodAcaoExtensao=10421, acesso em 27/02/2008).

Baseado no estudo de Stolper, Hart & Mahatho (2005), constata-se que a atividade corona pode ser observada na forma de luz principalmente presente na faixa de comprimento de onda ultravioleta, variando entre 200 nm e 400 nm, sendo que os seus picos concentram-se na faixa entre 340 nm e 380nm. A atividade corona presente em uma linha de transmissão, é uma descarga parcial luminosa dos cabos condutores e dos isoladores devido à ionização do ar, onde o campo elétrico excede um valor crítico. Um alto campo eletromagnético, gerado por descargas superficiais por exemplo, ioniza o ar e causa a atividade corona. Esse processo é acompanhado pela excitação de moléculas de nitrogênio, emitindo assim radiação ultravioleta.

Entretanto, a radiação solar se faz presente em comprimentos de onda superiores a 280 nm sobrepondo-se à radiação ultravioleta emitida pela atividade corona proveniente de uma linha de transmissão, cujo espectro esta mostrado na Figura 13.

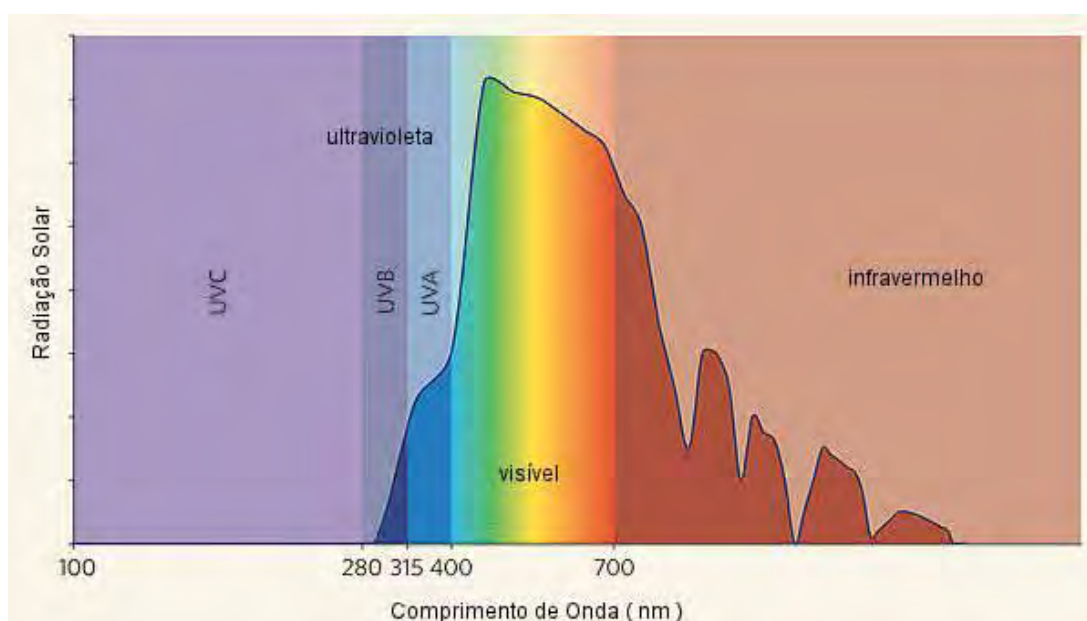


Figura 13 – Espectro de emissão solar.

Por isso o equipamento empregado para realizar a caracterização do efeito corona possui filtros especiais que bloqueiam qualquer comprimento de onda acima desse valor, conforme consta na Figura 14 - porcentagem de transmissão do filtro (curva azul). Isso permite ao equipamento operar na faixa de radiação conhecida como “solar blind”, ou seja, em uma faixa específica onde a radiação solar não atinge a superfície terrestre devido a presença da camada de ozônio, ver Figura 14 - radiação solar (curva branca). Nestas condições o equipamento capta

apenas a emissividade corona, não sendo possível captar as reflexões causadas por essa emissividade ou os contornos da fonte irradiante, cujo gráfico espectral está ilustrado na Figura 14.

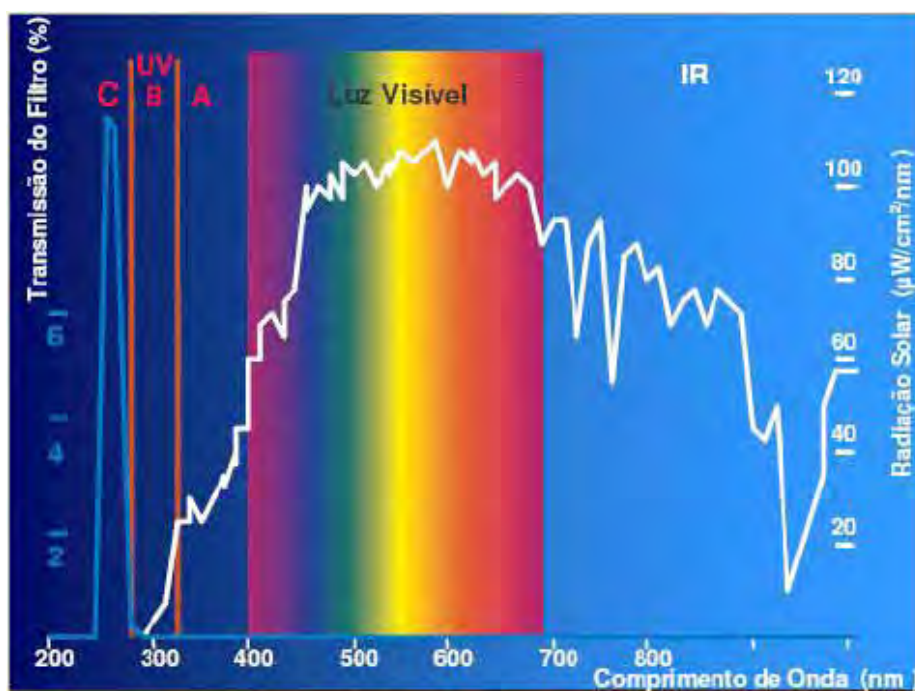


Figura 14 – Gráfico do comprimento de onda e radiação solar x transmissão do filtro especial.

3.7 Equipamento de Detecção de Efeito Corona.

Segundo Vosloo & Stolper (1997), o equipamento para detecção de efeito corona é caracterizado por possuir dois canais de captação de dados, um para a captação da radiação ultravioleta e outro para a captação de imagens visíveis.

Ambas as imagens podem ser sobrepostas tornando a operação do equipamento mais simplificada.

O canal ultravioleta detecta a formação de descargas em equipamentos elétricos, dentre eles isoladores poliméricos. A radiação ultravioleta é direcionada para um tubo intensificador constituído de uma série de lentes e filtros, que possibilita sua detecção e quantificação, como mostra a Figura 15.

A energia liberada pelos fótons ultravioleta incidindo no detector pode ser calculada a partir da expressão 3:

$$E = hv = \frac{hc}{\lambda} \text{ (J / fóton)}$$
$$h = \text{ Constante de Plank } = 6.6252 \times 10^{-34} \text{ J s} \quad (3)$$
$$c = \text{ Vel. da Luz } = 3.0 \times 10^8 \text{ (m / s)}$$
$$\lambda = \text{ Comprimento de Onda (m)}$$

Para um fóton de comprimento de onda da ordem de 265 nm, por exemplo, a energia liberada é de aproximadamente $E = 7,50 \times 10^{-19} \text{ J}$,

De acordo com Dito (apud Stolper, Hart & Mahatho, 2005), a grande maioria dos detectores eletro-ópticos podem ser classificados em duas grandes categorias: detectores térmicos e detectores quânticos (foto-detectores). Os detectores térmicos aumentam sua temperatura, ou seja, vibram com uma frequência mais alta, quando da absorção de radiação. Por outro lado, os detectores

quânticos absorvem a energia emitida resultando em uma mudança no estado energético de seus elétrons.

