

Ensaio para Ferramentas de Linha Viva

1

J. C. Tosin, COPEL; E. Otto Filho, COPEL; R.E. Clerise, COPEL; A. Pombeiro, COPEL
E.L.Kowalski, LACTEC; R. Robert, LACTEC, S. M de Oliveira, LACTEC; J. M. Moraes e Silva, LACTEC; G.
Pinto de Souza, LACTEC; J. Tomioka, LACTEC;
J.A. Teixeira Jr., LACTEC.

colaboração com pesquisadores do LACTEC e as melhorias

Resumo - A manutenção de redes elétricas e subestações energizadas torna-se cada vez mais importante em função da necessidade de não se interromper o fornecimento de energia elétrica, pois essas interrupções, além de prejuízos e desconforto para os consumidores também acarretam perda de receita para as concessionárias de energia.

O trabalho em linha viva depende totalmente do trabalhador que o executa e este somente estará seguro se o material que o protege for realmente eficiente. Portanto, as ferramentas usadas pelos trabalhadores tais como luvas, mangas e mantas isolantes, confeccionadas em borracha natural, e coberturas de condutores e postes, confeccionadas em plástico, devem passar por ensaios elétricos periódicos.

Muitos dos ensaios sugeridos em normas técnicas nacionais e estrangeiras, quando executados sem a observação de certos detalhes técnicos, podem submeter o material a esforços elétricos intensos, tais como aqueles provocados pelo efeito corona e também podem colocar o material em contato com ozônio (gerado pelas descargas tipo corona), altamente prejudiciais aos materiais, acelerando seu processo de degradação e envelhecimento. Esforços mecânicos excessivos em função do tipo de ensaio, acabam por facilitar o processo de ruptura do material. Os problemas citados podem causar a perda prematura da ferramenta ensaiada.

Este trabalho tem por objetivo apresentar os ensaios que vêm sendo realizados pela equipe da COPEL, em

feitas ao longo do tempo, baseadas em pesquisa, experimentação e observação.

Palavras-chave — Linha Viva, ferramentas de borracha natural, coberturas sólidas, ensaios elétricos.

I. INTRODUÇÃO

As ferramentas usadas na manutenção de linha viva são de extrema importância para os trabalhadores, pois delas depende a sua segurança e a eficiência do trabalho a ser executado.

A necessidade crescente de serviços de manutenção em redes energizadas, objetivando a redução de prejuízos às concessionárias e consumidores, tem tornado os ensaios para se avaliar as ferramentas de linha viva de fundamental importância, pois as ferramentas usadas devem garantir a integridade física do trabalhador.

Os ensaios sugeridos pelas normas técnicas nacionais [1-8] e estrangeiras [9-19] são qualitativos, onde o material ensaiado atende ou não os requisitos mínimos especificados.

Estes ensaios submetem o material a um esforço muito intenso e, muitas vezes, a não observação de detalhes, leva o material à reprovação indevida ou a sair do ensaio em condições de degradação e envelhecimento muito superiores à situação anterior ao ensaio.

Neste trabalho serão mostradas sugestões para a melhoria das condições de ensaio em algumas ferramentas, incluindo procedimentos para reduzir o efeito corona e a geração de ozônio.

II. REVISÃO DA LITERATURA

Quando são realizados ensaios em alta tensão, tende a ocorrer geração de ozônio em razão de descargas parciais tipo corona em ar. O ozônio é um gás com tempo de meia vida da ordem de 3 a 20 minutos em condições atmosféricas normais, sendo um dos mais poderosos oxidantes conhecidos [20-22]. Assim, sua interação com compostos como a borracha natural e polietileno produzem nestes um processo de oxidação acelerada, reduzindo as suas propriedades de isolamento elétrico e suas propriedades mecânicas [23,24].

