



TEXPI EQUIPAMENTOS LTDA

DEPARTAMENTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

CLAUDIO DA COSTA TEIXEIRA

FELIPE BAZZO

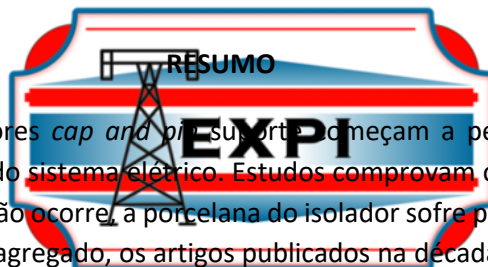
AUMENTO DA CONFIABILIDADE E SEGURANÇA DO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA BRASILEIRO ATRAVÉS DA SUBSTITUIÇÃO DE ISOLADORES SUJEITOS À EXPANSÃO DO CIMENTO

CURITIBA

2013



Distribuidor Autorizado no Brasil



Após muitos anos em linha, os isoladores *cap and pin* suporte começam a perder suas características elétrica e mecânica, diminuindo a confiabilidade do sistema elétrico. Estudos comprovam o problema com um efeito chamado expansão do cimento. Quando a expansão ocorre, a porcelana do isolador sofre pressões e rompe não sendo mais útil para seu fim. O estudo da reação álcali agregado, os artigos publicados na década de 80 sobre isoladores de disco de porcelana e as medidas tomadas por diversas concessionárias de energia, afirmam a necessidade da substituição de isoladores que usam cimento em meio à porcelana. Após análises, justifica-se o uso de isoladores de núcleo sólido como solução do problema da expansão do cimento.

PALAVRAS CHAVE: ISOLADOR DE PEDESTAL, ISOALDOR SUPORTE, ISOLDOR CAP AND PIN, ISOALDOR MULTICORPO, EXPANSÃO DO CIMENTO.

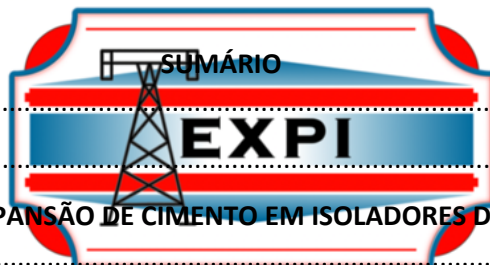
ABSTRACT

After several years operating, cap and pin support insulators presented a loss in their mechanical and electrical characteristics, putting the electrical system in a lack of reliability. Researches prove the problem though the explanation of the mechanism called cement growth. When the cement expands, the insulator porcelain suffers pressures and cracks as a consequence the insulator is not more suitable for its purpose. The alkali-aggregated reaction, articles from the eighties about porcelain disc insulators and the measures taken by several energy utilities worldwide, confirm that insulators that use cement between sheds of porcelain need to be replaced. After some analysis, it is justified the use of the solid core insulator as a solution of the cement growth problem.

KEYWORDS: SUPPORT RIGID INSULATOR, CAP AND PIN INSULATOR, MULTICONE INSULATOR, CEMENT GROWTH.



Distribuidor Autorizado no Brasil



1. INTRODUÇÃO	4
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
2.1. FALHA OCACIONADA POR EXPANSÃO DE CIMENTO EM ISOLADORES DE DISCO DE PORCELANA DE SUSPENSÃO	4
2.2. REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO	6
2.2.1. MECANISMO DE EXPANSÃO	7
2.2.2. TIPOS DE REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO	11
3. RELATOS DE EXPERIÊNCIA	12
3.1. EXPERIÊNCIA FURNAS	12
3.2. EXPERIÊNCIA DA LAPP INSULATORS	12
3.2.1. VANTAGENS DO DESENHO DO ISOLADOR DE NÚCLEO SÓLIDO	12
3.3. EXPERIÊNCIA NGK-LOCKE INSULATORS – EUA e CANADÁ	13
3.3.1. INTRODUÇÃO	13
3.3.2. OS ISOLADORES <i>CAP AND PIN</i>	13
3.3.3. A SUBSTITUIÇÃO POR UM ISOLADOR DE PEDESTAL DE NÚCLEO SÓLIDO	15
3.3.4. VANTAGENS DOS ISOLADORES DE PEDESTAL DE NÚCLEO SÓLIDO SOBRE OS <i>CAP AND PIN</i>	15
3.4. EXPERIÊNCIA COPEL	16
3.5. EXPERIÊNCIA CELESC	16
3.6. CASO VICTOR INSULATORS – SUBSTITUIÇÃO DE ISOLADORES	16
3.7. HYDRO ONE NETWORKS	17
3.7.1. 2009/2010 SUBSTITUIÇÃO DE ISOLADORES DE PEDESTAL <i>CAP AND PIN</i>	17
3.7.2. PROGRAMA DE SUBSTITUIÇÃO DE ISOLADORES	18
4. ESTADO ATUAL DO PÁIS E RISCOS	18
5. RECOMENDAÇÕES	18
6. CONCLUSÕES	19
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20



Distribuidor Autorizado no Brasil

1. INTRODUÇÃO

É clara a necessidade de um Sistema Elétrico de Potência confiável em qualquer canto do Mundo. Desde sua criação, através de pesquisas, é aprimorado seu funcionamento, seja por estratégias diferentes na distribuição da energia, seja por materiais modernos e superiores substituindo os antigos.

Quanto mais confiável a rede, melhor é qualquer serviço que dependa da energia elétrica. Quando ocorrem faltas de luz e apagões, o país sofre severamente, causando problemas econômicos, sociais, ou de qualquer outra espécie que se aplique.

Hoje o sistema brasileiro sofre com diversos problemas na confiabilidade da rede. Um dos frequentemente encontrados é a falha de isoladores em subestações. Os isoladores, após certo período de funcionamento, começam a apresentar descargas e perda de força mecânica, ocasionando falhas na rede. Podendo ser uma falta de luz regional por pouco tempo e também podendo ser um apagão dependendo da severidade do problema.

Este problema não é atual, várias concessionárias de vários países já passaram pelo mesmo problema e já aumentaram o nível de confiabilidade de seu sistema, conforme será apresentado em relatos de experiência no capítulo 3.