Para se detectar a radiação ultravioleta emitida pelo efeito corona, é empregado um detector quântico, constituído por um tubo intensificador de imagens constituído por um fotocatodo de Césio – Telúrio. Este detector converte os fótons detectados em foto-elétrons a uma taxa de conversão de 18%, amplificando o sinal em 2 milhões de vezes. O sinal é então lido por um detector CCD padrão e processado por um circuito eletrônico, como pode ser visto na Figura 15.

O canal de luz visível existe para facilitar a operação do equipamento, tendo em vista que as imagens provenientes do canal de luz ultravioleta são sobrepostas a esse canal, possibilitando assim determinar o ponto de emissão da radiação, conforme Figura 15.

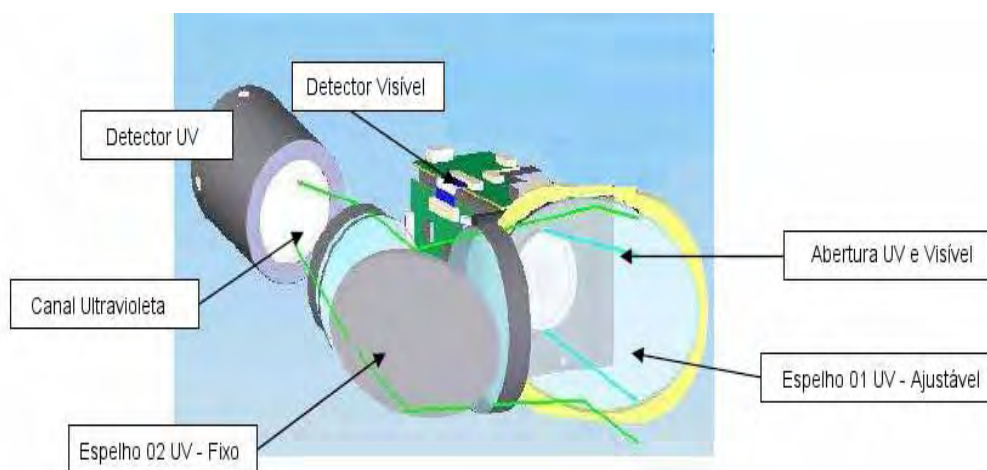


Figura 15 – Princípio de funcionamento de câmera ultra-violeta (Adaptado de STOLPER, R., HART, J. & MAHATHO, N., <http://www.corocam.com/papers.asp>, acesso em 20/12/2006).

De acordo com Vosloo & Stolper (1997), ao contrário das câmaras térmicas, onde é possível se determinar a falha em um equipamento através de sobreaquecimentos pontuais, o processo para se detectar anomalias com a câmera ultravioleta baseia-se muito na experiência do operador do equipamento. Basicamente um defeito é significativo quando a emissão de fótons por minuto ultrapassa a contagem de 2.000 e sua emissividade se concentra repetidamente em uma mesma região da peça defeituosa, em nosso caso os isoladores. Essa sensibilidade para se determinar uma anomalia é adquirida apenas com a prática na operação do equipamento.

O número de fótons emitidos por minuto está correlacionado com a presença ou não de defeitos, mas não pode ser adotado como base para se determinar o período de troca dos isoladores. Cujas contagem de número de fótons, em um isolador típico, é mostrada na Figura 16.



Figura 16 – Isolador Polimérico do tipo Bastão na qual é feita a contagem de número de fótons.

3.8 Tipos de anomalias em linhas de transmissão.

Os tipos de anomalias em uma linha de transmissão que causam atividade elétrica, podem ser divididas em duas classes, problemas esporádicos e problemas estruturais.

São considerados problemas esporádicos ou aleatórios aqueles que ocorrem apenas em algumas regiões ou pontos da linha, oriundos de uma causa específica, tanto durante a construção da linha, como por exemplo um arranhão no cabo condutor, quanto durante a operação da mesma, como por exemplo depósito de poluentes na superfície do isolador. Nestes casos os horários e as condições meteorológicas, no momento da medição do efeito corona, influenciam significativamente a sua detecção.

Por outro lado, são considerados problemas estruturais aqueles que ocorrem sistematicamente ao longo de toda a linha de transmissão, praticamente independente das condições ambientais como por exemplo, um dimensionamento crítico do nível do gradiente de campo na extremidade energizada das cadeias de isoladores, causando atividade elétrica nos parafusos ou ferragens dos conjuntos.

Ao analisar-se em laboratório as imagens obtidas pela câmera corona, Daycor II, é possível identificar o local que apresenta efeito corona e compará-lo com um espectro teórico de distribuição de campo eletrostático do isolador.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Definição da Amostragem.

O procedimento para o levantamento de dados de efeito corona, foi realizado por amostragem, em diferentes dias e horários, obedecendo a divisão por regiões remetida pela concessionária de energia, COSERN, que financia o projeto, cujo mapa esta ilustra na Figura 17.

A concessionária possui um total de 1.985 km de linhas de transmissão de energia e 41.900 cadeias de isoladores, sendo que desses 40.000 são isoladores poliméricos. No ano de 2005 a concessionária apresentou um grande número de desligamentos de origem desconhecida em suas linhas de transmissão, localizadas nas regiões 1 e 2, mostradas na Figura 17. Todos esses desligamentos ocorreram em cadeias de isoladores poliméricos.

fotografia da Figura 18, sendo todos eles provenientes do mesmo fabricante, com um período de uso de aproximadamente 7 anos. Os isoladores foram devidamente identificados quando da sua retirada para que não ocorresse divergência na coleta de dados, cuja identificação é denotada na fotografia da Figura 19.



Figura 18 – Isoladores poluídos provenientes de áreas com histórico de desligamento



Figura 19 – Identificação dos isoladores poluídos.

Todos os isoladores retirados foram provenientes de linhas de transmissão com histórico de falhas e das regiões com alto índice de desligamento, como indica a Tabela 2, apresentada na próxima seção.

4.2 Ensaio de Hidrofobia.

O processo de caracterização por ensaio de hidrofobia consiste na obtenção de dados da superfície poluída do isolador, sem limpeza, e na coleta de dados com a superfície limpa, sendo que um isolador polimérico de borracha de silicone proveniente do mesmo fabricante, foi considerado como amostra padrão. A metodologia empregada para a caracterização por ensaio de hidrofobia é apresentada abaixo.

Inicialmente os isoladores foram separados por região de origem, linha de transmissão da qual foi retirado e fornecedor.

Tabela 2 – Macro-regiões da malha elétrica da concessionária.

Número Isolador	Código COSERN das Linhas de Transmissão	Ano de Instalação	Ano de Retirada
1	MSD / GRS	1999	2006
2	MSD / GRS	1999	2006
3	ACD / POL 1	1998	2005
4	EXT / DMA	1998	2005
5	EXT /DMA	1998	2006

Realizou-se então a separação de amostras medindo 3 x 2 cm de área das abas dos isoladores, sempre coletando a amostra na parte mais próxima da haste do isolador. Esta região embora teoricamente fosse o local com menor grau de deposição de poluição salínica, também é a região que menos sofre a limpeza natural de sua superfície pela ação de chuvas.