Durante os ensaios em ferramentas de linha viva, muitas vezes, o mau acabamento dos eletrodos usados (geometria e existência de pontas) [19] e a presença de ar entre os

J. C. Tosin é Técnico em Manutenção Elétrica Especializado da COPEL/DIS (e-mail: jctosin@copel.com)

E. Otto Filho é Engenheiro de Obras e Manutenção da COPEL/DIS (e-mail: eduardo.otto@copel.com)

R.E.Clerise é Técnico em Manutenção Elétrica Pleno da COPEL/DIS (e-mail: roberto.clerisi@copel.com)

A.Pombeiro é Coordenador de Equipe COPEL (e-mail: ansel@copel.com)

E.L.Kowalski é Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, pesquisador no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC (e-mail: edemirk@lactec.org.br).

R. Robert é PhD em Física, Professor da UFPR e pesquisador no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC (e-mail: rene@lactec.org.br).

J. Tomioka é DSc em Engenharia de Materiais, e foi pesquisador no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC (e-mail: tomioka@brturbo.com.br).

G. Pinto de Souza é PhD em Física e pesquisador no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC (e-mail: gabriel@lactec.org.br).

J. M. Moraes e Silva é pesquisador no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC (e-mail: zemario@lactec.org.br).

S. Monteiro de Oliveira é Mestre em Engenharia de Materiais e pesquisador no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC (e-mail: suely@lactec.org.br).

J.A.Teixeira Jr é pesquisador no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC (e-mail: arinos@lactec.org.br).

eletrodos e o material a ser ensaiado resultam em condições ideais para gerar ozônio. Portanto, torna-se necessário, em determinados ensaios, a alteração da geometria dos eletrodos, levando a um alívio de campo elétrico em suas bordas e um melhor contato entre os eletrodos e o material ensaiado, para se evitar camadas de ar, sempre respeitando a área a ser ensaiada exigida pelas normas.

O esforço mecânico combinado com alta tensão favorece determinados mecanismos de condução que acabam por resultar no rompimento do material (breakdown) [25-27]. O esforço mecânico ocorre em alguns ensaios, como no caso de mangas isolantes e coberturas rígidas para postes. Nestes casos há necessidade da alteração da forma de ensaio, seja através da mudança dos eletrodos seja por meio de adaptações que reduzam os esforços mecânicos impostos ao material.

Trabalhos científicos [24-27] descrevem que determinados processos de condução nos materiais dielétricos são acentuados pelas descargas corona sobre a superfície do material, podendo facilitar o processo de rompimento do mesmo. Esses processos ocorrem, normalmente, nos ensaios de ferramentas de linha viva e podem levar a ferramenta ensaiada a um processo de rompimento prematuro.

III. PARTE EXPERIMENTAL

Nesta seção serão apresentados os ensaios realizados segundo normas técnicas nacionais e estrangeiras e sugestões para a sua melhoria.

A. Ensaios em Mangas Isolantes.

Os ensaios nas mangas isolantes (figura 01) de diversas classes e tipos, segundo a norma NBR 10623 e ASTM D1051, podem ser realizados segundo os processos descritos a seguir.



Figura 1: Manga Isolante de borracha natural Classe de isolamento 2, Tipo II

A.1 - Ensaio com a manga invertida

Como pode ser visto na figura 02, neste ensaio a água atua como eletrodos interno e externo.

A.2 - Ensaio com a manga em U

Ilustrado na figura 03, onde o ensaio também é realizado com eletrodos interno e externo de água, com um peso cilíndrico no meio da manga, com o objetivo de afundá-la.

