

Visão da câmara de névoa salina do equipamento para teste de trilhamento.

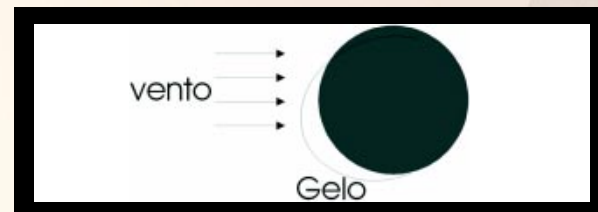


Descarga elétrica sofrida pelo cabo durante o ensaio de trilhamento.

## EFEITOS MECÂNICOS

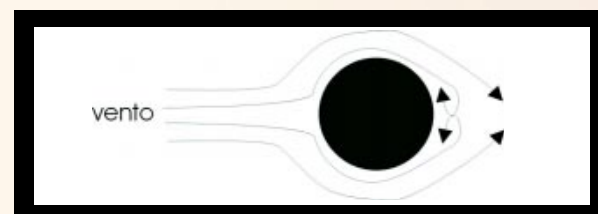
Os efeitos mecânicos sofridos pelos cabos ópticos aéreos quando instalados em longos vãos (superiores a 200 metros) são diversos. Em regiões com possibilidade de formação de gelo, ocorre o fenômeno conhecido como galope. Este fenômeno corresponde a uma oscilação de baixa frequência e de grande amplitude. Conforme o comprimento do vão, a amplitude de oscilação vertical alcança vários metros, introduzindo perigosos esforços destrutivos nos cabos e principalmente nos acessórios de fixação. O galope ocorre somente nos trechos onde o cabo é fixado com grampos de suspensão. No vão ancorado, a oscilação limita-se somente a este e geralmente não ocorre maiores danos.

A ocorrência desse efeito depende das condições ambientais onde o cabo será instalado como temperatura baixa e incidência de vento. Vale destacar que não é necessário formação de neve, bastando temperaturas baixas capazes de formar gelo na superfície do cabo. O vento atuando sobre o gelo no cabo forma uma gota, possibilitando o efeito asa que inicia o galope, ocasionado por uma instabilidade aerodinâmica.



Efeito do galope nos cabos aéreos.

Outro efeito é o de vibração eólica, que ocorre constantemente em cabos aéreos de seção circular. Dependendo das características do cabo e condições ambientais, a vibração pode atingir níveis extremamente severos. A vibração é causada por um fluxo de vento laminar em torno do cabo, com velocidades entre 2 e 35 km/h, que geralmente ocorrem em terrenos planos ou levemente ondulados. Essas vibrações possuem valores de amplitude que não excedem o diâmetro do cabo, ocorrendo flexões alternadas de pequenas amplitudes nos pontos de suspensão do cabo, causando esforços que podem levar à ruptura do cabo e seus acessórios por fadiga.



Fluxo de ar responsável pelo efeito de vibração eólica.

Resumo do trabalho apresentado no 48th International Wire and Cable Symposium (IWCS) por Alexandre Machado Simião - Engenharia de Desenvolvimento de Produtos. Escolhido como melhor trabalho da seção de cabos aéreos.

A partir de 1994 a Furukawa, líder no segmento de telecomunicações, desenvolveu os cabos ópticos aéreos totalmente dielétricos em linhas de transmissão. A instalação deste cabo ocorreu na cidade de São Paulo em linhas de 138 e 230 kV e vãos de até 300 metros, através de um acordo firmado com a Eletropaulo. O ambiente onde este cabo está instalado é extremamente severo, agregando poluição e umidade, elementos que propiciam o efeito do trilhamento e da erosão, como poderá ser visto com maiores detalhes neste artigo. A Furukawa também desenvolveu estes cabos para uso em longos vãos, ou seja, vãos maiores de 200 metros, para utilização em todas as condições encontradas no Brasil. Com isso, os cabos desenvolvidos podem ser instalados em vãos de até 1500 metros, com as mesmas considerações de flecha, temperatura e ventos dos cabos condutores. Visando a avaliação em condições reais deste cabo, a Furukawa instalou na cidade de Cruz Machado, interior do estado do Paraná, um cabo em uma linha de 230 kV e vão de 1137 metros. Nesta instalação o cabo está sujeito a grandes esforços mecânicos, além de estar submetido a elevados valores de campo elétrico.