Baseado no trabalho de Hoch, Mabatho & Bologna (2006), a coleta das amostras também foi realizada em três níveis distintos de cada isolador, superior, médio e inferior, isso se deve a ação do campo eletromagnético ao longo da extensão da cadeia do isolador, o que pode afetar as propriedades da borracha de silicone, em função do campo elétrico sobre a mesma, como mostra a Figura 20. Apenas a amostra proveniente do isolador sem uso (amostra padrão) foi coletada de um único nível, pois o mesmo nunca entrou em operação.

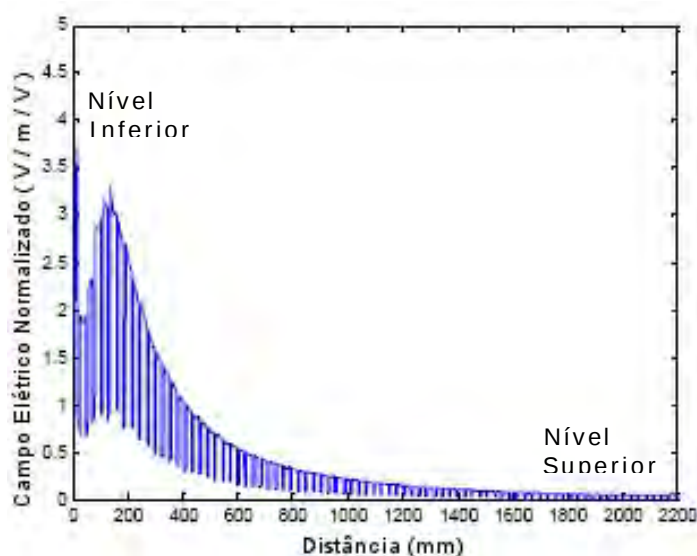


Figura 20 – Distribuição de campo elétrico para um isolador polimérico padrão (HOCH D.A., MAHATHO N. & BOLOGNA F. <http://www.corocam.com/papers.asp>, acesso em 20/12/2006).

Considerando que os isoladores padrões empregados nas linhas em questão possuem uma distância entre pontas de aproximadamente 880 mm, e adotando como ponto inicial a extremidade mais próxima da linha de energia, o nível inferior de coleta dista 120 mm, o nível médio dista 450 mm e o nível superior dista 780 mm do ponto inicial, ou ponto zero, como mostra a Figura 21.

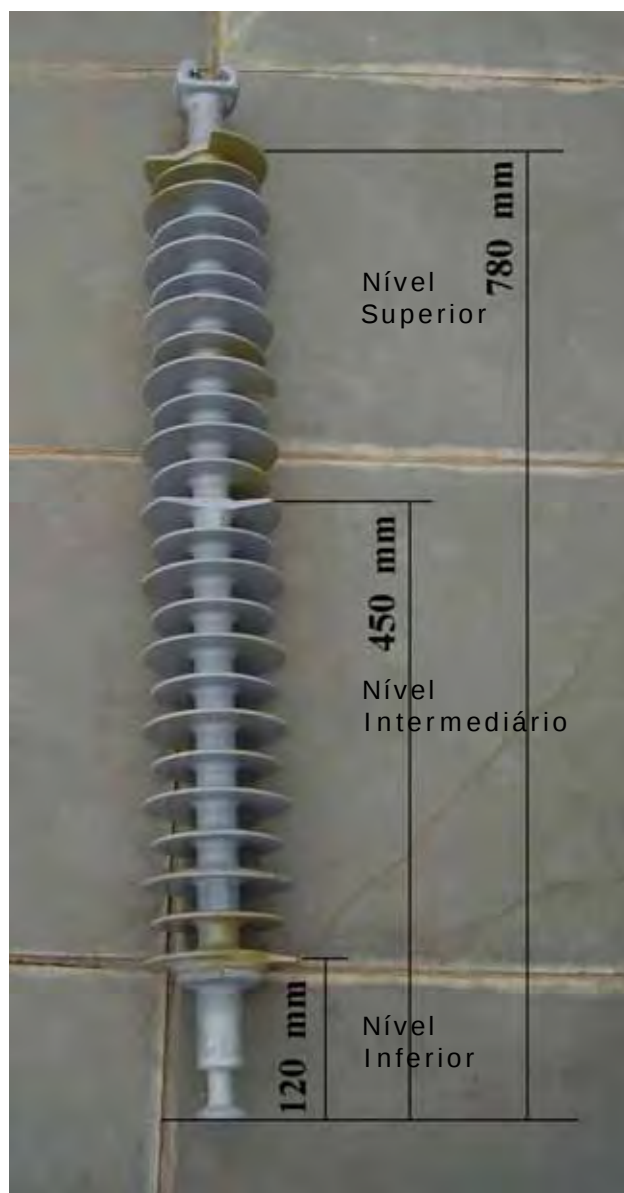


Figura 21 – Diferentes níveis de coleta de amostras.

Posteriormente foram realizados alguns testes com agentes químicos para limpeza da superfície poluída do isolador. Esses testes visaram a obtenção de uma superfície sem a presença da camada poluidora de sais. Foram separadas amostras, de aproximadamente 3 x 2 cm de área, de cada um dos isoladores, incluindo a amostra padrão. Foram testados como agente de limpeza álcool, acetona e detergente, sendo que todos estes acabaram por degradar a superfície da amostra e poderiam de alguma maneira distorcer os dados obtidos. Em função disto, o agente para limpeza escolhido foi a água destilada, pois a mesma não apresentou degradação da superfície da amostra. As amostras foram portanto separadas em duas categorias principais, as com superfície poluída e as que passaram pela limpeza superficial após um banho de 15 minutos no ultra-som em um béquer com água destilada e secagem a temperatura ambiente.

O procedimento acima adotado deve-se ao fato que embora um isolador polimérico de borracha de silicone seja hidrofóbico, os sais que se depositam em sua superfície não o são, podendo assim acarretar um maior espalhamento da gota e o surgimento de descargas superficiais.

Utilizando-se um goniômetro Ramé-Hart 100-00, mostrado na Figura 22, do LaPTec - Laboratório de Plasmas Tecnológicos - da Unesp – Campus Experimental de Sorocaba, foram depositadas 05 gotas de aproximadamente 10 µL de água deionizada e mediu-se 20 vezes o ângulo de contato entre essa gota e a superfície da amostra.



Figura 22 – Goniômetro Ramé-Hart 100-00.

4.3 Caracterização de Efeito Corona.

A caracterização do efeito corona proveniente dos isoladores poliméricos em regime de linha viva, focou tanto isoladores de cadeias de ancoragem, quanto de suspensão.

Empregou-se o equipamento Daycor II, ilustrado na Figura 23, fabricado pela empresa Ofil, de origem israelense, para realizar a caracterização do efeito corona. Equipamento de fácil manuseio, com uma tela de cristal líquido para visualização. Ele opera com dois canais independentes de captação de imagens, um canal destinado apenas a captação da radiação ultravioleta e outro destinado a captação da luz visível, permitindo assim sua operação sob qualquer condição de

iluminação externa. A esse equipamento é acoplada uma câmera de filmagem Sony que utiliza fitas Hi 8, para gravação das imagens.