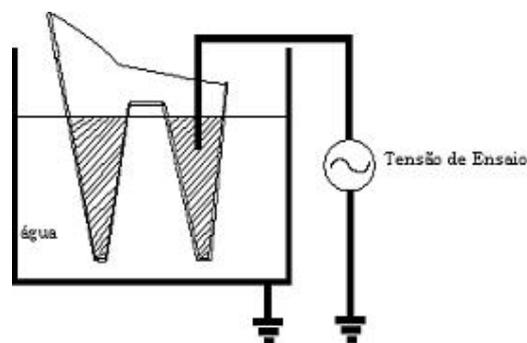


Figura 2: Ensaio de Manga com Montagem Invertida

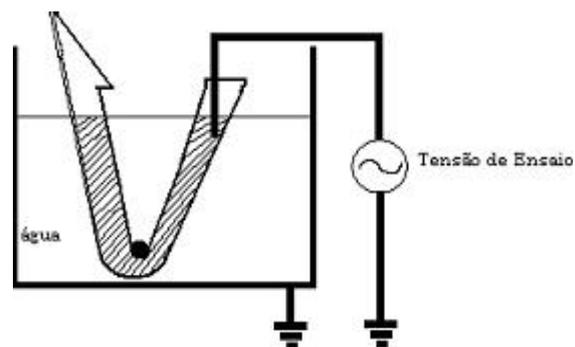


Figura 3: Ensaio de manga em U

A.3 - Ensaio com esponja molhada

Ilustrado na figura 04, onde a montagem é feita, com eletrodos interno e externo de feltro ou esponja molhada, ou com placas metálicas.

A.4 - Ensaio com a manga reta

Como pode ser visto na figura 05, neste ensaio usa-se, no fundo do recipiente, um líquido dielétrico de densidade maior que 1 e que não se mistura com a água e não reaja com o material da manga. Os punhos da manga são colocados no interior do líquido dielétrico, sendo o restante do recipiente preenchido com água, que faz a função de eletrodos interno e externo.

A.5 - Comparação sobre os métodos

Os procedimentos de ensaios descritos em A.1 e A.2, como são realizados com a manga isolante curvada, acarretam, nas regiões de dobra, um certo esforço mecânico. As dobras também alteram a configuração dos eletrodos de água, dando origem a um campo elétrico mais intenso o que juntamente com o esforço mecânico favorece a ruptura do material nessas regiões.

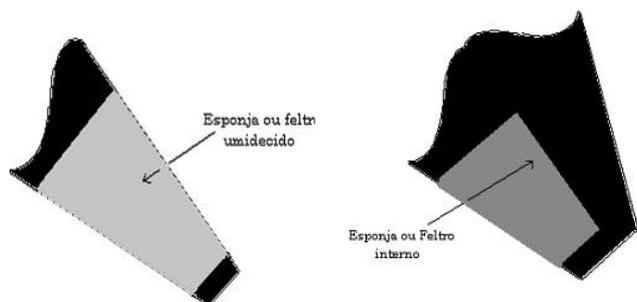


Figura 4: Ensaio de manga com esponja ou feltro molhados

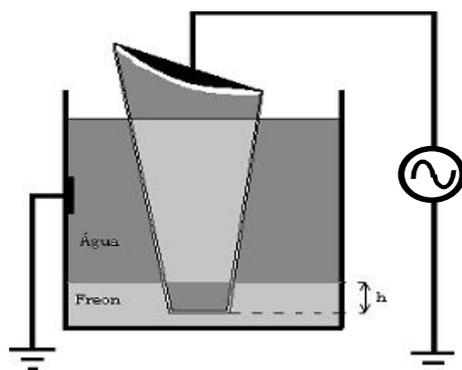


Figura 5: Ensaio com a manga reta.

Em ensaios realizados com estes procedimentos, verifica-se que a ruptura normalmente ocorre nestas regiões. Estes ensaios somente podem ser realizados com tensões de até 10 kV CA e têm como vantagem a rapidez de montagem para a realização dos ensaios.

O procedimento de ensaio descrito no item A.3 tem a vantagem de não submeter à ferramenta a esforço mecânico. Porém, submete a manga aos efeitos da geração de ozônio devido ao processo de corona e presença de ar entre os eletrodos e o material ensaiado, portanto, não podendo ser aplicado às ferramentas do "tipo I" que não resistem ao ozônio.