O isolador que mais apresenta falhas é aquele que possui cimentação entre as porcelanas. Hoje no Brasil são usados dois tipos de cimento para este fim: o cimento Portland usado em isoladores de pedestal *cap and pin* e o cimento sulfuroso, que é utilizado para isoladores multicorpo.

Com a solução já existente no mercado é proposto às concessionárias o uso de um produto alternativo a fim de melhorar a confiabilidade do sistema. Isto já foi feito em alguns países como Canadá e EUA.

Uma das causas pertinentes seria a Reação Álcali-agregado que ocorre quando o cimento está junto a porcelana. Esta reação causa o inchaço do cimento, e por fim ocorrendo trincas na porcelana.

A seguir, serão descritas experiências de companhias reconhecidas mundialmente e dados científicos de artigos que corroboram a troca de um equipamento pelo outro. O equipamento a ser proposto para uso nesses casos é o isolador monocorpo (conhecido também por *station post* ou *isolador de núcleo sólido*).

Será analisado aqui, somente o uso de cimento entre as porcelanas. Todas as outras variáveis que faz parte do desempenho do isolador foram mantidas fixas.

Por exemplo: qualidade da porcelana, galvanização das partes metálicas, tempo de cura do cimento, etc.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

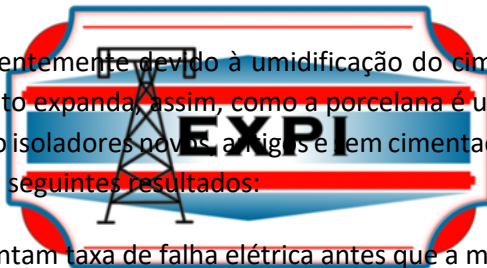
2.1. FALHA OCACIONADA POR EXPANSÃO DE CIMENTO EM ISOLADORES DE DISCO DE PORCELANA DE SUSPENSÃO [1], [2], [3]

A expansão de cimento já vem sendo estudada há anos em isoladores de porcelana *cap and pin* de pedestal e discos de suspensão. Em 1962, a LAPP preparou um documento explanatório ao fenômeno ocorrido em isoladores de pedestal e suporte que possuem cimento entre as saias.



Distribuidor Autorizado no Brasil

O motivo da expansão seria aparentemente devido à umidificação do cimento em seus anos de uso. Essa umidificação faz com que o cimento expanda, assim, como a porcelana é um material que não possui muita resistência à tração, trinca. Usando isoladores novos, a figura 1 em cimentação no pino, foi realizado o ensaio eletromecânico e obtiveram-se os seguintes resultados:



1. Isoladores novos apresentam taxa de falha elétrica antes que a mecânica em 1 % das vezes;
2. Isoladores que estavam em uso (84 isoladores que funcionaram de 1961 até 1973 – 12 anos) foram retirados da linha e testados, 90 % apresentaram falha mecânica antes da elétrica. Para estes isoladores, a carga nominal declarada pelos fabricantes era de 112 kN, sendo que a ruptura no ensaio chegou a ser tão baixo quanto 33 kN. Foi comprovado também que houve uma redução na carga nominal de ruptura das amostras em torno de 25 %;
3. Isoladores, nos quais o cimento do pino foi retirado, não tiveram problemas com a expansão do cimento (considerando aqui somente a parte do pino, na campânula, que também possui cimento, pode ocorrer – vide figura 1).

Foram testados diversos tipos de cimento, chegando-se à conclusão que os problemas de trinca da porcelana nos isoladores de disco, são devidos à expansão do cimento.

Quatro anos depois o mesmo autor do artigo estuda a relação entre a expansão do cimento com suas quantidades de MgO (Periclase) e SO₃ (Trióxido de enxofre). É descoberto que quanto maiores as taxas de MgO e SO₃, maior a expansão do cimento. Descobre-se que o SO₃ é responsável pelo inchaço inicial do cimento que funciona em curto prazo, já o MgO é responsável pela expansão a longo prazo devido à sua hidratação.

A conclusão é que a hidratação da periclase é o fator principal da expansão do cimento e que o trióxido de enxofre é um fator secundário. De acordo o autor pode-se dizer que sobre cimento para isoladores de disco de porcelana, ensaios de autoclave e observações de taxas de falha, é recomendado um limite máximo de expansão de 0,12 % da autoclave a ser utilizada no ensaio de autoclave para uso no isolador de disco.



Figura 1 - Corte lateral de um isolador de disco de porcelana com problemas de expansão de cimento. A idade do isolador é de 15 a 30 anos. [3]

2.2. REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO [4], [5]

A expansão do cimento já é estudada há anos, pois esta é uma reação típica, já observada nos quatro cantos do planeta. Os primeiros estudos foram feitos em cimentos do concreto, pois apareciam estruturas rachadas e trincadas nas construções. O nome da reação que ocasiona o crescimento do cimento chama-se Reação Álcaliagregado (RAA).

Em entrevista com o Pesquisador Kleber Franke Portella do instituto LACTEC de Curitiba [4] e um trabalho realizado sobre a expansão do cimento no concreto [5]. Descobre-se que o cimento, quando entra em contato com alguns reagentes, forma uma camada de gel fina que quando hidratada expande, logo o cimento também expande.

A explicação deste fenômeno (vide abaixo) é tomada por base de um estudo feito sobre a expansão de concretos (que ocorrem quando o cimento expande).

A reação álcali agregado (RAA) é uma reação química que ocorre internamente em estruturas de concreto. Consiste no processo em que alguns minerais reativos dos agregados reagem com hidróxidos alcalinos normalmente provenientes do cimento, resultando na formação de gel que em presença de água se expande, podendo originar fissuras (vide figura 2).