Figura 23 - Detector de radiação ultravioleta, DAYCOR II , com câmera de filmagem SONY.

Conforme Garcia et al (2005), um dos procedimentos empregados para a utilização do equipamento Daycor II é a regulação da sensibilidade do aparelho para um ganho de 120. No entanto nas condições de operação apresentadas no decorrer desse projeto, notou-se a necessidade do aumento da sensibilidade para um ganho de 250.

Após a regulação da sensibilidade do aparelho, aciona-se a contagem de fótons por minuto que servirá como base para avaliar a presença de efeito corona nos isoladores, posiciona-se então o aparelho de forma tal que o sol não incida diretamente sobre sua lente e mantém-se uma distância média entre o aparelho e a base da torre da linha de transmissão de aproximadamente 20 m, cujo esquema esta mostrado na Figura 24.

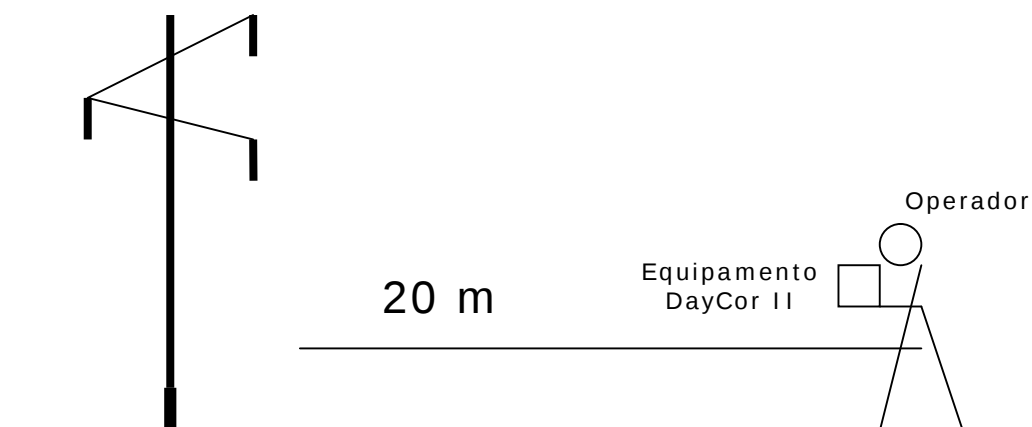


Figura 24 – Distância média entre a torre de energia e o operador.

O equipamento é então posicionado em direção às cadeias de isoladores, em cada uma das 3 fases da linha de transmissão. Qualquer atividade de efeito corona é registrada através da câmera digital, sendo gravado um vídeo do mesmo. No caso da atividade de efeito corona possuir uma intensidade de tal ordem que dificulte a identificação do ponto de origem, é reduzida a sensibilidade de detecção do aparelho gradativamente, adotando-se como limite inferior um ganho de 80 .

Tendo em vista que o efeito corona é influenciado diretamente tanto pela temperatura ambiente quanto pela umidade relativa do ar, os mesmos afetam a formação de gotículas de água na superfície do isolador, tais grandezas foram monitoradas durante todo o decorrer das inspeções, utilizando para tanto um termohigrometro Impac TH01, apresentado na Figura 25.



Figura 25 – Termo-higrômetro para medição de temperatura e umidade.

O processo de caracterização do efeito corona também foi dividido em duas etapas no decorrer do ano, sendo a primeira etapa realizada em abril de 2006, logo após o período de chuvas na região, o que proporciona uma limpeza na superfície do isolador. A segunda etapa foi realizada em novembro de 2006, após um longo período de seca, acarretando assim um acúmulo de sais na superfície.

A primeira amostragem compreendeu 2 macro-regiões da malha elétrica da concessionária financiadora do projeto, sendo que em média foram levantados dados de 7,0% do número de total de torres presentes, mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Total de torres inspecionadas – Primeira Amostragem.

Código COSERN das Linhas de Transmissão	Nº de torres	Data Inspeção	Nº de Torres Insp.	% de Torres Insp.
PNA/JQI	49	9/4/2007	14	28,57%
MST/CTA	116	11/4/2007	7	6,03%
MSD/GRS	302	11/4/2007	11	3,64%
MST/BRU	173	11/4/2007	10	5,78%
SRV/GRS		11/4/2007	3	--
ACD/POL 1 e 2	335	12/4/2007	26	7,76%
EXT/DMA	193	12/4/2007	10	5,18%

A segunda amostragem concentrou-se em áreas onde foi identificada alguma atividade de efeito corona durante a primeira etapa, como mostra a Tabela 4. Realizou-se o levantamento de dados em dois períodos distintos de coleta de dados, sendo o primeiro período compreendido entre 04:30 e 7:15 h e o segundo período após às 09:00 h da manhã. Embora a região apresente elevado grau de umidade nas primeiras horas da manhã (~ 75%), possibilitando a formação de gotículas de água na superfície dos isoladores, o que propicia a formação de descargas superficiais (efeito corona), a mesma também apresenta uma elevada temperatura, secando rapidamente a superfície dos isoladores, mascarando possíveis defeitos.

Tabela 4 – Total de torres inspecionadas – Segunda Amostragem.

Código COSERN das Linhas de Transmissão	Nº de torres	Data Inspeção	Nº de Torres Insp.	% de Torres Insp.
EXT/DMA	193	6/11/2007	9	4,66%
MSD/GRS	302	7/11/2007	7	2,32%
SRV/GRS		7/11/2007	6	--
ACD/POL 1 e 2	335	8/11/2007	24	7,16%

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Medidas de Ângulo de Contato.

A Tabela 5 apresenta os valores das medidas de ângulo de contato entre a gotícula de água deionizada e a superfície das amostras.

Tabela 5 – Ângulo de contato – Amostras Envelhecidas x Amostra Padrão.

			Isolador com Superfície Poluída	Isolador com Superfície Limpa
Isolador	Código COSERN das Linhas de Transmissão	Nível da Amostra	Ângulo de Contato	Ângulo de Contato
1	MSD / GRS	Superior	104,24 ± 5,9	105,33 ± 8,91
		Médio	102,21 ± 6,44	103,76 ± 5,33
		Inferior	90,45 ± 5,78	97,66 ± 3,76
2	MSD / GRS	Superior	103,61 ± 5,22	105,47 ± 9,29
		Médio	106,8 ± 7,83	106,89 ± 8,12
		Inferior	98,8 ± 7,54	99,57 ± 5,67
3	ACD / POL I	Superior	105,01 ± 9,73	107,31 ± 7,96
		Médio	101,41 ± 6,77	103,21 ± 6,98
		Inferior	100,22 ± 3,27	103,65 ± 8,53
4	EXT / DMA	Superior	107,19 ± 6,98	107,19 ± 9,18
		Médio	100,53 ± 4,66	100,53 ± 6,84
		Inferior	95,55 ± 4,7	95,55 ± 4,83
5	EXT /DMA	Superior	107,12 ± 5,05	107,12 ± 7,75
		Médio	106,01 ± 3,75	106,12 ± 5,98
		Inferior	98,75 ± 7,03	98,75 ± 6,36
6	PADRÃO		----	107,78 ± 4,58

Os dados obtidos mantêm coerência com o que se esperava. Os ângulos de contato tendem a aumentar com a limpeza da superfície da amostra, aproximando-se dos valores da amostra padrão. Vale ressaltar entretanto, que para as amostras coletadas no nível inferior do isolador, ou seja, próximo a linha de transmissão de energia e portanto submetida a um alto campo eletromagnético, assim como pouco sujeita a limpeza superficial pela ação da chuva, o ângulo de contato apresenta-se inferior ao da amostra padrão, esse fator torna essa região como a mais propícia a se detectar a presença de efeito corona.

