

# Desenvolvimento de Novo Isolador Antipoluição com Perfil Aberto

Alexandre E. M. Meloni - CTEEP, Algacyr Morgenstern Jr. - Notos, Darcy R. de Mello - CEPEL, Mauro R. D. Maurício - Isoladores Santana e Ricardo W. S. Garcia – CEPEL

**Resumo-** O objetivo da pesquisa é desenvolver um novo isolador antipoluição para uso em linhas de transmissão (LTs) do litoral com perfil aberto, de forma que não ocorra corrosão precoce por acúmulo de maresia entre a saia e a campânula ou no pino.

**Palavras-chave—** Isolador, antipoluição, maresia, perfil aberto, corrosão.

## I. INTRODUÇÃO

A corrosão de isoladores constitui-se num dos principais problemas para as concessionárias do setor elétrico. Deve-se observar que os recursos necessários para trocar isoladores corroídos envolvem não somente os isoladores propriamente ditos, mas os recursos necessários em equipe de manutenção e equipamentos, o que resulta em custos elevados de serviços, que quase sempre são realizados em linha viva (com a LT energizada).

Diversas empresas têm relatado problemas com a corrosão de isoladores. Por ocasião dos estudos realizados pelo PROQUIP/ELETROBRÁS, por volta da metade dos anos 90, a CESP relatou a ocorrência de episódios de corrosão, principalmente no pino, em isoladores do tipo antipoluição instalados a cerca de 8 a 10 anos, em áreas de alta umidade e presença de maresia. Outras empresas relataram ocorrência de corrosão em regiões de alta umidade ou próximas ao mar, inclusive sendo registradas ocorrências de queda de condutores causadas pelo rompimento do pino de isolador de vidro. Essas ocorrências surgem em todos os níveis de tensão.

Os estudos realizados para entender o processo de corrosão mostraram que um dos principais agentes catalisadores do processo de corrosão é a poluição depositada na superfície do isolador. Não há variação no comportamento dielétrico da superfície se a camada poluente se mantém seca. Entretanto, se ocorrer um processo de umidificação que dissolva, mas não remova, os sais contidos na camada, parcial ou totalmente, pode haver a formação de arcos sobre a superfície, iniciando um processo que pode culminar com uma descarga disruptiva que pode levar ao desligamento da linha. Além disso, os arcos formados induzem um processo acelerado de corrosão, devido a formação de ozônio, que combinando com nitrogênio do ar forma ácido nítrico.

Para selecionar adequadamente um isolador para uma determinada região, diversos procedimentos devem ser executados. Inicialmente deve-se fazer a determinação dos níveis de poluição da região e depois especificar o tipo de isolador mais adequado para a mesma. Deve-se notar que diversos estudos mais recentes mostram que não basta o modelo selecionado ter um bom desempenho nos ensaios de suportabilidade à poluição, mas que o mesmo deve ter um perfil aero-

dinâmico que evite o acúmulo de poluição nas saias do isolador e um projeto que permita a formação de uma banda seca de grandes dimensões devido à corrente de fuga, mas sem ocorrência de descargas. As observações dos eletricitistas de linhas da CTEEP também corroboram a importância do perfil do isolador quanto a facilidade de corrosão.

Decidiu-se, então, desenvolver um novo isolador, de perfil aberto, com comportamento aerodinâmico que evite o acúmulo da maresia, para ser utilizado em regiões atendidas pela CTEEP com elevado índice de poluição.

## II. METODOLOGIA DA PESQUISA

A premissa principal tomada pela pesquisa é que o isolador antipoluição de vidro temperado, que possui distância de escoamento longa (igual a 370 mm), apresenta corrosão acelerada causada pela brisa marinha. Essa brisa, que é o vento de baixa velocidade e com alto teor de umidade que sopra em maior frequência, proporciona acúmulo da maresia no espaço coberto pela grande nervura das saias longas do modelo antipoluição.

Os modelos alternativos de isoladores antipoluição disponíveis no Brasil seriam os de distância de escoamento extralonga (igual a 435 mm), porém tais modelos, tanto o de vidro como o de porcelana, também possuem nervuras longas sob as saias, podendo não satisfazer ao problema de acúmulo de maresia. Em 2000 a CTEEP instalou 3600 isoladores desse modelo, cujo desempenho está em observação.