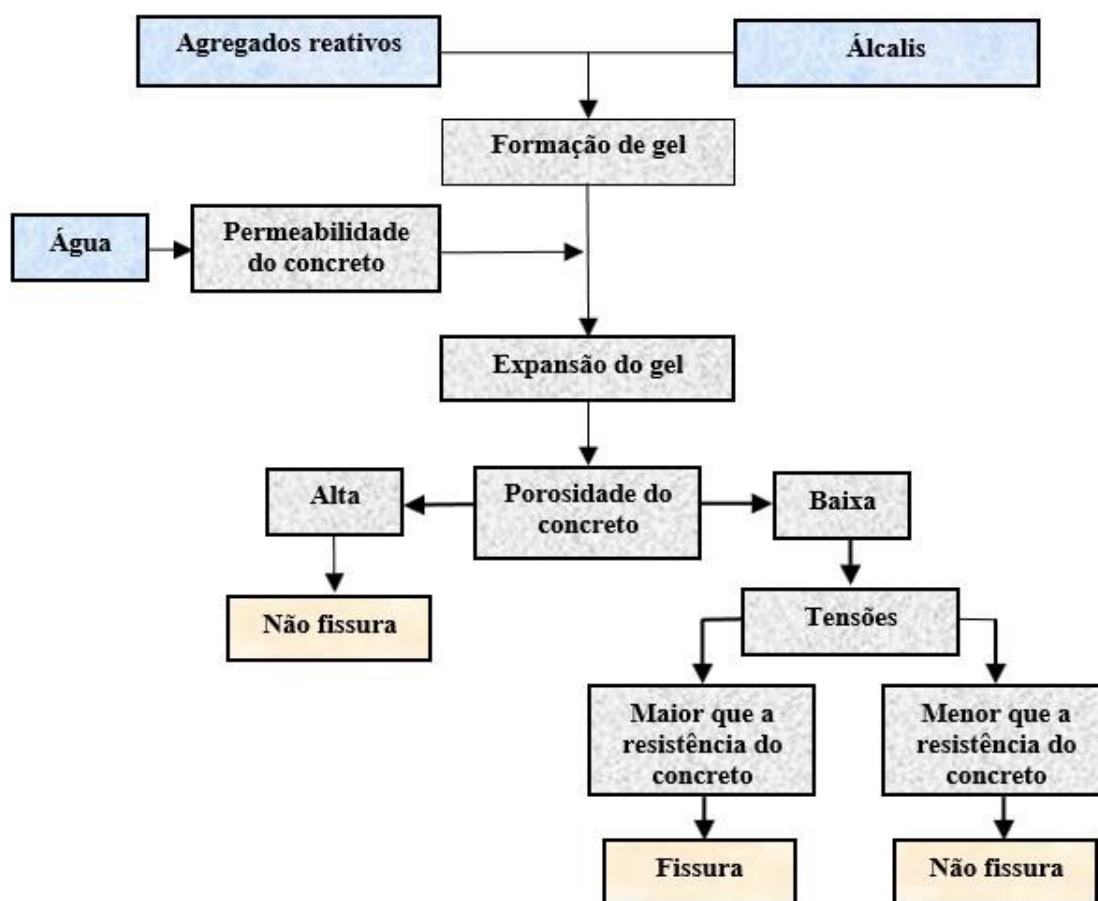


Figura 2 - Processo de reação álcali agregado (FERRARIS, 2000 apud VALDUGA, 2002).

2.2.1. MECANISMO DE EXPANSÃO



A RAA é um processo que envolve íons alcalinos, em especial o sódio (Na^+) e o potássio (K^+), derivados de frações argilosas (argila ou xisto) que provêm do cimento, íons hidroxilas (OH^-) e alguns minerais que compõem os agregados. Diamond (1975) descreve que os álcalis originados do cimento podem ser solúveis ou insolúveis. Os solúveis são encontrados nos sulfatos e os insolúveis nas fases sólidas do clínquer, podendo todos os álcalis participar da reação deletéria.

A reação álcali-agregado não ocorre em minerais com fases silicosas bem cristalizadas, mas sim com as fases silicosas microcristalinas, criptocristalinas e amorfas por apresentarem maior área de contato e estrutura desordenada.

Estão apresentadas, através da Figura 3, duas formas de arranjo atômico dos minerais na fase silicosa:

- a) Estrutura ordenada e bem cristalizada da sílica (sílica cristalina);
- b) Estrutura desordenada e mal cristalizada (sílica amorfa).

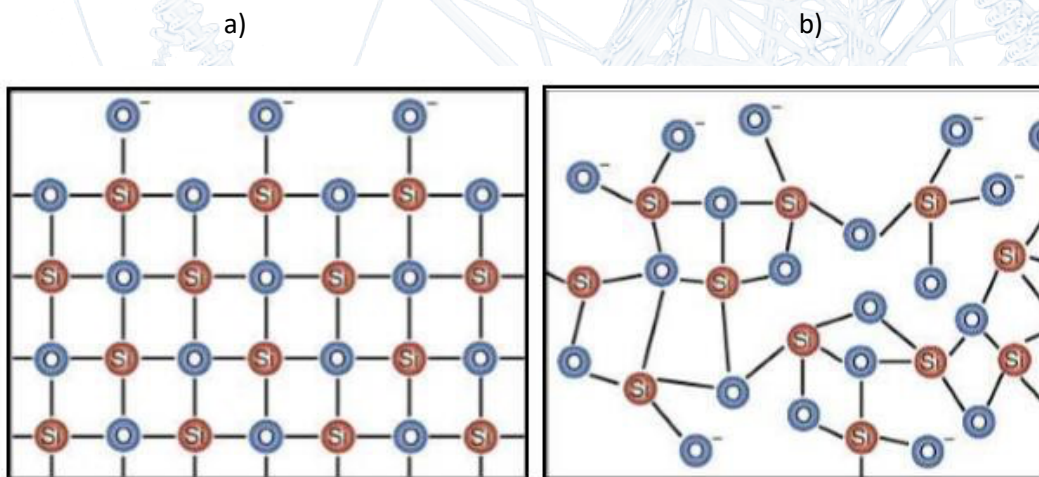


Figura 3 - Arranjo atômico dos minerais na fase silicosa com estrutura cristalina e amorfa.

Quando a sílica de um mineral é bem organizada (cadeia cristalina), os íons hidroxilas e alcalinos atacam somente na superfície externa e poucos íons de sílica passam para a fase fluida pelo fato desse processo ser lento.

Os agregados reativos presentes no concreto são cobertos pela pasta de cimento Portland e estão em contato direto com os produtos hidratados e com a solução dos poros, rica em íons dissolvidos, conforme mostra a Figura 4. Os compostos contendo álcalis, quando participam das reações de hidratação no concreto, formam produtos como etringita (C-S-H) e as fases aluminato, liberando íons hidroxila (OH^-). Os principais álcalis responsáveis pela alcalinidade da solução dos poros do concreto são o sódio (Na^+) e o potássio (K^+), sendo que estes participam nessa etapa apenas para balancear as cargas negativas.