5.2 Medidas do Efeito Corona.

As informações coletadas na primeira etapa de levantamento de dados ocorrida em abril de 2006, estão apresentadas nas Tabelas de 6 a 13.

Tabela 6 – Informações coletadas na linha PNA/JQI, em 09/04/2007.

Torre ID (COSERN)	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa do Ar %	Atividade Corona
1/6	14:50	33,5	60	----
1/7	15:15	34,7	57	----
1/8	15:20	33,8	59	----
2/1	15:25	32,6	63	----
2/2	15:30	31,9	66	----
2/3	15:35	31,7	67	----
2/4	15:40	31,3	69	----
2/8	15:55	30,9	74	----
3/1	16:00	31,1	71	----
3/2	16:05	30,7	73	----
4/3	16:25	30,3	74	----
4/4	16:30	30,2	75	----
6/5	16:45	31,0	69	----
6/6	16:50	30,3	73	----

Tabela 7 – Informações coletadas na linha MSD/GRS, em 11/04/2007

Torre ID (COSERN)	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa do Ar %	Atividade Corona
36/4	05:45	27,7	69	----
36/5	05:55	27,6	77	----
36/8	06:10	27,8	78	1ª saia fase inferior
36/9	06:15	27,7	81	----
36/10	06:20	27,8	77	1ª saia fase superior
36/11	06:30	28,6	78	1ª saia fase inferior
37/1	06:40	28,4	75	1ª saia fase superior
37/2	06:50	28,7	76	----
15/8	08:10	31,7	66	----
15/7	08:15	32,5	63	----
15/6	08:25	33,3	63	----

Tabela 8 – Informações coletadas na linha MST/BRU, em 11/04/2007.

Torre ID (COSERN)	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa do Ar %	Atividade Corona
2/4	09:00	31,6	60	----
2/5	09:05	31,6	60	----
2/6	09:10	32,6	59	----
22/2	09:35	32,4	60	----
22/3	09:40	32,4	60	----
22/4	09:45	32,7	60	----
22/5	09:55	32,7	58	----
23/3	10:05	34,1	54	----
28/4	10:20	32,8	55	----
20/1	10:25	33,0	56	----

Tabela 9 – Informações coletadas na linha MSD/CTA, em 11/04/2007.

Torre ID (COSERN)	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa do Ar %	Atividade Corona
3/1	11:15	31,0	59	----
3/2	12:00	38,7	37	----
3/3	12:05	36,4	44	----
4/1	12:10	35,5	50	----
20/5	15:10	31,6	63	----
21/1	15:20	32,5	64	----
21/2	15:25	33,2	61	----

Tabela 10 – Informações coletadas na linha SRV/GRS, em 11/04/2007.

Torre ID (COSERN)	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa do Ar %	Atividade Corona
1/4	14:35	31,9	67	----
1/3	14:40	31,9	66	----
1/2	14:45	32,5	64	----

Tabela 11 – Informações coletadas na linha ACD/POL 1, em 12/04/2007.

Torre ID (COSERN)	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa do Ar %	Atividade Corona
20/1	05:45	22,2	76	1ª saia fase inferior
19/4	05:55	22,3	78	1ª saia fase inferior
19/3	06:10	22,9	81	----
19/2	06:35	26,8	76	1ª saia fase inferior
18/2	06:45	26,4	74	----
18/3	07:55	28,2	74	----
22/1	07:20	28,0	76	1ª saia fase inferior
13/3	08:20	33,1	59	----
13/1	08:30	28,7	78	1ª saia fase inferior
12/4	08:40	31,2	59	----
12/3	08:55	31,5	60	----
11/1	09:00	31,4	61	----
7/3	09:20	30,6	59	----
7/2	09:30	33,1	54	----

Tabela 12 – Informações coletadas na linha ACD/POL 2, em 12/04/2007.

Torre ID (COSERN)	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa do Ar %	Atividade Corona
19/4	05:40	22,9	76	1ª saia fase inferior
19/3	05:55	22,3	78	----
19/2	06:05	22,1	79	----
19/1	06:10	26,9	76	----
21/5	07:30	28,0	68	----
13/2	08:25	33,4	58	----
12/4	08:35	30,7	58	----
12/3	08:45	31,2	59	----
12/2	08:50	31,5	60	----
11/1	09:05	31,4	61	----
7/1	09:25	30,6	59	----
6/4	09:35	33,1	54	----

Tabela 13 – Informações coletadas na linha EXT/DMA, em 12/04/2007.

Torre ID (COSERN)	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa do Ar %	Atividade Corona
0/10	14:45	31,8	61	----
0/11	14:50	31,8	61	----
0/12	14:55	32,0	60	----
0/13	15:00	31,9	61	----
1/1	15:05	31,8	60	----
22/1	15:20	31,8	61	----
22/2	15:25	31,8	61	----
23/1	15:35	32,8	59	----
27/1	15:50	31,5	62	----
27/3	16:00	30,8	63	----

As Figuras 26 a 29 apresentam algumas imagens do efeito corona observadas diretamente nessas cadeias de isoladores.

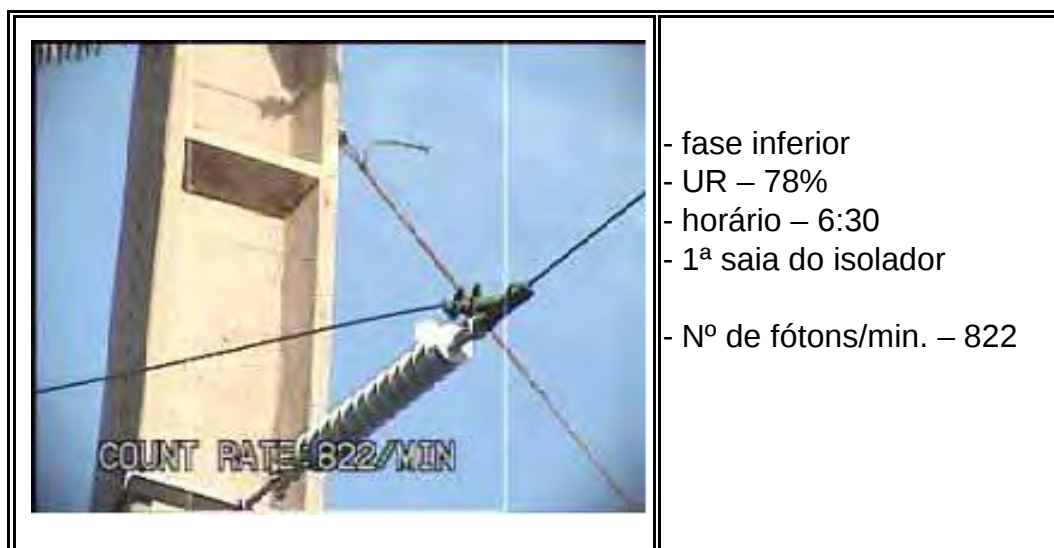


Figura 26 – Imagem de descarga corona em isolador - linha MSD/GRS – Torre 36/11.



Figura 27 – Imagem de descarga corna em isolador - linha MSD/GRS – Torre 37/1.



Figura 28 – Imagem de descarga corna em isolador - linha ACD/POL I – Torre 19/4.