## INSTALAÇÃO DE CABOS ÓPTICOS AÉREOS AUTO-SUSTENTADOS DIELÉTRICOS RESISTENTES AO TRILHAMENTO

Visando a validação dos ensaios realizados em laboratório, estes cabos foram instalados em linhas de até 230 kV, onde estão submetidos continuamente a campos elétricos de até 28 kV. Na cidade de São Paulo este cabo foi instalado em linhas de 138 e 230 kV em vãos de até 300 metros. O ambiente onde este cabo está instalado é extremamente severo, agregando poluição e umidade, elementos que propiciam o efeito do trilhamento e da erosão. Esta instalação encontra-se atualmente em operação, não sendo constatado qualquer dano que pudesse ocasionar interrupção do enlace. Periodicamente tem-se verificado a superfície do cabo para avaliação do efeito do trilhamento não sendo encontrado qualquer dano proveniente do efeito do trilhamento ou erosão.

Em Cruz Machado (interior do estado do Paraná) também foi instalado este cabo há mais de 1 ano, em um vão único de 1137 metros e uma linha de transmissão de 230 kV. O cabo está localizado próximo às fases para maximizar o efeito do trilhamento. Periodicamente tem-se monitorado a superfície do cabo, a atenuação óptica e a flecha (avaliação da fluência). Até o momento nenhuma variação ou dano foram observados.



Cabo aéreo auto-sustentado em linhas de transmissão de 230 kV.



Cabo aéreo instalado em um vão de 1137 metros.

*A rapidez, facilidade de instalação e de manutenção, confiabilidade e menor custo são vantagens competitivas dos cabos ópticos aéreos quando comparados às demais soluções. O desenvolvimento do cabo óptico para instalação em linhas de transmissão oferece às empresas de telecomunicações e provedores de infra-estrutura serviços em prazos menores e custos mais reduzidos.*

**FURUKAWA**

**CENTRAL DE SERVIÇO AO CLIENTE:**  
**0800 41-2100**  
**www.furukawa.com.br**

**CENTROS DE GERAÇÃO DE NEGÓCIOS:**

**BELO HORIZONTE - MG**  
Rua Araguari, 358 - 19º andar  
Barro Preto - CEP: 30190-110 - MG  
Tel.: (31) 3295-0591 - Fax.: (31) 3295-5740

**RECIFE-PE**  
Rua Jamaica, 71  
Imbiribeira - CEP: 51200-070 - PE  
Tel.: (81) 3339-4177 - Fax.: (81) 3339-4637

**REGIONAL SUL:**  
**CURITIBA-PR**  
Rua Hasdrubal Bellegard, 820  
Cidade Industrial - CEP: 81450-140 - PR  
Tel.: (41) 341-4297 - Fax.: (41) 341-4203

**PORTO ALEGRE - RS**  
Rua Ernesto da Fontoura, 1479 - cj. 801  
São Geraldo - CEP: 90230-180 - RS  
Tel.: (51) 337-5533 - Fax.: (51) 337-5492

**RIO DE JANEIRO - RJ**  
Av. Rio Branco, 45 - salas 1313/1314 - 13º andar  
Centro - CEP: 20009-003 - RJ  
Tel.: (21) 516-3905 Fax.: (21) 518-3421

**SALVADOR - BA**  
Av. Tancredo Neves, s/nº - Bl. A - sala 504  
Centro Empresarial Iguatemi I  
CEP: 41826-900 - BA  
Tel.: (71) 450-4818 - Fax.: (71) 450-9546