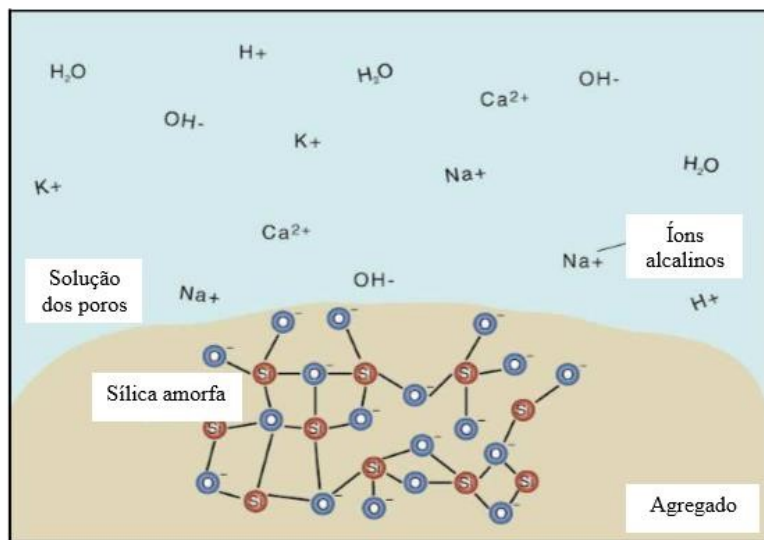


Figura 4 - Agregado na solução dos poros com fase reativa devido à estrutura desordenada.

Os íons hidroxila (OH^-) presentes na solução dos poros do concreto atacam as ligações do grupo siloxano (Si-O-Si) do agregado com fases reativas, rompendo as suas ligações e formando silanol (Si-OH), conforme mostra a Figura 5, sendo expressa através da equação abaixo:

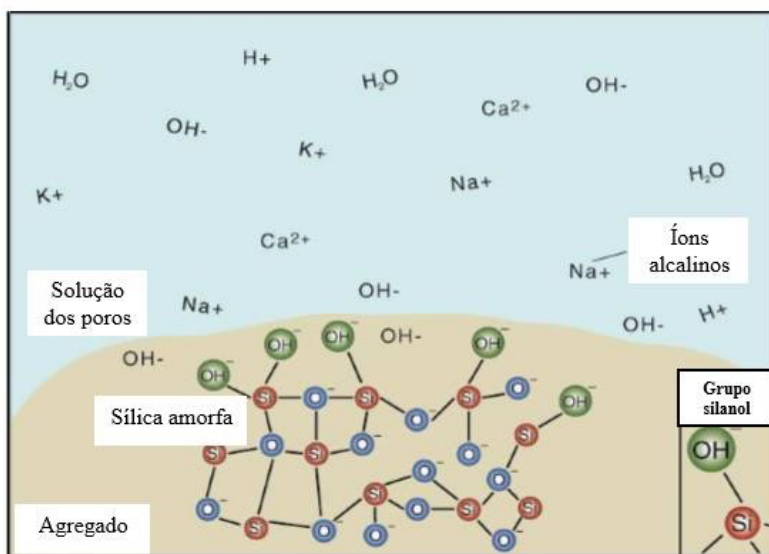
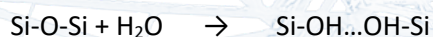
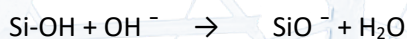


Figura 5 - Ruptura das ligações do grupo siloxano (Si-O-Si) pelos íons Hidroxila (OH^-) (COLLINS et al., 2008).

O grupo silanol (Si-OH) formado na superfície do agregado é rompido pelos íons hidroxilas (OH^-) com liberação de água, conforme a Figura 6, sendo expressa através da equação a seguir:



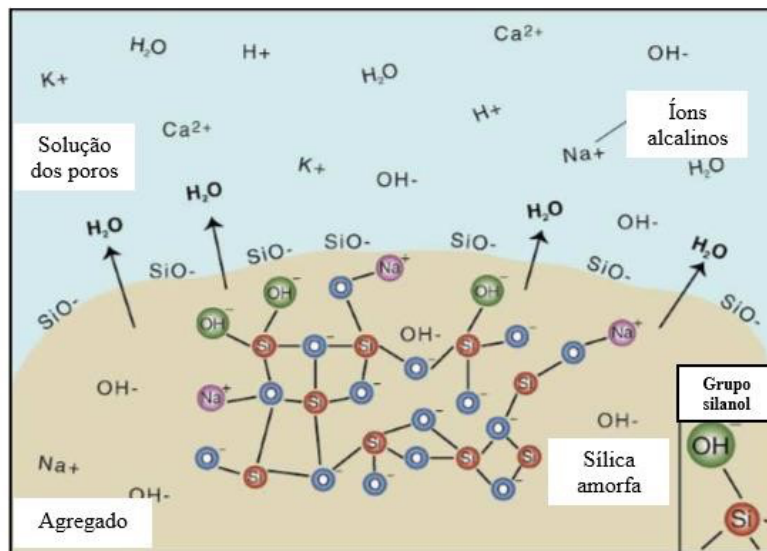


Figura 6 - Ruptura do grupo silanol (Si-OH) pelos íons hidroxila (OH⁻).

As cargas negativas criadas pelo rompimento das ligações são balanceadas pelos íons alcalinos com cargas positivas, sódio e potássio. Os íons SiO⁻ liberados, passam a ser atraídos pelos cátions alcalinos da solução dos poros, formando um gel sílico-alcalino, conforme mostra a Figura 7 e a equação abaixo:

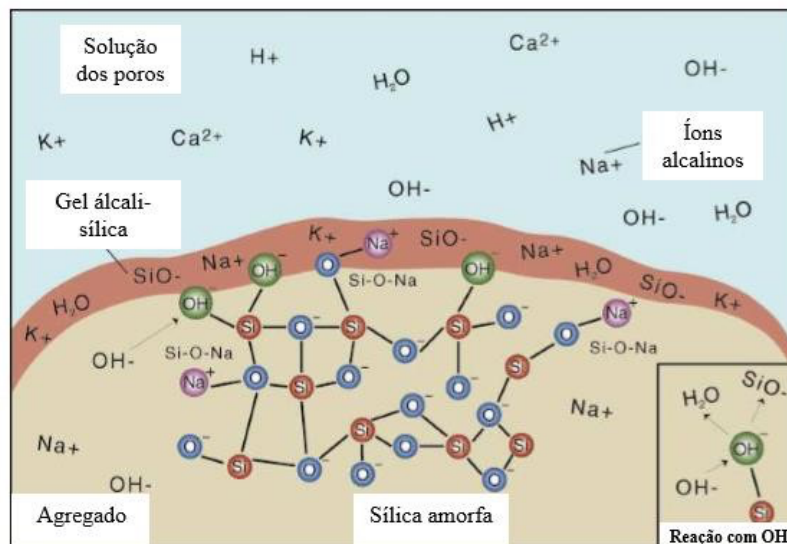
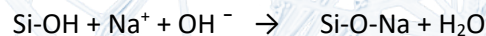


Figura 7 - Atração do SiO⁻ e cátions alcalinos formando gel sílico alcalino ao redor do agregado.