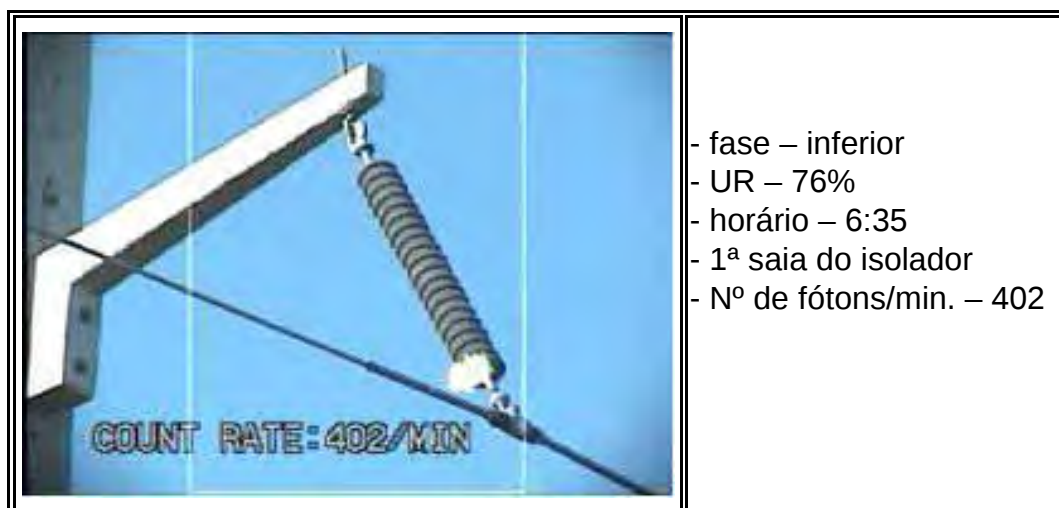


Figura 29 – Imagem de descarga corona em isolador - linha ACD/POL I – Torre 19/2.

Embora o efeito corona tenha sido observado nessas cadeias de isoladores, ele pode ser considerado insignificante e não tende a afetar a confiabilidade de operação da linha de transmissão.

Entretanto, de posse desses dados, é possível observar que o efeito corona se faz mais presente em temperaturas não superiores a 29^o C e com umidade relativa do ar superior a 75 %. Com isso foi estabelecido uma nova metodologia de inspeção para a segunda etapa de levantamento de dados, realizando a coleta em dois períodos distintos. O primeiro com alto grau de umidade e baixa temperatura e o segundo com baixo grau de umidade e alta temperatura.

As Tabelas 14 a 18 contendo as informações coletadas na segunda etapa de levantamento de dados, realizado em novembro de 2006, são apresentadas a seguir.

Tabela 14 – Informações coletadas na linha MSD/GRS, em 07/11/2007.

Torre ID (COSERN)	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa do Ar %	Atividade Corona
36/6	05:18	26,2	70	2ª saia do isolador
36/7	05:15	25,8	71	2ª saia do isolador
36/8	05:11	25,0	70	2ª saia do isolador
36/9	05:01	25,8	68	2ª saia do isolador
36/10	04:53	27,0	63	1ª saia do isolador
36/11	04:46	25,6	71	1ª saia do isolador
37/1	04:40	25,7	70	3ª saia do isolador
36/6	10:42	38,7	31	----
36/7	10:34	36,3	30	----
36/8	10:27	38,5	29	----
36/9	10:23	37,9	31	----
36/10	10:18	37,9	36	----
36/11	10:14	39,0	30	----
37/1	10:05	38,2	38	----

Tabela 15 – Informações coletadas na linha SRV/GRS, em 07/11/2007.

Torre ID (COSERN)	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa do Ar %	Atividade Corona
0/7	06:42	28,9	57	----
1/1	06:48	21,3	56	----
1/5	07:03	29,5	56	----
1/4	06:59	29,9	57	----
1/3	06:55	29,6	55	----
1/2	06:51	29,3	56	----

Tabela 16 – Informações coletadas na linha ACD/POL 2, em 08/11/2007.

Torre ID (COSERN)	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa do Ar %	Atividade Corona
20/1	04:44	26,5	74	1ª saia do isolador
19/4	04:52	27,9	70	1ª saia do isolador
19/3	04:57	28,4	70	----
19/2	05:07	27,2	73	1ª saia do isolador
19/1	05:18	29,8	67	----
13/1	06:54	29,9	64	----
12/4	07:03	31,0	62	1ª saia do isolador
12/3	07:09	30,4	61	1ª saia do isolador
12/2	07:15	30,4	60	----
20/1	09:49	38,4	36	----
19/4	09:53	37,2	39	----
19/3	09:59	36,8	41	----
19/2	10:07	41,5	33	----
19/1	12:50	40,6	28	----
13/1	13:08	40,1	27	----
12/4	13:13	41,5	26	----
12/3	13:17	41,8	25	----
12/2	13:23	44,0	21	----

Tabela 17 – Informações coletadas na linha ACD/POL 1, em 08/11/2007.

Torre ID (COSERN)	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa do Ar %	Atividade Corona
19/4	04:44	26,5	74	2ª saia do isolador
19/3	04:52	27,9	70	----
19/2	04:57	28,4	70	2ª saia do isolador
19/1	05:07	27,2	73	----
13/2	06:31	29,8	62	2ª saia do isolador
12/4	06:54	29,9	64	2ª saia do isolador
12/3	07:02	31,0	62	2ª saia do isolador
12/2	07:09	30,4	61	2ª saia do isolador
12/1	07:13	30,4	60	2ª saia do isolador
19/4	09:49	38,4	36	----
19/3	09:53	37,2	39	----
19/2	09:59	36,8	41	----
19/1	10:07	41,5	33	----
13/2	12:50	40,6	28	----
12/4	13:08	40,1	27	----
12/3	13:13	41,5	26	----
12/2	13:17	41,8	25	----
12/1	13:23	44,0	21	----

Tabela 18 – Informações coletadas na linha EXT/DMA, em 06/11/2007.

Torre ID (COSERN)	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa do Ar %	Atividade Corona
22/1	04:50	26,6	75	2ª saia do isolador
22/2	05:25	26,8	77	2ª saia do isolador
23/1	05:32	28,5	74	2ª saia do isolador
27/2	05:56	28,7	73	----
27/1	06:10	29,3	66	----
26/4	06:18	28,1	71	----
26/3	06:24	28,1	70	----
26/2	06:32	29,2	70	----
26/1	06:43	30,0	64	----
22/1	08:19	31,3	65	----
22/2	08:24	32,0	62	----
23/1	08:47	32,9	59	----
27/2	08:52	30,0	68	----
27/1	08:57	30,0	68	----
26/4	09:14	33,4	54	----
26/3	09:20	33,4	55	----
26/2	09:53	35,4	52	----

As Figuras 30 a 35 mostram algumas imagens das cadeias de isoladores que apresentaram efeito corona.