O procedimento de ensaio descrito em A.4 tem a vantagem de não permitir a presença de ar entre os eletrodos e a manga e de não submeter à ferramenta a esforços mecânicos. Porém, tem os inconvenientes de usar o freon HCFC 141b [28] como isolante elétrico. Este líquido tem custo elevado, perde rapidamente suas propriedades isolantes e sua eliminação deve seguir regras estabelecidas

pelos órgãos ambientais competentes. Outro detalhe importante é um inchamento que a borracha sofre ao ser colocada em contato com o freon, como pode ser visto na figura 6. Este inchamento é temporário sendo que análises químicas e mecânicas mostram que o material não perde propriedades nessa região, em relação às demais. Estão sendo realizados ensaios mecânicos e elétricos, para se verificar em longo prazo os efeitos da interação entre o freon e a borracha, pois o freon é um poderoso agente desengraxante, podendo desplastificar a borracha na região de contato.

As principais vantagens deste método de ensaio são a rapidez e praticidade.



Figura 6: Vista do punho da manga com inchamento devido ao uso do freon no ensaio.

A.6 - Nova proposta

Em função dos inconvenientes percebidos durante a realização destes diferentes procedimentos, tem-se trabalhado sobre uma nova metodologia a ser proposta para os ensaios de mangas, utilizando-se apenas água (sem freon) e sem nenhuma dobra na ferramenta. Para tanto, foram construídos alguns dispositivos especiais, como mostrados nas figuras 7 e 8.

Na figura 7 é mostrado o detalhe da peça usada para realizar a vedação do punho da manga enquanto a figura 7a mostra a peça sendo usada para a vedação do punho.

Desta forma, a ferramenta é ensaiada sem esforços mecânicos na região de ensaio, como pode ser visto na figura 8b, havendo apenas um pequeno esforço mecânico na região de vedação. Os eletrodos internos e externo são de água evitando a presença de ar e a geração de corona.

Esta forma de ensaio tem sido usada, até o momento, em ferramentas de classe de isolamento 2, com excelentes resultados se comparados aos resultados obtidos através dos demais procedimentos.

Para ferramentas de classes de isolamento 3 e 4, tem-se usado o mesmo sistema, porém com os punhos da manga vedados e expostos ao ar, como mostra a figura 9a. Na figura 9b pode-se observar o equipamento montado para a realização do ensaio.



Figura 7: Vista do sistema de vedação dos punhos da manga.

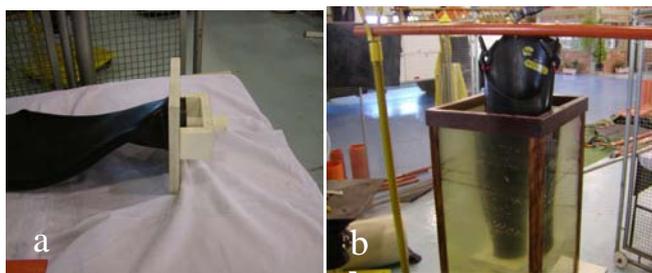


Figura 8: a: Vista da manga com o sistema de vedação de punho. Em b: Vista da manga sendo ensaiada com o método proposto.

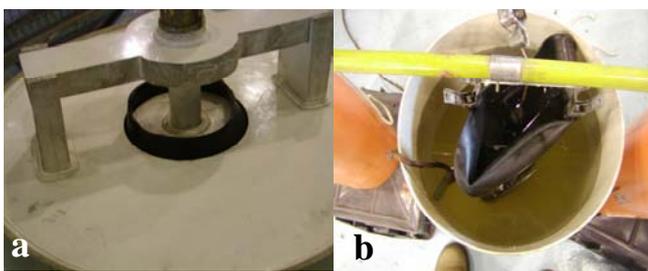


Figura 9: a: Vista do sistema de vedação dos punhos da manga para ensaio em mangas de classe 3 e 4. Em b: Vista da manga isolante para ensaio pelo método proposto para todas as classes isolantes.