O gel alcalino formado absorve água e não pode se expandir livremente, porque está restringido pela pasta de cimento. O gel em expansão provoca tensões de tração (Figura 8) e as fissuras no concreto ocorrerão quando a pressão exercida em determinado local pela reação expansiva exceder a resistência à tração da partícula de agregado ou da pasta de cimento.

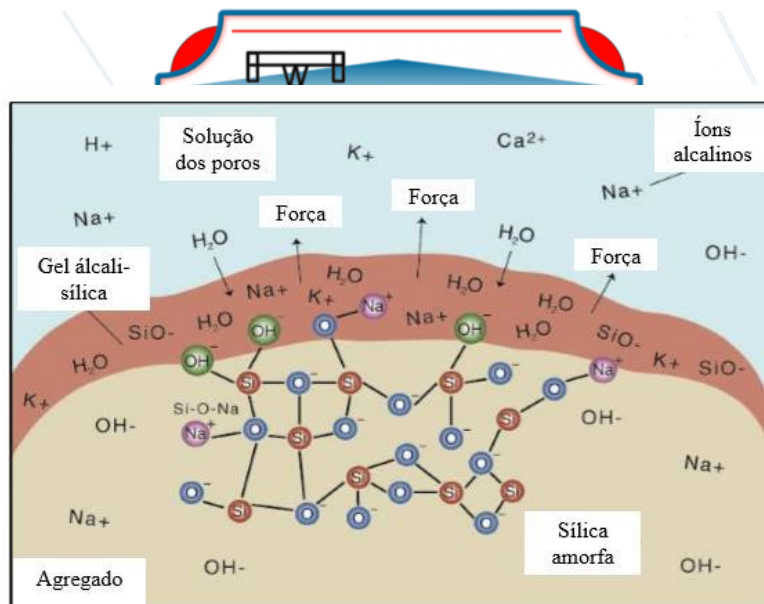


Figura 8 - Gel álcali-silica exercendo pressão sobre a pasta ou agregado, por absorver água.

O gel pode adquirir uma composição química variável e indefinida, podendo considerar-se que um gel com maior teor de íons sódio ou potássio terá maior expansão que um gel rico em cálcio. As figuras 9 e 10 apresentam resultados da expansão do cimento vistas de um microscópio eletrônico.

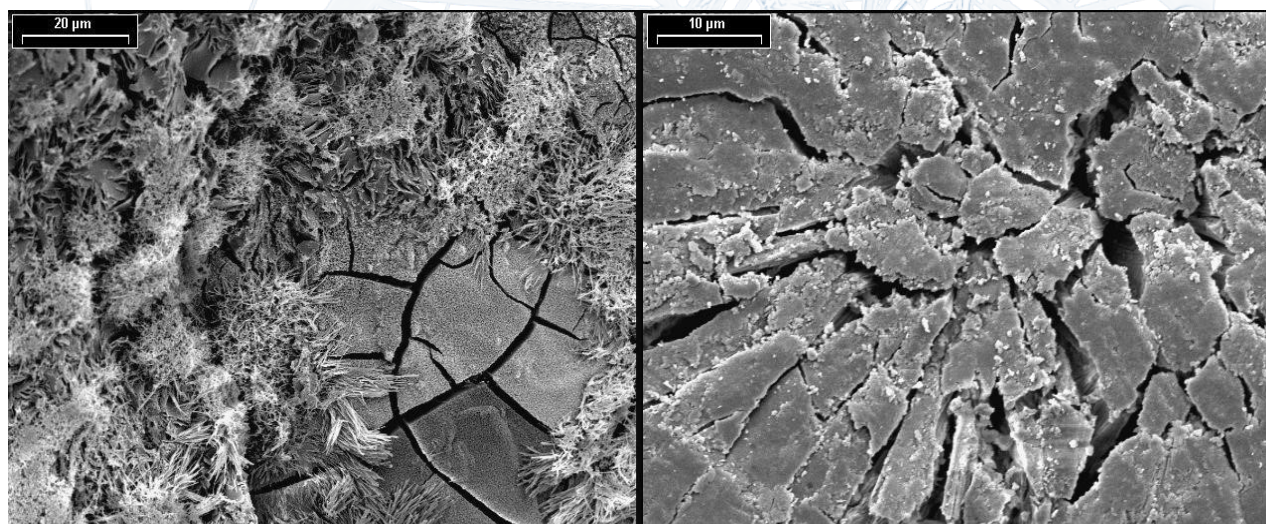


Figura 9 – Figuras feitas com microscópio eletrônico mostrando o que acontece com o cimento após a expansão. Ele também trinca e perde suas propriedades. A figura da esquerda é do cimento Portland e da direita é de cimento sulfuroso. O cimento sulfuroso é mais reativo e expande mais que o Portland. [4]