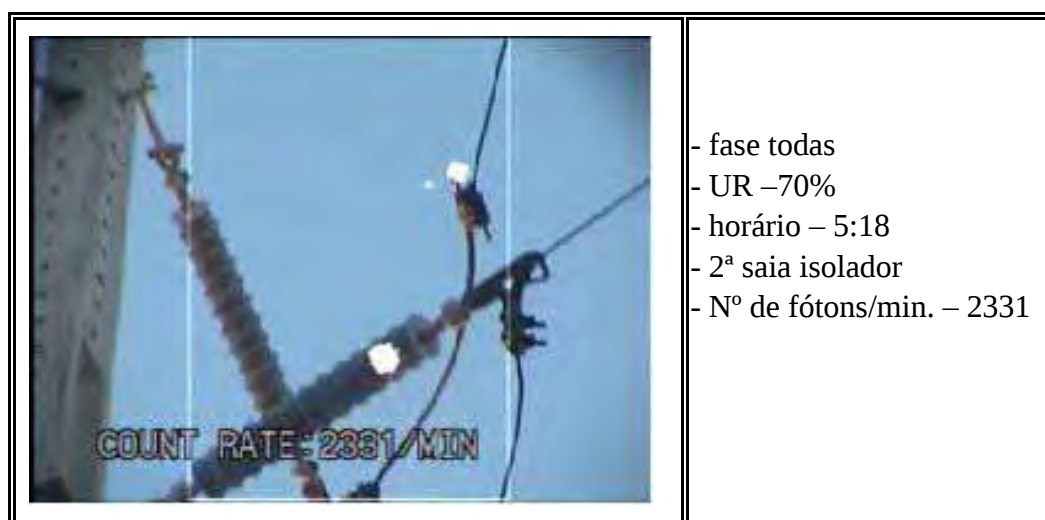


Figura 30 – Imagem de descarga coroa em isolador - linha MSD/GRS – Torre 36/6.

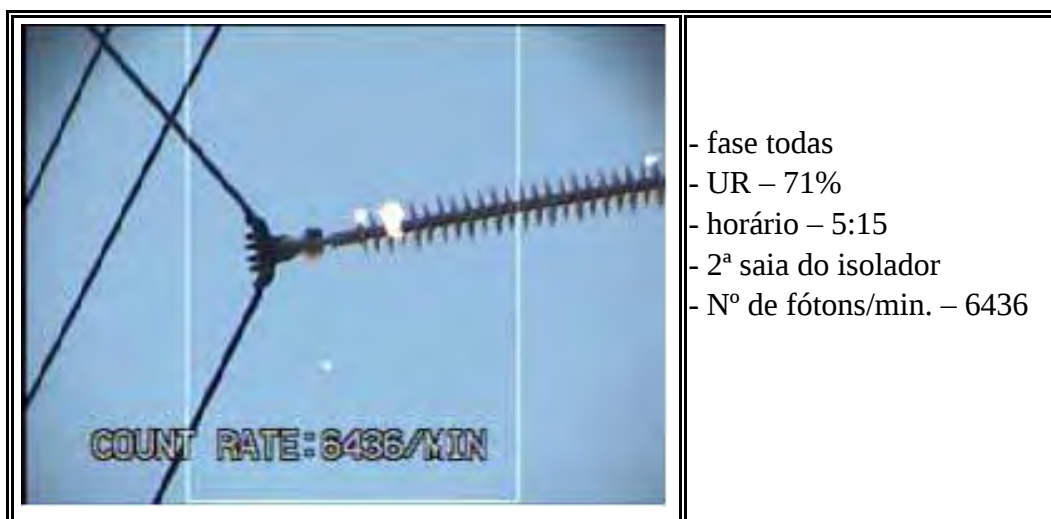


Figura 31 – Imagem de descarga corna em isolador - linha MSD/GRS – Torre 36/7.



Figura 32 – Imagem de descarga corna em isolador - linha MSD/GRS – Torre 36/8.

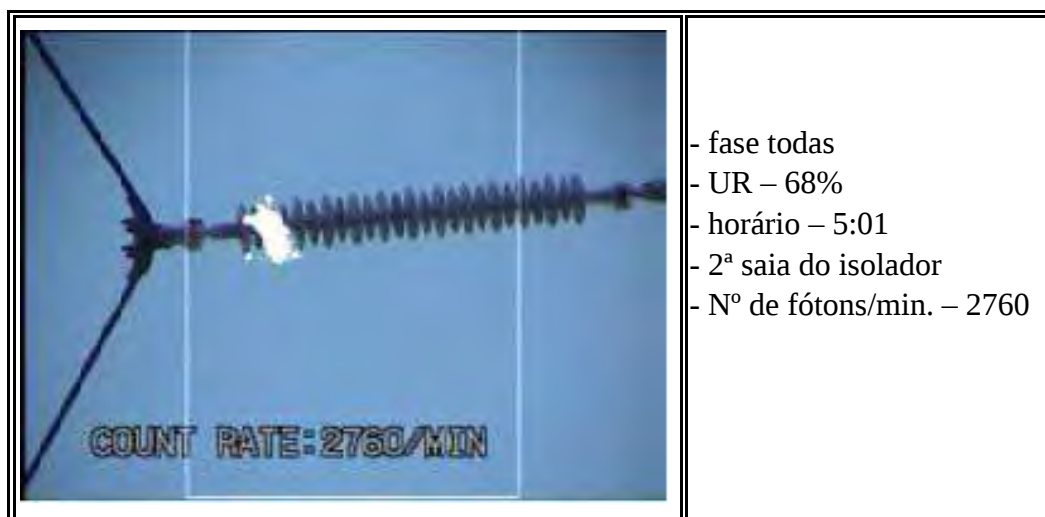


Figura 33 – Imagem de descarga corna em isolador - linha MSD/GRS – Torre 36/9.

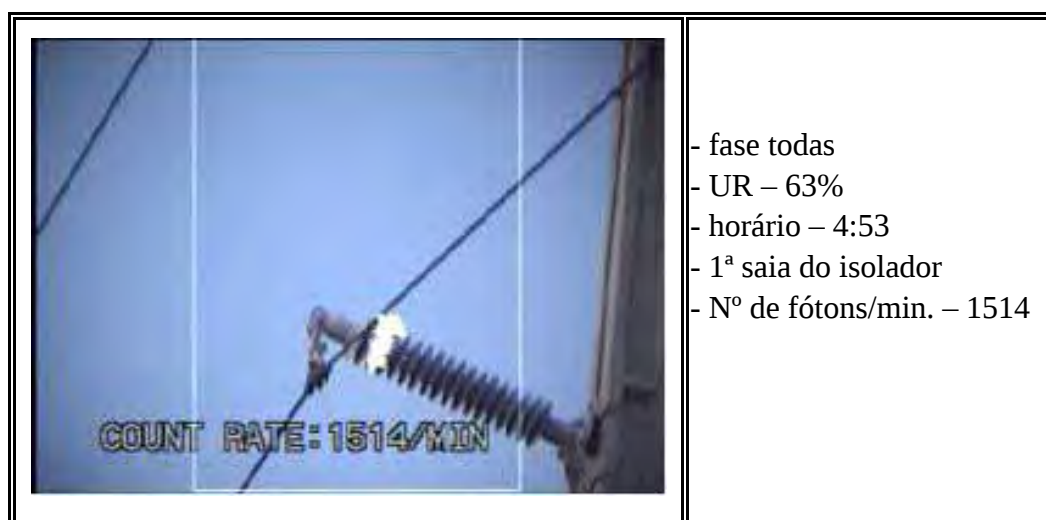


Figura 34 – Imagem de descarga corna em isolador - linha MSD/GRS – Torre 36/10.



Figura 35 – Imagem de descarga corna em isolador - linha MSD/GRS – Torre 37/1.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

6. CONCLUSÕES

Deste trabalho pode-se chegar as seguintes conclusões.