Estas sugestões estão sendo testadas e até o momento têm apresentado resultados bastante promissores. Em relação ao procedimento de ensaio proposto para as classes 3 e 4, tem-se como desvantagem a demora de montagem do arranjo. Novos estudos estão sendo conduzidos para melhorar o método, tornando-o mais eficiente.

B. Ensaio em Mantas Isolantes de borracha.

As mantas isolantes de borracha classes 0,1 e 2 são testadas segundo a norma ASTM D1048 usando-se simplesmente eletrodos metálicos, como pode ser visto na figura 10a.

Utilizando-se simplesmente esses procedimentos, os ensaios em materiais até classe 2 mostram-se eficientes para avaliar as mantas. Porém, para as classes 3 e 4, além da montagem do ensaio ser demorada, o surgimento de corona e ozônio tornam-se bastante pronunciados, impedindo a sua aplicação para ferramentas do tipo I. Difícilmente consegue-se atingir,

principalmente no caso da classe 4, a tensão nominal de ensaio (40 kV) e quando se atinge esta tensão, muitas vezes não se consegue realizar o ensaio no tempo determinado pelas normas, pois o rompimento do dielétrico pelo ar, ou pelos furos que existem nas bordas das mantas, provoca a atuação da proteção da fonte de tensão.

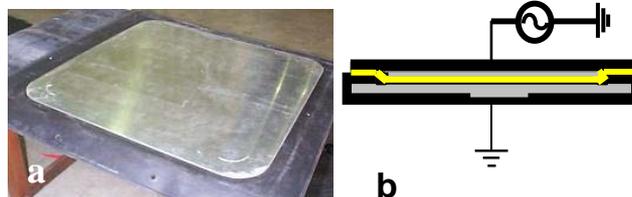


Figura 10: a: a vista do ensaio em mantas isolantes para classes até 2, tipo II, com eletrodos metálicos. Em b: ilustração mostrando o perfil para a montagem do ensaio em mantas isolantes de classes 3 e 4 (As partes em preto representam um material isolante que serve como moldura; as partes em cinza representam os eletrodos e a parte em amarelo a manta a ser ensaiada).

Para estes ensaios (classes 3 e 4), a sugestão que vem sendo trabalhada é mostrada na figura 11.



Figura 11: Vista do eletrodo confeccionado para o ensaio em mantas isolantes.

Neste sistema têm-se os dois eletrodos metálicos com bordas arredondadas e preenchidas com uma resina isolante. A forma da peça permite que o lençol ensaiado esteja somente entre os eletrodos, com uma presença de ar bastante reduzida, diminuindo assim a geração de corona e conseqüentemente a produção de ozônio. Esta melhoria também é devida ao alívio de campo elétrico feito nos eletrodos e por estes estarem preenchidos com a resina isolante em suas bordas e em seu interior. Com esta geometria de eletrodos têm-se ensaiado ferramentas de classe 3 e 4 com boa eficiência.

C. Ensaio em coberturas sólidas de condutores.

As normas técnicas nacionais e estrangeiras NBR 11855, NBR 11856, NBR 5405, ASTM D149, ASTM F712, ASTM F968 e ASTM F478 sugerem que estes ensaios sejam realizados com eletrodos internos na forma cilíndrica, com diâmetro estabelecido em função da classe de isolamento da ferramenta. O eletrodo externo pode ser confeccionado de chapas metálicas ou de espuma ou feltro embebido em solução salina. Da mesma forma que para ferramentas de

borracha, percebe-se, na realização destes ensaios, que o principal problema é a geração de ozônio e a presença de corona, em função da presença de ar entre os eletrodos e as ferramentas ensaiadas, como pode ser visto na figura 12. Muitas vezes, devido à corona, ocorre centelhamento sobre a superfície da ferramenta ensaiada, seguida do rompimento pelo ar, não permitindo que se atinja a tensão ou o tempo de ensaio.



Figura 12: Ensaio em cobertura isolante de poste mostrando o efeito de trilhamento superficial do material.