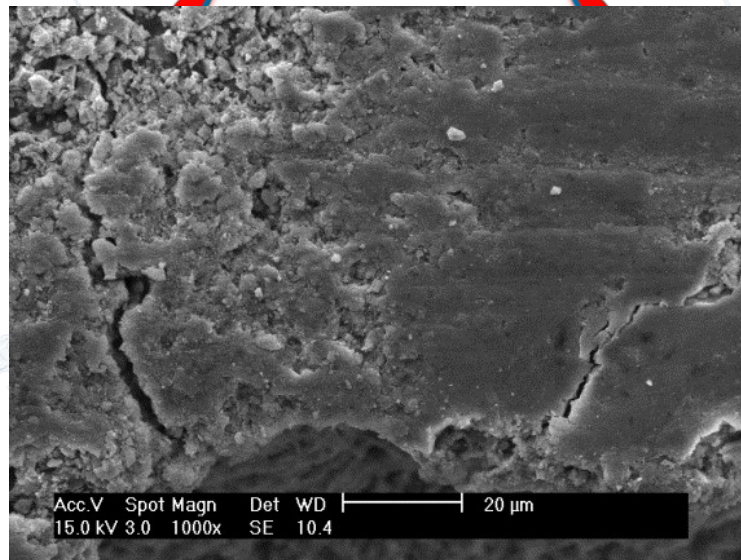


Figura 10 – Amostra de expansão ocorrida no cimento em uma mesma amostra. A parte esquerda da figura é onde o cimento já sofreu RAA, na parte direita temos ainda uma porção de cimento saudável. [4]

2.2.2. TIPOS DE REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

A reação álcali-agregado apresenta três classificações em função da composição mineralógica dos agregados constituintes do concreto: reação álcali-sílica, reação álcali-silicato e reação álcali-carbonato.

2.2.2.1. Reação álcali-sílica (RAS)

É o tipo de reação álcali-agregado em que participam a sílica reativa dos agregados e os álcalis, na presença do Ca(OH)_2 (hidróxido de cálcio) originado pela hidratação do cimento, formando um gel expansivo.

As rochas que desencadeiam a reação álcali-sílica podem possuir formas bem definidas de sílica metaestável (tridimita e cristobalita), sílica microcristalina amorfa (opala), certos tipos de vidros naturais (vulcânicos) e artificiais, e sílica sob a forma de quartzo criptocristalino, que é a forma mais desordenada e reativa (chert, flint e calcedônia).

Na reação álcali-sílica, normalmente há exsudação do gel na superfície do concreto, o qual é composto basicamente de sílica e álcalis. Esse tipo de reação é mais comum do que as reações álcali-silicato e álcali-carbonato, em função de que grande parte das rochas utilizadas como agregados no concreto possuem sílica.

2.2.2.2. Reação álcali-silicato (RASS)

É um tipo específico de reação álcali-sílica, em que participam os álcalis e alguns tipos de silicatos presentes em certas rochas. Os silicatos reativos mais comuns são o quartzo tensionado por processos tectônicos, e os minerais da classe dos filossilicatos presentes em ardósias, filitos, xistos, gnaisses, granulitos, quartzitos, dentre outros (NBR 15577-1, 2008).



Distribuidor Autorizado no Brasil

Apresenta o mesmo mecanismo que a reação álcali-silica, porém ocorre mais lentamente, devido ao fato de os minerais estarem mais dispersos em seu retículo cristalino. É o tipo de RAA mais encontrado no Brasil, estando as fundações (blocos e sapatas) da Região Metropolitana do Recife inclusas nesse tipo de reação.

2.2.2.3. Reação álcali-carbonato (RAC)

De acordo com a NBR 15577-1 (2008), a RAC é o tipo de reação em que participam os álcalis e os agregados rochosos carbonáticos. A forma mais conhecida de deterioração do concreto é devida à desdolomitização da rocha e, conseqüentemente, ao enfraquecimento da ligação pasta-agregado. Não ocorre a formação do gel expansivo, mas de compostos cristalizados como brucita, carbonatos alcalinos, carbonato cálcico e silicato magnésiano. A expansão do concreto, nesse caso, é originada pela pressão de cristalização devida ao crescimento da calcita e da brucita confinadas.

Como a reação regenera os hidróxidos alcalinos, a desdolomitização terá continuidade até que a dolomita tenha reagido por completo ou a fonte de álcalis se esgote, existindo consideráveis divergências sobre o seu mecanismo (NBR 15577-1, 2008).

Silveira et al. (2006) avaliou vários agregados de origem carbonática, constituídos por pequenas quantidades de silicatos em sua composição mineralógica, deixando evidente que, além da desdolomitização desencadeada pelos carbonatos presentes nos agregados, houve a formação do gel característico da reação álcali-silicato. A reação álcali-carbonato é rara, não se tendo evidências concretas de sua ocorrência no Brasil.

De acordo com o LACTEC, a reação que ocorre no caso do isolador de porcelana é entre o quartzo (SiO_2) proveniente da porcelana com o sódio (Na) e o potássio (K) presentes no cimento, ocorrendo à reação álcali-silica (RAS). Caso o cimento seja sulfuroso, a probabilidade de expansão é maior, já que, o cimento apresenta maior reatividade. Logo, criando o gel que com a umidade ao passar dos anos expande e trinca a porcelana. Após a trinca a porcelana não tem mais a mesma resistência mecânica e elétrica, sendo assim, não mais útil à sua finalidade [4].

3. RELATOS DE EXPERIÊNCIA

3.1. EXPERIÊNCIA FURNAS [6]

Houve descolamento da cimentação de isoladores multicorpo usados em seccionadoras classe de tensão 345 kV por FURNAS na subestação de Campos (RJ). A subestação dista 23 km do mar, e neste local existe também, uma alta poluição atmosférica devido às queimadas para a colheita de cana de açúcar. A última inspeção acusou descargas parciais, sendo a solução aplicar RTV, o que não descartou a possibilidade de substituição dos isoladores. Vide figura 11.



Distribuidor Autorizado no Brasil



Figura 11 – Fotos do descolamento ocorrido em isoladores multicorpo 345 kV. [1]

3.2. EXPERIÊNCIA DA LAPP INSULATORS [7]

3.2.1. VANTAGENS DO DESENHO DO ISOLADOR DE NÚCLEO SÓLIDO

Tanto isoladores *cap and pin* de pedestal quanto isoladores de núcleo sólido têm sido usados por muitos anos em subestações de energia. Os dois produtos servem ao mesmo propósito, porém, seus modelos são marcadamente diferentes. Experiências de longo prazo com ambos os modelos mostram que existem deficiências nos isoladores *cap and pin*, que levam a falha destes isoladores em operação. O grande número de falhas de isoladores *cap and pin* levaram diversas concessionárias norte americanas a submeterem-se a programas, nos quais, isoladores *cap and pin* foram substituídos por isoladores de núcleo sólido. Quando são comparados os modelos, são evidentes as vantagens do isolador de núcleo sólido e a substituição dos *cap and pin* torna-se clara.