**SÃO PAULO - SP**  
Rua Afonso Brás, 413  
Vila Nova Conceição - CEP: 04511-900 - SP  
Tel.: (11) 3848-4700 - Fax: (11) 3848-4848

**MATRIZ:**  
**CURITIBA-PR**  
Rua Hasdrubal Bellegard, 820  
Cidade Industrial - CEP: 81450-140 - PR  
Tel.: (41) 341-4200 - Fax: (41) 341-4141

**CENTROS DE PRODUÇÃO:**  
**CURITIBA - PR**  
Rua Hasdrubal Bellegard, 820  
Cidade Industrial - CEP: 81450-140 - PR  
Tel.: (41) 341-4200 - Fax: (41) 341-4141

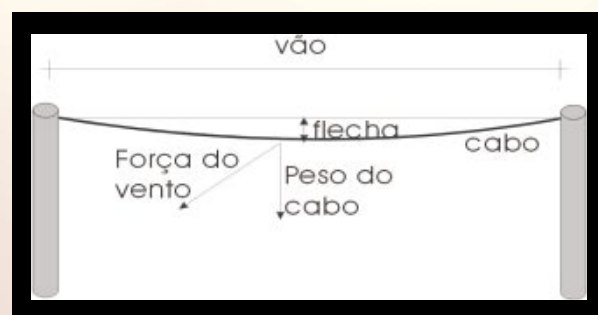
**LORENA - SP**  
Rodovia Presidente Dutra Km 55,5  
CEP: 12600-000 - SP  
Tel.: (12) 550-2000 - Fax.: (12) 553-1933

## CABOS ÓPTICOS AÉREOS AUTO-SUSTENTADOS

São aplicados em redes de fibras ópticas e possuem diversas vantagens em relação às outras alternativas: alto rendimento de instalação, baixo custo efetivo e fácil manutenção em caso de dano no enlace.

Durante todo o tempo de vida útil de um cabo aéreo, esforços mecânicos estarão presentes. Esta força de tração causa o alongamento do cabo, sendo a principal característica no projeto de cabos aéreos o controle deste alongamento. O esforço constante ou carga de instalação é responsável pela sustentação do cabo e depende do vão, da flecha, do peso e da quantidade e das características dos elementos de reforço do cabo. Os esforços variáveis que compõem a carga máxima de operação dependem das condições ambientais como a velocidade do vento e a variação de temperatura.

A figura seguinte define algumas variáveis em um cabo aéreo instalado.

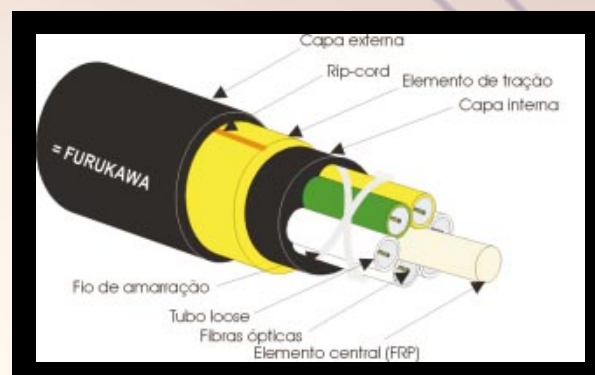


Desenho esquemático de um cabo aéreo instalado auto-sustentado.

Os cabos aéreos exigem um projeto que deve combinar alta resistência mecânica com o menor peso e diâmetro possíveis. Ao mesmo tempo, devem garantir total proteção às fibras ópticas para que estas não sofram esforços durante o alongamento do cabo, caso contrário, o seu tempo de vida útil seria reduzido.