Para melhorar a qualidade dos ensaios, foi construída a peça mostrada na figura 13.

Usa-se como molde uma segunda cobertura, com uma borracha macia colada em seu interior, que serve para pressionar o eletrodo de alumínio colado sobre a borracha contra a peça a ser ensaiada. Desta forma obtém-se redução da quantidade de ar entre o eletrodo e a ferramenta e conseqüente redução da geração de corona e ozônio.

A utilização desta forma de ensaio reduz o tempo de montagem e melhora a qualidade do mesmo.



Figura 13: Vista do eletrodo externo usado no ensaio de coberturas sólidas de condutores.

D. Ensaios em coberturas sólidas para postes.

Estes ensaios são regidos pelas mesmas normas técnicas mencionadas para ensaios em cobertura de condutores e percebe-se que a grande dificuldade do ensaio reside no contato dos eletrodos com a ferramenta ensaiada. É sugerido que se utilize como eletrodo interno uma esponja embebida em solução salina e como eletrodo externo chapas metálicas ou feltro embebido em solução salina.

Para reduzir a quantidade de ar entre a ferramenta e os

eletrodos, confeccionaram-se as peças mostradas nas figuras 14 e 15.

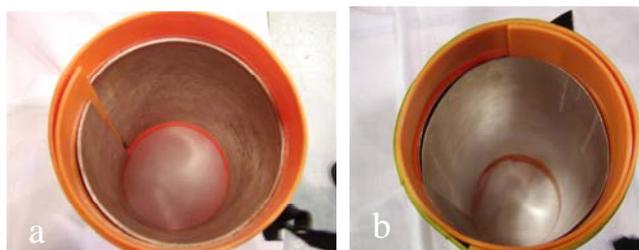


Figura 14. Em a: Vista do eletrodo interno rígido para coberturas de poste. Em b: Vista do eletrodo interno espiral para o ensaio em cobertura rígida de poste.

Neste ensaio proposto, o eletrodo interno da cobertura (figuras 14a e 14b) é uma espiral que se adapta naturalmente à cobertura. O eletrodo externo recebe um leve aperto, seja ele por parafuso ou com o sistema velcro (figuras 15a e 15b). Os ensaios realizados com esses eletrodos têm se mostrado eficientes, com redução considerável de geração de corona e ozônio e também com redução no tempo de montagem do arranjo para a realização dos ensaios.



Figura 15: Em a: Vista do eletrodo externo, sistema com velcro, usado nos ensaios de cobertura de poste. Em b: Vista do eletrodo externo, sistema de aperto com parafuso, usado nos ensaios de cobertura de poste.

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho procurou-se mostrar as dificuldades encontradas em ensaios com algumas ferramentas de linha viva, onde os principais problemas são a geração de ozônio e as descargas tipo corona. Estes efeitos se acentuam quando as geometrias dos eletrodos utilizados para os ensaios não são coerentes com as tensões empregadas. Também se mostrou que pequenas alterações na forma do ensaio, a fim de reduzir a presença de ar entre a amostra e os eletrodos, são altamente benéficas à ferramenta ensaiada, reduzindo os efeitos de degradação e envelhecimento acelerado da ferramenta.

Para as mangas, é proposta uma adaptação ao ensaio que reduz o esforço mecânico sobre a peça e também reduz a geração de ozônio, em relação aos ensaios propostos pelas normas técnicas.

Para os ensaios em mantas é proposta uma nova geometria de eletrodos, que melhora a qualidade do ensaio.

Pode-se perceber, através do conteúdo exposto neste trabalho, que as melhorias dos ensaios dependem,

fundamentalmente, da geometria dos eletrodos, o que reduz o efeito corona e da forma com que se os eletrodos de ensaio são adaptados à peça, o que reduz a quantidade de ar entre os eletrodos e a amostra, com a conseqüente redução na geração de ozônio. Corrigindo-se esses processos, bastante comuns quando se trabalha com alta tensão, tem-se uma melhoria acentuada na qualidade do ensaio, trazendo ao seu usuário maior segurança, bem como reduzindo prejuízos às concessionárias e empreiteiras que perdem uma menor quantidade de ferramentas durante os ensaios.