A porcelana possui uma resistência à compressão 16 vezes maior do que à tração. Isoladores de núcleo sólido são feitos de tal modo que usufruem destas características evitando condições em que a porcelana é colocada sobre tensão. Isoladores *cap and pin*, por outro lado, são sujeitos a forças de tensão geradas entre duas ou mais saias de porcelana, por duas possíveis fontes: crescimento da junta de cimento e diferenças de expansão térmica dos materiais do equipamento.

O crescimento na junta do cimento é um resultado das reações entre o cimento e substâncias químicas do ambiente, como por exemplo, contaminações salinas e industriais. Quando essas reações ocorrem, o cimento sofre um processo de expansão. Em modelos como o do *cap and pin*, que possuem juntas de cimento entre as porcelanas, a expansão gera tensões criando fissuras (ou trincas) nas saias de porcelana. O isolador de pedestal de núcleo sólido usa somente juntas de cimento externas ao corpo de porcelana do isolador. Logo, sobre condições de crescimento de cimento, é excluído o desenvolvimento de tensões de tração na porcelana. As tensões são compressivas, e assim, a porcelana é exigida mecanicamente no local em que ela é mais resistente.

O modelo de isolador de pedestal de núcleo sólido, testado já há mais de 60 anos de serviço, é mais simples que o seu correspondente *cap and pin*. Cada isolador de núcleo sólido emprega uma única grande peça de porcelana, já o *cap and pin* é composto de três saias individuais de porcelana encapsulados com cimento. O modelo mais simples e o uso de menos juntas de cimento significa que o isolador de núcleo sólido é mais rígido e exibe menos deflexão sobre carga, quando comparado com o seu correspondente *cap and pin*. O



Distribuidor Autorizado no Brasil

que é uma característica que deve ser levada em conta para aplicações em chaves seccionadoras e subestações em geral. As diferenças de um isolador multicópo e um de núcleo sólido podem ser observadas na figura 12.

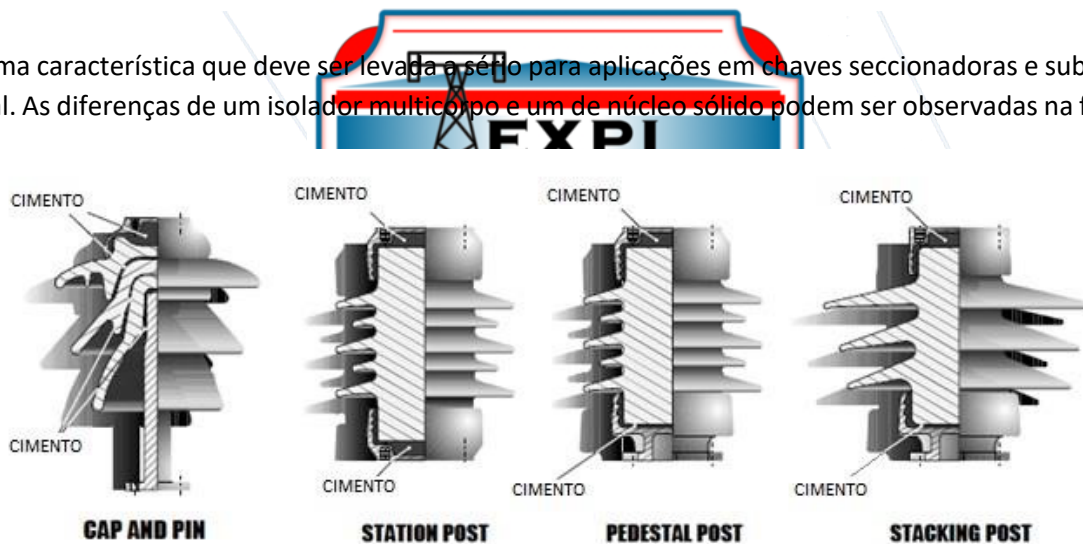


Figura 12 - Isolador de pedestal *cap and pin* e diversos isoladores de núcleo sólido. [7]

3.3. EXPERIÊNCIA NGK-LOCKE INSULATORS – EUA e CANADÁ [8]

3.3.1. INTRODUÇÃO

Quando a Locke insulators introduziu os isoladores *cap and pin* de pedestal em 1911, todos os isoladores de porcelana eram feitos de acordo com o mesmo processo. Eram saias de porcelana pouco espessas, que podiam ser secas e queimadas uniformemente caso fossem tanto para isoladores de pino ou suspensão. O isolador *cap and pin* era uma extensão natural da tecnologia daqueles tempos e tornou possível fabricação de isoladores para tensões mais altas, dada através do empilhamento destes isoladores, assim, aumentando seu nível básico de impulso (NBI).

3.3.2. OS ISOLADORES CAP AND PIN

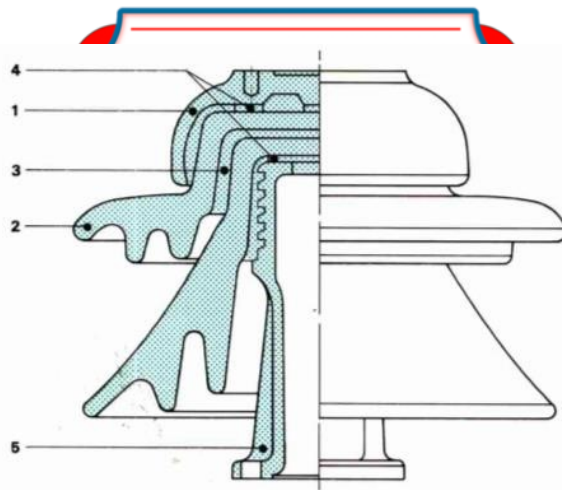
Os isoladores *cap and pin* serviram bem a indústria desde a sua introdução em 1911. Eles proveram suporte mecânico resistente e rígido para barramentos, chaves e outros equipamentos energizados. Sua resistência mecânica e elétrica provém do encapsulamento das saias de porcelana entre a campânula e o pino de metal. Isoladores *cap and pin* têm excelente desempenho elétrico em condições onde gelo e contaminantes estão presentes. Seu diâmetro largo e escalonado, juntamente com o grande espaço entre as saias conseguem deter a criação de pontes de gelo. O desenho das saias apresenta também um grande percentual da distância de escoamento que está protegido. Assim, provendo uma alta tensão suportável contra contaminantes.