Primeiramente ficou claro a perda da hidrofobicidade do isolador polimérico quando sua superfície encontra-se coberta por uma camada de poluição, proeminentemente salínica. Isto acontece especialmente no nível inferior da cadeia de isoladores, pois a mesma é submetida a altos campos eletromagnéticos e, devido a seu posicionamento na linha, a lavagem natural que ocorreria com a presença de uma chuva forte não ocorre adequadamente. Com isso essa região pode ser considerada como a mais propícia a apresentar falhas devido a presença de efeito corona.

Posteriormente também foi possível notar que os métodos usuais de operação do equipamento Daycor II, não se adaptam de forma satisfatória às condições climáticas presentes na região de abrangência da concessionária financiadora desse estudo. Para um melhor funcionamento do equipamento, fez-se necessário operá-lo sob baixas temperaturas ambientes, inferiores a 29^o C, e alta umidade relativa do ar, acima de 75 %, condições essas obtidas entre 3:00 h e 07:30, na grande maioria dos casos. Isso implica em um certo risco operacional, tendo em vista que os terrenos nos quais se situam as linhas de transmissão, normalmente não são de fácil acesso.

Constata-se ainda que é recomendável a inspeção dos isoladores antes do período de chuvas na região. Ou seja, o período ideal de operação seria entre outubro e dezembro, o que possibilitará uma melhor detecção do efeito corona,

devido a presença de uma maior camada de poluição salínica sobre a superfície do isolador.

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAF, M. & HACKAM, R., Recovery of hydrophobicity in high density polyethylene. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRICAL INSULATION, 1998. IEEE International Symposium on Electrical Insulation p.351-354, 1998.

BOLOGNA, F. F. et al, **Light pollution and light wetting on ceramic (glass) insulators as a cause of unknown flashovers on transmission lines**, Disponível em <<http://www.corocam.com/papers.asp>> . Acesso em 20 dez. 2006.

DOS SANTOS, L. et al, As diferentes visões sobre a aplicação da termografia no sistema elétrico de Furnas e as ações adotadas para buscar a convergência entre elas, com a máxima operacionalidade, produtividade e confiabilidade do sistema. In: SEMINÁRIO DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2005, Curitiba. **Grupo XII - Grupo de estudo de aspectos técnicos e gerenciais de manutenção em instalações elétricas – GMI**. Curitiba: XVIII SNPTEE, 2005.

DUMORA, D. & PARRAUD, R., **Toughened glass insulators and composite insulators: A solution to solve the pollution problems**, Disponível em <<http://www.seves.com/pubblicazioni.php>> Acesso em 15 julho 2006.

DVORNIC, P. R., LENZ, R. W., High temperature siloxane elastomers, In: VULCANIZATION AND PROPERTIES OF POLYSILOXANE ELASTOMERS, 1990, New York. **Hüthig & Wept Verlag Basel**. New York: Vulcanization and Properties of Polysiloxane Elastomers, 1990. p. 68 – 83.

GARCIA, R. W. S. et al, Desenvolvimento de metodologia para monitoração de isoladores poliméricos. In: SEMINÁRIO DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2005, Curitiba. **Grupo III – Grupo de estudos de linha de transmissão – GLT**. Curitiba: XVIII SNPTEE, 2005.

GONZALES, E.G.C. et al;. Propriedades dielétricas de composições de silicone para uso em isoladores de Linhas de Transmissão. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2001. **Grupo III Linhas de Transmissão, GLT 009**. Campinas: XVI SNPTEE, 2001.

GORUR, R. S. et al, The electrical performance of polymeric insulation materials under accelerate ageing in a fog chamber, **IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 3, n.3, p. 1157 – 1163, 1988.

GORUR, R. S., MISHRA, J., Electrical performance of RTV silicon rubber coatings, **IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 3, n.2, p. 299 – 306, 1996.

GUBANSKI, S. M., Properties of silicone rubber housings and coatings, **IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 27, n.2, p. 374 – 382, 1992.

HILLBORG, H. & GEDDE, U. W., Hyrophobicity changes in silicone rubbers, **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, vol.6, p.703-717, 1999.

HOCH D.A., MAHATHO N. & BOLOGNA F., **Water induced discharges on transmission voltage silicone rubber insulators**. Disponível em < <http://www.corocam.com/papers.asp> > . Acesso em 20 dez. 2006..

INONE, P. C. et al, Caracterização de isoladores poliméricos envelhecidos artificialmente. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 2003. **Anais ... II CITENEL**, 2003. p 520 – 524.

KIM, S. H., CHERNEY, E.A. & HACKAM, R., Effects of Filler Level in RTV Silicone Rubber Coatings Used in HV Insulators, **IEEE Transactions on Electrical Insulation**, v.27, n.6, p.1065 - 1072, december 1992.

KINDERSBERGER, J. et al, Service performance, material design and applicaton of composite insulators with silicone rubber housing. In: CIGRÉ SC 33-303. Paris: CIGRE SC 33-303, 1996. p. 1-5.

MARTINS, A. J. C., Revestimento à base de silicone para isoladores de alta tensão. In: SEMINÁRIO DE MATERIAIS DO SETOR ELÉTRICO, 1990. **Anais...II Seminário de Materiais do Setor Elétrico**, 1990.

MELLO, D. R. et al, Avaliação do Grau de poluição em instalações de transmissão, subestações e distribuição. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 2001. **Anais ...I CITENEL**, 2001.

MELONI, A. E. et al, Análise técnico econômica da utilização de isoladores compostos, de porcelana ou de vidro em linhas de transmissão de energia elétrica. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2001. **Grupo III Linhas de Transmissão, GLT 007**. Campinas: XVI SNPTEE, 2001.

MELONI, A. E. et al, Desenvolvimento de novo isolador antipoluição com perfil aberto. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 2003. **Anais... II CITENEL**, 2003. p 67 – 72.

MOBEDJINA, M., JOHNNERFELT, B. & STENSTRÖM, L., **Design and testing of polymer-housed surge arresters**, Disponível em <
[http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/SCOT245.NSF/VerityDisplay/3F4D4730395BFF4C1256FCE00241963/\\$File/1998-10%20Abu%20Dhabi%20Cigre.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/SCOT245.NSF/VerityDisplay/3F4D4730395BFF4C1256FCE00241963/$File/1998-10%20Abu%20Dhabi%20Cigre.pdf) > . Acesso em 19 dez. 2006.

NIGRI, A. I., Desempenho de isoladores de linhas de transmissão ponto do de vista da manutenção. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 1999. **Grupo III Linhas de Transmissão, GLT 13** Foz do Iguaçu: XV SNPTEE, 1999.

SEIFERT, J. M., HUBL, W., Hydrophobicity effect of silicone housed composite insulators and its transfer to pollution layers – Design and environmental parameters influencing the hydrophobicity surface behaviour, In: IRAKLION SYPOSIUM, 2001. GREECE.

STOLPER, R., HART, J. & MAHATHO, N., **The design and evaluation of a multi-spectral imaging camera for the inspection of transmission lines and substation equipment.** Disponível em < <http://www.corocam.com/papers.asp> > . Acesso em 20 dez. 2006.

SWIFT, D. A., Hidrofobicity of silicone rubber insulators, some intriguing experimental findings, In: CIGRÉ COLLOQUIUM, 1995. Zimbabwe: CIGRÉ Colloquium, 1995, p. 33 – 95.

VOSLOO, W. L., STOLPER, R., **Daylight corona discharge observation and recording system**, ISH, 1997.