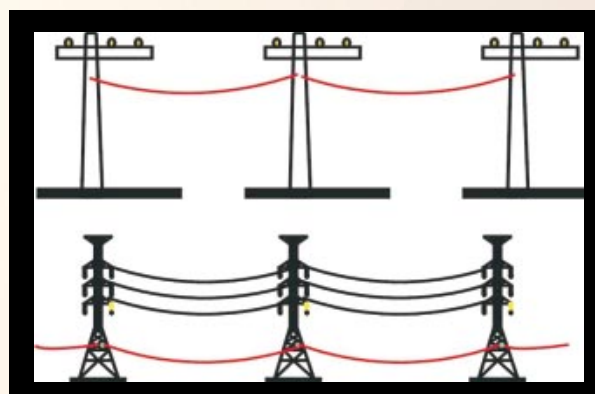
Quanto às características de projeto dos cabos ópticos aéreos, também é importante o conhecimento das condições climáticas da região onde será instalado, como a temperatura mínima e máxima da região e a máxima incidência de vento.

A construção do cabo óptico aéreo é detalhado na figura seguinte.



Componentes do cabo óptico aéreo dielétrico auto-sustentado.

Os cabos para longos vãos podem ser instalados em torres de transmissão de alta tensão, utilizando a infra-estrutura das Companhias de Energia disponíveis ou em posteamento próprio, conforme a figura seguinte.



## EFEITOS ELÉTRICOS

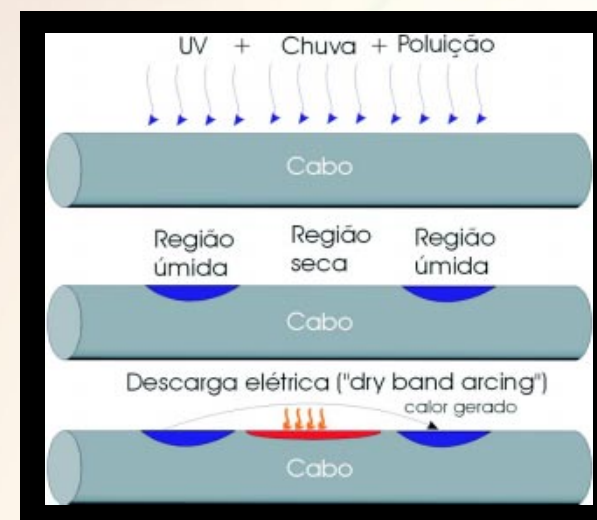
Os cabos ópticos aéreos, quando instalados em linhas de transmissão, estão submetidos continuamente a campos elétricos. Devido a este campo, a diferença de potencial na superfície do cabo pode gerar uma descarga elétrica que, em certas condições, degrada a capa externa e, em alguns casos, os elementos de reforço.

A degradação do encapsamento ocorre através de:

**Trilhamento elétrico:** processo que produz trilhas ("tracks") como resultado da ação de descargas elétricas próximas ou na superfície da capa externa.  
**Erosão elétrica:** desgaste progressivo da capa externa devido a ação de descargas elétricas.

Visando o melhor entendimento deste fenômeno, devemos analisá-lo desde o início da instalação do cabo, onde o campo induzido não produz qualquer efeito no