Nos últimos cinco anos a CTEEP utilizou isoladores normais (com distância de escoamento de 295 mm) nas linhas de transmissão do litoral devido a falta de isoladores antipoluição, sendo essa uma solução paliativa que trouxe péssimos resultados, com os isoladores apresentando início de corrosão com apenas 4 ou 5 anos de utilização em torres distanciadas a até 3 km da praia.

Os estudos bibliográficos e os estudos realizados no programa PROQUIP mostram que o mecanismo da corrosão dos isoladores no litoral pode ser resumido da seguinte forma: A corrosão ocorre pela deposição do sal na superfície do isolador, inclusive nas partes metálicas, que aliado a névoa acumulada no espaço entre a saia e a campânula, névoa esta que também possui alto teor de sal, proporcionam uma alta corrente de fuga. Essa corrente de fuga, por sua vez, proporciona descargas na superfície do isolador com a formação de bandas secas; essas descargas causam a formação de ozônio, que combinado ao nitrogênio, forma ácido nítrico que acelera a corrosão do isolador. Quanto mais intensa a corrente de fuga, mais numerosas e mais intensas são as descargas.

Outros mecanismos também concorrem para a corrosão do isolador, como a qualidade das zincagem e a distribuição de campo elétrico proporcionada pelo desenho do disco e das ferragens, distribuição esta que também proporciona a formação de descargas parciais. Há que se considerar, ainda, a deposição do sal sobre as superfícies metálicas do pino e campânula, que contribui para acelerar a corrosão por processo eletrolítico.

Para esta pesquisa foi definida como ponto de partida a avaliação inicial dos diversos tipos de perfis de isoladores para regiões com elevado índice de poluição, por consulta bibliográfica. Nessa etapa foram analisados diversos modelos e analisados os mecanismos da corrosão dos isoladores. A pesquisa teve como premissa manter a distância de escoamento de 370 mm (DL), o passo 146 mm e o diâmetro entre 255 mm e 280 mm, de forma que os isoladores possam ser facilmente utilizados nas linhas de transmissão existentes.

Após a seleção dos perfis adequados, serão realizadas simulações de análise computacional de dinâmica dos fluidos (CFD) dos mesmos, após a adaptação do software para abranger ventos de baixas velocidades. É importante destacar que a experiência de campo tem demonstrado que quanto mais o perfil do isolador proporciona baixas velocidades da brisa sob as saias, maior a corrosão.

Simultaneamente será realizada a fabricação dos protótipos, sendo os isoladores submetidos aos ensaios dielétricos e mecânicos normalizados de rotina e recebimento na fábrica da ISOLADORES SANTANA. Posteriormente, os isoladores foram enviados ao CEPEL para a realização dos ensaios dielétricos de unidades e de cadeias, além do ensaio de poluição artificial em cadeias.

### III. AVALIAÇÃO DOS PERFIS

#### A. Modelo de saias longas antipoluição

Esses isoladores têm apresentado corrosão precoce, com uma durabilidade média de 8 a 10 anos, pela falta de ventilação na área protegida da brisa marinha, como se observa nitidamente na figura 1, demandando alto custo de manutenção e substituição. É amplamente notado, nas inspeções das linhas de transmissão situadas a mais de 2 a 3 km da orla litorânea, que essa corrosão já ocorre em menor intensidade e quantidade, com os isoladores antipoluição atingindo durabilidade de 15 a 20 anos.

Existe ainda a desvantagem desses isoladores apresentam dificuldade na manutenção, em linha viva principalmente, devido ao pouco espaço para entrada do bastão e sua ferramenta de manejo da cupilha.

#### B. Modelos normais

Experiências de substituição dos isoladores antipoluição por isoladores comuns resultaram em problemas de intensas correntes de fuga, demonstrando inadequação dessa solução, com o aparecimento de corrosão precoce, pela grande perda de energia e pelo risco ao sistema pela formação de caminhos condutivos ou bandas secas. Os isoladores normais (linha de fuga de 295 mm) apresentam corrosão com apenas 5 anos de instalação, como se vê na figura 2.



Figura 1. Isolador antipoluição com corrosão.



Figura 2. Isolador comum com corrosão.