V. AGRADECIMENTOS

A equipe envolvida neste trabalho agradece à Companhia Paranaense de Energia - COPEL, ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC e à Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, pelos recursos humanos e financeiros disponibilizados.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NBR 5407/1984 - **Determinação da resistência de isolamento de materiais isolantes sólidos.**
- [2] NBR 122/1966 - **Luvas de segurança.**
- [3] NBR 10622/1989 - **Luvas isolantes de borracha.**
- [4] NBR 10623/1989 - **Mangas isolantes de borracha.**
- [5] NBR 11597/1997 - **Borracha natural - Requisitos e métodos de ensaio.**
- [6] NBR 11855/1991 - **Plataforma isolante para trabalho em redes energizadas de distribuição.**
- [7] NBR 11856/1992 - **Ferramentas e acessórios para trabalhos em redes energizadas de distribuição.**
- [8] NBR 5405/1983 - **Materiais isolantes sólidos - Determinação da rigidez dielétrica sob frequência industrial.**
- [9] ASTM D120/02 - **Standard Specification for Rubber Insulating Gloves.**
- [10] ASTM D1048/99 - **Standard Specification for Rubber Insulating Blankets.**
- [11] ASTM D1049/98 - **Standard Specification for Rubber Insulating Covers.**
- [12] ASTM D1050/90 - **Standard Specification for Rubber Insulating Line Hose.**
- [13] ASTM D1051/95 - **Standard Specification for Rubber Insulating Sleeves**
- [14] ASTM F 479/95 - **Standard Specification for In-Service Care of Insulating Blankets.**
- [15] ASTM F 496/02 - **Standard Specification for In-Service Care of Insulating Gloves and Sleeves.**
- [16] ASTM D149/97 - **Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies.**
- [17] ASTM F 712/95 - **Standard Test Methods for Electrically Insulating Plastic Guard Equipment for Protection of Workers.**
- [18] ASTM F 968/93 - **Standard Specification for Electrically Insulating Plastic Guard Equipment for Protection of Workers.**
- [19] ASTM F 478/92 - **Standard Specification for in - Service Care of Insulating Line Hose and Covers.**
- [20] Waterwise Technology Limited - **Ozone - Treatment of Pharmaceutical Process Water;** Technical Data Sheet 2001.
- [21] Barth, M. M.; Zhou, C.; Mercier, J.; Payne, F. A. - **Ozone storage effects on anthocyanin content and fungal growth in blackberries;** Journal of Food Science 60:1286-1288; 1995.
- [22] Beltran, F. J.; Encinar, J. M.; Gonzalez, J. F. - **Industrial wastewater advanced oxidation: Part 2. Ozone combined with hydrogen peroxide or UV radiation;** Water Research, 31: 2415-2428; 1997.
- [23] Budemberg, E. R. - **Fundamentos à Formulação da Borracha –** Budemberg Tecnologia de Elastômeros.
- [24] Aceves, J. M. - **Envejecimiento acelerado de polímeros y su interpretación.** Artículos Técnicos, Boletín Lie, pp 327-329, septiembre/octubre 1982.
- [25] Dieter King and Hermann Karner - **High – Voltage Insulation Technology;** Friedr. Vieweg&Sohn, Braunschweig, Wiesbaden, Germany; 1985.
- [26] The Institute of Physics Bristol and London - **Physics of Dielectric Solids. Conference Series Number 58;** Edited by CHL Goodman; 1980.
- [27] Ku, C. C.; Liepins, R. - **Electrical Properties of Polymers. Chemical Principles.** Hanser Publishers, Munich; 1987.
- [28] Dupont do Brasil - **Manual de Informações Técnicas. HCFC 141b.**