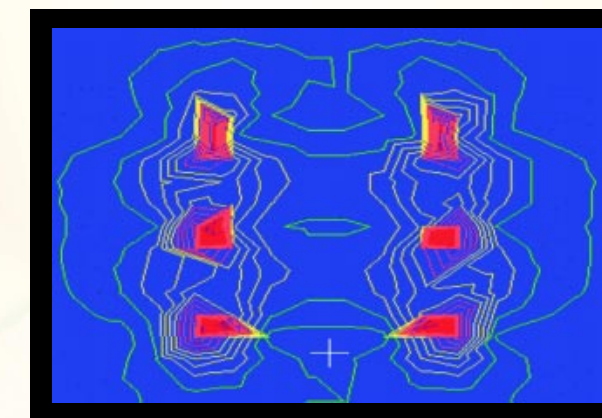
cabo óptico. Ao longo do tempo, devido a ação de agentes externos como a radiação ultravioleta e poluentes, há o aparecimento de depósitos de contaminações ao longo da superfície do cabo. Quando ocorre o término de incidência de chuva no cabo, as regiões com maiores depósitos de contaminantes permanecerão úmidas por um período de tempo maior que as regiões sem contaminantes. Como a densidade de corrente aumenta do meio do vão em direção à torre, criam-se regiões de alta condutividade (regiões úmidas) intercaladas por regiões de baixa condutividade (regiões secas). Como consequência, a diferença de potencial entre uma região úmida e outra seca ("dry band"), gera uma descarga elétrica sobre estas regiões. O calor proveniente desta descarga elétrica é extremamente danoso ao material de capa do cabo, principalmente quando a sua intensidade e a sua localização são estáveis. Na superfície do material de capa, a temperatura do arco pode atingir valores de até 400°C. Esta temperatura é suficiente para fundir o material e, ao longo do tempo, expor os elementos de reforço à radiação ultravioleta, degradando as características mecânicas do cabo.



Princípio do trilhamento que ocorre em cabos dielétricos instalados em linhas de transmissão.

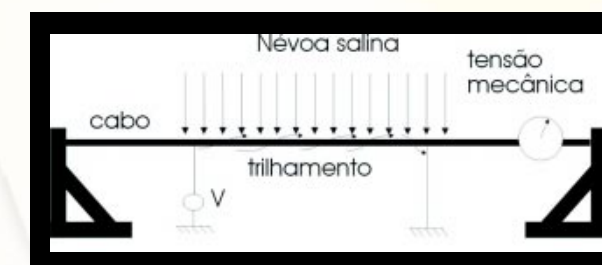
O potencial de 10 kV na superfície do cabo é pré-requisito para a ocorrência deste fenômeno elétrico, considerando que os maiores danos ocorrem com o aumento deste valor. Para minimizar estes fenômenos elétricos, é desejável que o cabo seja instalado em uma posição de menor campo elétrico possível. Para isto, existem modelos matemáticos capazes de calcular as linhas equipotenciais em um plano perpendicular ao cabo. Através destes cálculos podemos definir a melhor localização do ponto de fixação do cabo na torre. A figura a seguir representa as linhas equipotenciais em uma torre

de circuito duplo, onde as regiões entre os condutores de menor campo são propícias para a instalação do cabo.



Campos equipotenciais em uma seção transversal dos cabos condutores no meio do vão.

Outra maneira de minimizar o fenômeno elétrico é utilizar um material de capa resistente a este tipo de degradação. A Furukawa utiliza um material de capa externa resistente aos efeitos elétricos sobre o cabo nos campos induzidos calculados de acordo com a tensão e a geometria da linha, estando este material atualmente limitado ao potencial no meio do vão de 25 kV. Existem diversos métodos de ensaios para a verificação da resistência ao trilhamento elétrico e à erosão propostos em todo o mundo. O teste de trilhamento aceito mundialmente é o ensaio realizado segundo a norma IEEE P1222 (draft). Neste teste, o cabo está sujeito continuamente a uma névoa salina enquanto é energizado através de uma voltagem controlada. O cabo é fixado através dos seus acessórios de ancoragem com a sua carga de instalação. Os eletrodos são fixados no cabo de modo que a distância entre eles corresponda a 25 mm/kV.



Montagem do teste de trilhamento de acordo com a especificação IEEE P1222 (draft).

No topo da câmara de névoa salina são colocados os bicos atomizadores, responsáveis pela formação da névoa. O teste é conduzido durante 1000 horas, sendo observada a cada 100 horas se a capa do cabo foi afetada. O requisito para este teste é que, após o ensaio, a espessura da capa externa não sofra uma diminuição de seu valor maior do que 50%.