#### C. Modelos com pino inoxidável

Tentativa de uso de isoladores com pino inoxidável, realizada de 1980 a 1983, também não resolveu o problema, por surgimento de corrosão por sensitização do pino de aço, com apenas 3 anos de instalação, resultando na quebra do pino com grande facilidade.

O fenômeno da sensitização decorre da têmpera realizada de forma não muito bem controlada após o forjamento do pino. Sendo uma tecnologia muito cara para o emprego em isoladores, os fabricantes têm evitado fornecer isoladores de pino inoxidável, tornando inviável seu uso.

#### D. Modelos DEL

A análise do desenho dos isoladores de porcelana antipoluição tradicionais de distância extra-longa (435mm) mostra que esses isoladores também não são adequados devido a saia mais longa. A CTEEP está testando diversas unidades a apenas 2 anos no litoral, tempo insuficiente para resultados conclusivos.

#### E. Modelo com perfil extra aberto

Existe razoável desenvolvimento de isoladores disco de perfil extra-aberto (tipo prato), com diâmetro externo de 380 mm a 425 mm, específicos para emprego em desertos. A tensão suportável de impulso atmosférico é de 95 kV, o que é um pouco baixa. Esses isoladores, no entanto, podem ser inadequados para muitas das linhas de transmissão existentes no Brasil, pois necessitam de adequação dos braços devido ao grande diâmetro. Esse isolador também não deve ser empregado em áreas sujeitas ao vandalismo, o que abrange praticamente todo o litoral brasileiro, pois seu perfil é frágil e facilita as agressões.

#### F. Modelos propostos de perfis

Uma proposta nova, com isoladores antipoluição com distância de fuga de 360mm e passo 146mm, porém com perfil aberto, de forma a permitir maior ventilação, sendo que as nervuras internas devem ser otimizadas, para se evitar a formação de vórtices e acúmulo de maresia no espaço entre os discos dos isoladores nas cadeias, foi desenvolvida e vários perfis propostos foram analisados.

Após avaliação de diversos perfis propostos, selecionaram-se os seguintes protótipos:

- Perfil 1: isolador código DI-053;
- Perfil 8: isolador código PDI-15.2;
- Perfil 9: isolador código PDI-15.1.

##### F.1 Protótipo DI-053

Este perfil, mostrado na figura 3, foi desenvolvido a partir de observações da CTEEP e caracteriza-se pela maior inclinação superior, maior diâmetro e nervuras menores, com

pouca sobreposição da campânula. O diâmetro é de 280 mm e passo de 146 mm, de forma a ser intercambiável com isoladores atualmente existentes.

### F.2 Protótipo PDI-15.2

Este perfil, que pode ser visto na figura 4, foi inicialmente apresentado pela NGK Insulators no Insulator News & Market Report World Congress, na Espanha, em 1999. Esse formato, porém, tem a desvantagem de possuir passo fora do padrão de 146 mm, o que pode complicar a substituição dos isoladores em linhas de transmissão existentes. Outro problema é a necessidade de usinagem a seco para confecção das saias laterais, tornando-o mais caro.

### F.3 Protótipo PDI-15.1

Este perfil, mostrado na figura 5, foi apresentado inicialmente por Hall & Mauldin [1], tem como característica maior número de nervuras, sendo as mais próximas do pino com menores dimensões, permitindo maior ventilação. Uma desvantagem da proposta é a pequena espessura do dielétrico, que o tornaria frágil quanto às solicitações de perfuração (não passaria no ensaio de impulso perfurante). É uma proposta que deve sofrer adequação para garantia de desempenho eletromecânico nas linhas de transmissão.

## IV. ESTUDO COMPUTACIONAL DE DINÂMICA DOS FLUIDOS (CFD)

A definição da melhor geometria para o isolador antipoluição que atendesse aos requisitos de operação para aplicação em linhas de transmissão e ao mesmo tempo minimizasse os efeitos de corrosão sobre as suas partes metálicas levou em consideração um estudo do escoamento do ar passando pela cadeia de isoladores. Diversos estudos [2, 3] mostraram que o vento influi na deposição de material poluente sobre a superfície dos isoladores segundo a sua direção e intensidade, e que a localização destes poluentes sobre a superfície do isolador é também função da sua geometria. O estudo de dinâmica dos fluidos tem como objetivo se determinar uma geometria para a parte interna do isolador que, quando montado em cadeia, e sob a ação do vento, promova um escoamento do ar tal que dificultasse a deposição de poluentes.

Este estudo foi desenvolvido numericamente pelo emprego de um código computacional capaz de resolver o escoamento incompressível em três dimensões em torno dos isoladores fornecendo, como resultado para análise, vetores de velocidade do campo de escoamento, bem como suas magnitudes.

A região geográfica de interesse para a instalação dos isoladores antipoluição pela CTEEP é a região litorânea do Estado de São Paulo. Esta região apresenta velocidades médias do vento da ordem de 3,5 e 5,5 m/s para a altura de 50 m, segundo o mapa do potencial eólico da região sudeste.



Figura 3. Isolador protótipo DI-053.



Figura 4. Isolador protótipo PDI-15.2.



Figura 5. Isolador protótipo PDI-15.1.

Dado que a altura média das cadeias nas torres de 138 kV é de 25 m e considerando como uma aproximação válida a equação de correção da velocidade de vento empregada na Norma NBR-5422 [4], pode-se estimar a velocidade de vento média incidente nos isoladores como sendo de 5 m/s, que será o valor adotado nas simulações de CFD, em condições normais de temperatura e pressão.

A figura 6 apresenta a malha computacional utilizada na simulação do escoamento sobre uma cadeia de isoladores antipoluição.

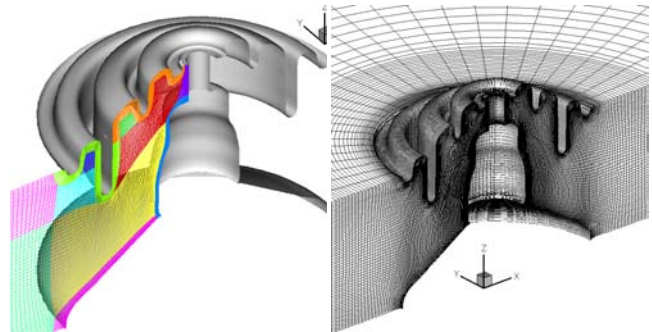


Figura 6. Malha computacional para estudo de CFD.

### A. Protótipo DI-053

A figura 7 apresenta o estudo de CFD que corresponde ao plano de incidência do vento sobre o isolador. Como neste caso as nervuras são de pouca profundidade, o vento entra no espaço entre a parte inferior e superior do isolador com pouca interferência e com a magnitude da velocidade igual à do vento incidente, exceto na região muito próxima à primeira nervura da parte inferior do isolador, onde ao se deslocar em torno da geometria sofre um aumento na magnitude da velocidade.

Este perfil apresentou características superiores àquelas do perfil antipoluição com relação à redução das áreas de ar estagnado. Também se pôde observar um aumento na magnitude da velocidade na maior parte da área coberta. No entanto ainda pode-se observar a incidência do fluxo de ar com uma intensidade significativa na região da junção da campânula com o pino do isolador. Este efeito é considerado indesejado em termos de se prevenir acúmulo de poluentes.

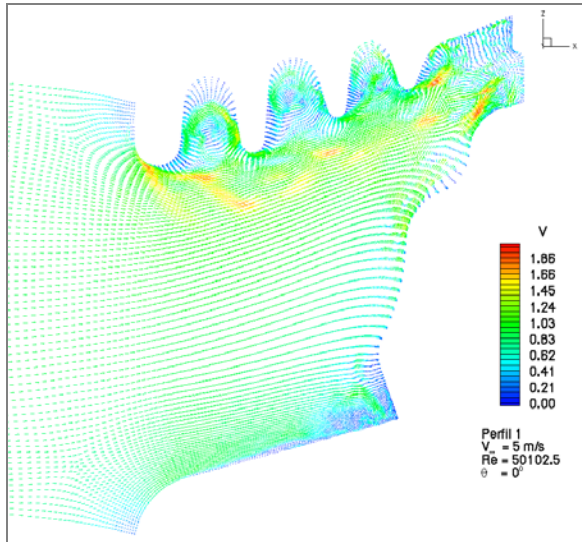


Figura 7. Simulação de CFD do protótipo DI-053.

### B. Protótipo PDI-15.2

Este isolador que se caracteriza por apresentar duas nervuras no perímetro externo do isolador e somente uma pequena nervura sobre a superfície inferior, com isso apresenta uma grande área protegida e livre de protuberâncias. A figura 8 apresenta o estudo de CFD que corresponde ao plano de incidência do vento sobre o isolador.

Como neste caso a superfície externa de frente para o vento é grande, o fluxo de ar sofre uma redução significativa da sua velocidade em frente às nervuras exteriores e nas regiões próximas às extremidades das faces superior e inferior. O fluxo de ar ao se deslocar em torno da geometria sofre um aumento na magnitude da velocidade. Na região central o vento entra no espaço entre a parte inferior e superior do isolador com pouca interferência e com a magnitude da velocidade igual à do vento incidente.

Este perfil apresentou características superiores àquelas do perfil antipoluição com relação à redução das áreas de ar estagnado. No entanto a magnitude da velocidade na maior parte da área coberta é inferior àquela protótipo DI-053. Neste caso não se observou a incidência do fluxo de ar na região da junção da campânula com o pino do isolador, que apresentou pouca movimentação de ar ao longo de todo o perímetro.

### C. Protótipo PDI-15.1

Este isolador se caracteriza por apresentar três nervuras sobre a superfície inferior do isolador sendo que a última nervura tem uma profundidade menor que as outras e está relativamente afastada do pino central. A figura 9 apresenta o estudo de CFD que corresponde ao plano de incidência do vento sobre o isolador.

Neste caso o vento entra no espaço entre a parte inferior e superior do isolador com pouca interferência e com a magnitude da velocidade igual à do vento incidente. Na região da primeira nervura da parte inferior do isolador, o ar ao se deslocar em torno da geometria sofre um aumento na magnitude da velocidade e interage com o escoamento gerado entre a primeira e segunda nervura.

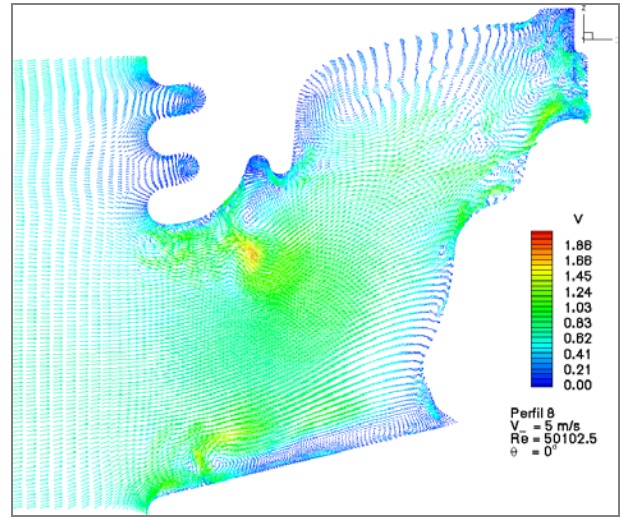


Figura 8. Simulação de CFD do protótipo PDI-15.2.

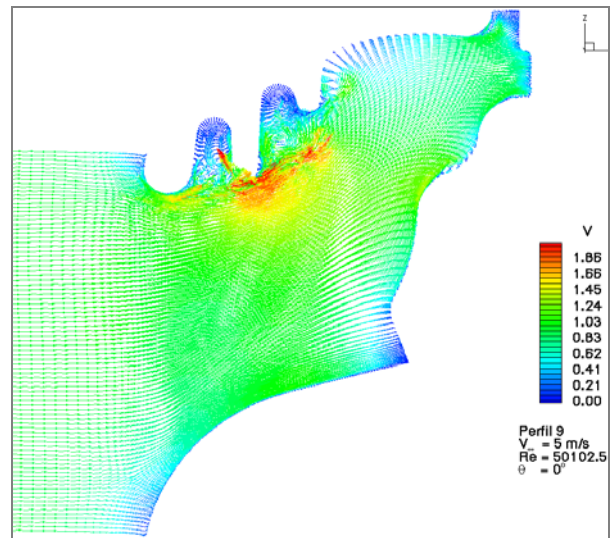


Figura 9. Simulação de CFD do protótipo PDI-15.1.

Este perfil apresentou características superiores àquelas do perfil tipo antipoluição com relação à redução das áreas de ar estagnado. Também se pôde observar um aumento na magnitude da velocidade na maior parte da área coberta sem, no entanto apresentar maior perturbação no fluxo de ar quando comparado com os outros perfis estudados. A região de ar estagnado foi a menor entre os três perfis. Dentro dos critérios adotados para a seleção do melhor perfil antipoluição, i.e., um perfil que reduza as regiões de ar estagnado, principalmente nas regiões próximas às partes metálicas do isolador, e que promova o aumento da velocidade do ar na parte coberta do isolador minimizando o surgimento de perturbações no escoamento, este protótipo é o que melhor atende a estes critérios.

### D. Isolador de vidro antipoluição DL

Como referência, foi feita a simulação do escoamento sobre um isolador do tipo antipoluição antifog de distancia de escoamento longa (DL) com o objetivo de adquirir uma melhor compreensão da natureza do efeito do escoamento sobre a deposição de poluentes, para então se poder definir um perfil com características mais favoráveis com relação à concentração de poluentes nas áreas próximas às partes metálicas do isolador. A figura 10 apresenta o estudo de CFD

que corresponde ao plano de incidência do vento sobre o isolador.

O vento entra pela parte inferior do isolador e encontra a primeira pequena nervura, originando uma estrutura vortical na sua parte interna. Continuando, o vento encontra a grande nervura que causa uma redução brusca da magnitude da velocidade seguida por uma mudança de direção no sentido da face do isolador e por um aumento expressivo da magnitude da velocidade a medida em que contorna a extremidade inferior da nervura. A região entre a grande nervura e a face superior do isolador canaliza o vento que então se desloca no sentido da campânula metálica do isolador, e ao encontrá-la reduz sua velocidade e desvia o fluxo em torno do isolador. A região atrás da grande nervura apresenta-se quase que inteiramente estagnada a menos de um pequeno deslocamento de ar proveniente do vento que atingiu a campânula do isolador e se deslocou próximo à superfície para a região inferior do isolador resultando em uma outra estrutura vortical atrás da terceira nervura. Toda a região próxima ao pino do isolador é uma região de ar estagnado.

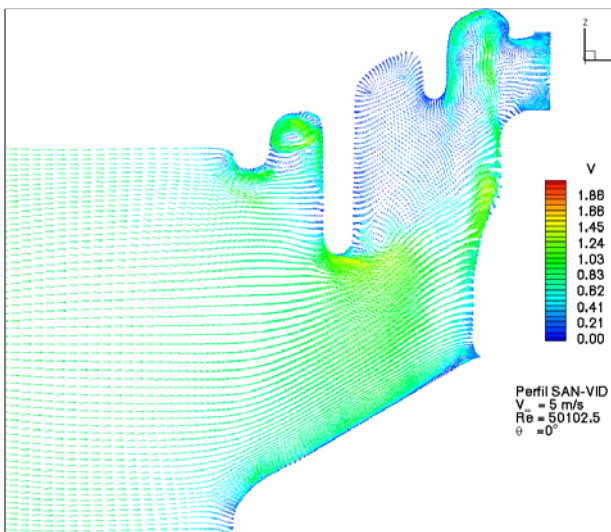


Figura 10. Simulação de CFD do isolador antipoluição.

Segundo estudo apresentado Hall e Maudin [1], a contaminação de poluentes resultante da ação do vento ocorre nas áreas da superfície do isolador contra as quais o vento incide diretamente e nas regiões de ar estagnado. Ao se comparar estes resultados com os resultados da simulação numérica do isolador antipoluição, e com observações em um isolador deste tipo retirado do campo, fica bastante clara a influência do ar estagnado na concentração de poluentes, bem como a influência da orientação de incidência do vento.

## V. ESTUDO DE CAMPO ELÉTRICO

Para o cálculo de campo elétrico foi utilizado o programa desenvolvido no CEPTEL e baseado no Método dos Elementos Finitos [5]. Considerando-se a simetria axial dos isoladores, este programa permite fazer uma análise tridimensional da distribuição de campo elétrico nos mesmos sendo que, para o estudo de cada isolador, foi considerado seu acoplamento a dois outros isoladores, um na campânula e outro no pino. Isto se deve ao fato de que as ferragens citadas alteram a distribuição de campo elétrico devido as suas proximidades. Os resultados obtidos podem ser vistos nas figuras 11 a 13.

Os estudos de campo elétrico mostram que os protótipos PDI-15.1 e PDI-15.2 apresentam melhor distribuição do que o DI-053 na região entre o pino e campânula do isolador inferior e a região entre as saias, o que se explica pelo afastamento das nervuras em relação ao pino.

Nas cabeças os comportamentos são similares para os protótipos PDI-15.1 e PDI-15.2, já que o desenho da própria cabeça, do pino e da campânula é idêntico nos três protótipos. O protótipo DI-053 apresentou resultados piores devido à própria distribuição de potencial da cadeia que resultou desse protótipo ter aumentado o potencial aplicado no primeiro isolador.

Cabe ressaltar que nesse estudo não foram levadas em consideração variações devido aos processos de fabricação ou acúmulo de materiais poluentes na porcelana.

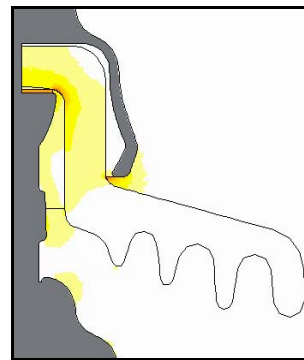


Figura 11. Estudo de campo elétrico do protótipo DI-053.

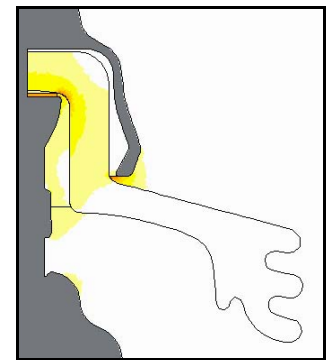


Figura 12. Estudo de campo elétrico do protótipo PDI-15.2.

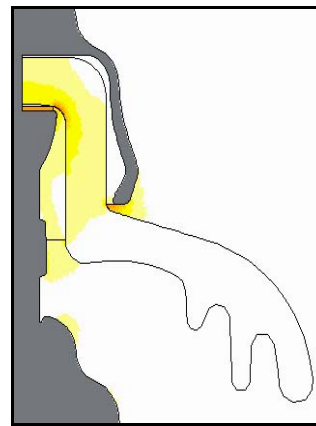


Figura 13. Estudo de campo elétrico do protótipo PDI-15.1.

## VI. AVALIAÇÃO DIELETRICA

Os resultados dos ensaios de determinação da tensão suportável de impulso atmosférico e determinação da tensão disruptiva em frequência industrial, sob chuva, realizados segundo a IEC 60383-2 [6] em cadeias com 9 isoladores protótipos podem ser vistos na tabela I. Para comparação, foi ensaiada, simultaneamente uma cadeia com 9 isoladores de porcelana comum modelo DI33C34 novos. A tabela II mostra a medição da corrente de fuga, quando aplicada tensão de frequência industrial sob chuva, nestas cadeias e a tabela III mostra o resultado do ensaio de medição da distribuição de potencial.

Foram realizados, também, ensaios de verificação da suportabilidade à poluição artificial, segundo a NBR 10621 [7] para uma tensão de 80 kV. As cadeias com isoladores

DI33C34 e PDI-15.2 não suportaram uma salinidade de 80g/l (ocorreram 2 descargas durante o ensaio). As cadeias com isoladores DI-053 e PDI-15.1 suportaram uma salinidade de 80 g/l, embora tenha ocorrido 1 descarga durante o ensaio da cadeia PDI-15.1.

Foram realizados, também, ensaios de verificação da suportabilidade à poluição artificial, segundo a NBR 10621 [7] para uma tensão de 80 kV. As cadeias com isoladores DI33C34 e PDI-15.2 não suportaram uma salinidade de 80 g/l (ocorreram 2 descargas durante o ensaio). As cadeias com isoladores DI-053 e PDI-15.1 suportaram uma salinidade de 80 g/l, embora tenha ocorrido 1 descarga durante o ensaio da cadeia PDI-15.1.

TABELA I  
RESULTADOS DOS ENSAIOS DIELÉTRICOS NAS CADEIAS COM ISOLADORES PROTÓTIPOS

Cadeia de isoladores	Impulso atmosférico (kV <sub>pico</sub> )		Frequência industrial (kV <sub>ef</sub> )
	Polaridade positiva	Polaridade negativa	
DI33C34	769	797	312
DI-053	860	828	368
PDI 15.1	870	806	351
PDI 15.2	863	792	410

TABELA II  
RESULTADOS DO ENSAIO DE CORRENTE DE FUGA NAS CADEIAS RETIRADAS PELA CTEEP

Cadeia de isoladores	Corrente de fuga (mA)			
	40 kV	60 kV	80 kV	90 kV
DI33C34	0,48	0,79	1,10	1,24
DI-053	0,57	0,88	1,18	1,35
PDI 15.1	0,47	0,74	0,93	1,10
PDI 15.2	0,62	0,93	1,35	1,42

TABELA III  
RESULTADOS DOS ENSAIOS DE DISTRIBUIÇÃO DE POTENCIAL NAS CADEIAS COM ISOLADORES PROTÓTIPOS

Cadeia de isoladores	Isolador 1 (%)	Isolador 2 (%)	Isolador 3 (%)
DI33C34	18,36	13,76	11,43
DI-053	19,73	14,77	12,56
PDI 15.1	14,93	10,43	8,60
PDI 15.2	14,48	12,50	9,80

## VII. CONCLUSÕES

### A. Estudos de CFD

As análises de CFD mostraram como o melhor perfil o PDI-15.1, seguido pelo DI-053 e, por último, o PDI-15.2. Avaliações realizadas em um isolador antipoluição, de distância longa, claramente apresentaram péssimo desempenho quanto ao acúmulo da maresia na presença de brisa e, portanto, não é um isolador adequado para linhas de transmissão situadas no litoral.

### B. Estudo de campo elétrico

Como conclusão do estudo de campo elétrico, os protótipos PDI-15.1 e PDI-15.2 têm desempenhos similares e melhores do que o protótipo DI-053.

### C. Ensaio dielétricos

Os resultados obtidos permitem indicar o isolador protótipo DI-053 como o que apresentou o melhor desempenho elétrico. O isolador protótipo PDI-15.1 apresentou bom desempenho nos ensaios dielétricos mas o fato de ter ocorrido uma descarga no ensaio de poluição artificial e os elevados valores de corrente de fuga medidos durante o ensaio nesta condição servem de alerta. O isolador protótipo PDI-15.2 apresentou bom desempenho nos ensaios dielétricos mas o fato de ter sido reprovado no ensaio de poluição artificial faz com que este protótipo seja desconsiderado para estudos futuros.

### D. Avaliação final

Os resultados da pesquisa mostraram claramente que o isolador de vidro modelo antipoluição é inconveniente para uso em locais próximos ao mar. A pesquisa conseguiu obter dois perfis que podem permitir o bom desempenho. A definição final deverá ser dada por ensaio no campo, com 12 meses de duração e com inspeção a cada 6 meses (retirada de isoladores para ensaio em laboratório e medição do nível de poluição local).

## VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. F. Hall and T. P. Mauldin. (1981, Junho). Wind studies of insulator contamination process. IEEE Transactions on Electrical Insulation, vol. EI-16, nr 3, pp 180 / 188.
- [2] Katsumi Arakawa. (2000). Advanced Insulator Technologies for the Coming Century. NGK Review, nr 24, pp 29/38.
- [3] M. Akizuki, O. Fujii, S. Ito, T. Irie and S. Nishimura. (2002). A study on anti-contamination design of suspension insulators – A stress grading insulator. Paper 0-7803-7519-X/02, IEEE.
- [4] Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica – Procedimento, NBR 5422, 1985.
- [5] Domingues, L.A.M.C., Mpalantinos Neto, A., Dart, F.C., Barbosa, C.R.N.e Mignaco, J.A. - Cálculo de campos eletrostáticos e magnetostáticos não-lineares pelo método dos elementos finitos e sua aplicação em problemas de engenharia - XIII Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, Novembro/1990.
- [6] Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1000 V, IEC 60383-2, 1993.
- [7] Isoladores - Ensaio sob poluição artificial - Método de ensaio, NBR 10621, 1990.