Infelizmente, os isoladores *cap and pin* tem uma falha básica em seu desenho. Existem metal e cimento entre as porcelanas. Mudanças nestes componentes ocorrem em longos períodos de tempo com reações químicas e eletrolíticas com o ambiente, levando a pressões circulares nas saias da porcelana. Isto pode levar ao fissuramento da saia de porcelana e por consequência falha elétrica e mecânica.

As figuras 13 e 14 mostram a composição dos isoladores suporte mais usados no Brasil.

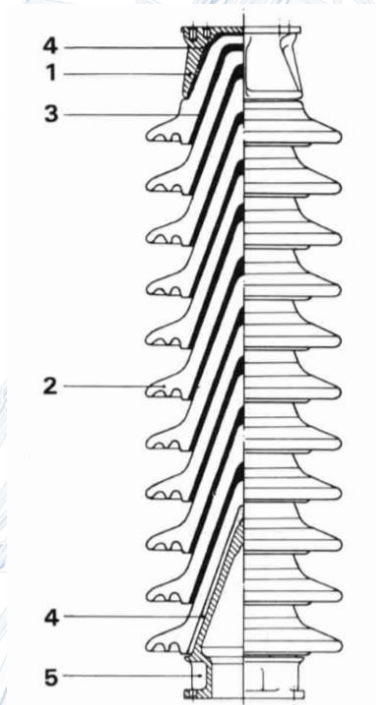


Distribuidor Autorizado no Brasil

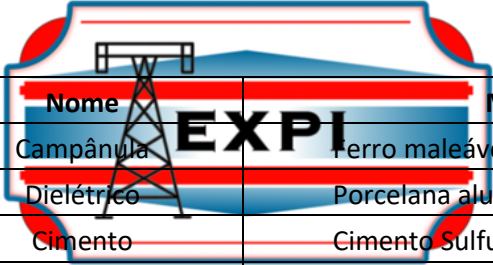


Item	Nome	Material
1	Campânula	Ferro maleável, ferro dútil ou aço, zincado a quente
2	Saia de Porcelana	Porcelana
3	Cimento	Portland
4	Amortecedor	Cortiça ou Cartão
5	Pino	Ferro maleável ou dúctil, zincado a quente

Figura 13 - Isolador de pedestal *CAP AND PIN*. [9]



Distribuidor Autorizado no Brasil



Item	Nome	Material
1	Campânula	Ferro maleável, zincado a quente
2	Dielétrico	Porcelana aluminosa
3	Cimento	Cimento Sulfuroso
4	Cimento	Cimento Portland
5	Pino	Ferro maleável, zincado a quente

Figura 14 - Isolador multicorpo suporte. [10]

3.3.3. A SUBSTITUIÇÃO POR UM ISOLADOR DE PEDESTAL DE NÚCLEO SÓLIDO

Hoje o sistema de potência com sua complexidade, requer um alto grau de confiabilidade para entregar a carga ao consumidor. E este grau de confiabilidade pode somente ser entregue por isoladores mais modernos como o isolador de pedestal de núcleo sólido. A figura 15 mostra uma página do catálogo de substituição de isoladores *cap and pin* por isoladores de núcleo sólido.

3.3.4. VANTAGENS DOS ISOLADORES DE PEDESTAL DE NÚCLEO SÓLIDO SOBRE OS CAP AND PIN:

3.3.4.1. Não existem ferragens ou cimento internamente – A porcelana é várias vezes mais resistente à compressão do que à tração. A expansão do cimento devido a reações químicas ou formação de gelo e a expansão das ferragens devido à corrosão eletrolítica, podem causar a rachadura da porcelana devido a pressões circulares. Os isoladores de pedestal de núcleo sólido, não possuem cimento ou ferragens entre as porcelanas, evitando o processo acima citado.

3.3.4.2. São a prova de perfuração – Diferente dos isoladores *cap and pin*, o menor caminho de arco elétrico através do dielétrico sólido da porcelana, é praticamente o mesmo caminho pelo ar ao redor do isolador de pedestal de núcleo sólido. Isso assegura que os isoladores de pedestal de núcleo sólido nunca podem ser perfurados.

3.3.4.3. Menos suscetíveis a danos por vandalismo - Os isoladores *cap and pin* obtêm sua resistência mecânica do encapsulamento das saias de porcelana de pouca espessura entre a campânula e o pino. Danos às saias comprometem a integridade mecânica do isolador. Nos isoladores de núcleo sólido, a resistência mecânica provém de um cilindro de porcelana de alta resistência. Danos às saias geralmente não penetram o núcleo sólido de porcelana, assim mantendo sua integridade mecânica.

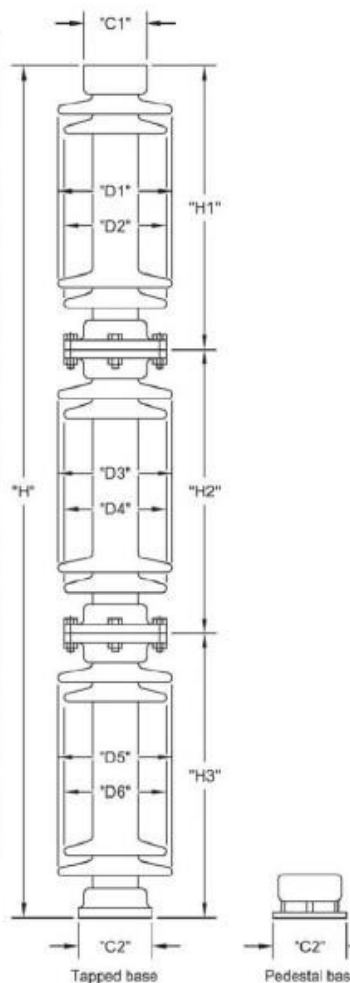
3.3.4.4. As características elétricas derivam da separação entre as ferragens - Os isoladores *cap and pin* dependem de suas saias de porcelana a fim de prover as suas distâncias de arco e escoamento, dos quais suas características elétricas são originadas. Danos a essas saias diminuem drasticamente estas distâncias. Ao contrário, se uma ou mais saias de porcelana do isolador de núcleo sólido são danificadas, somente uma pequena redução destas distâncias ocorre.



Distribuidor Autorizado no Brasil

CHARACTERISTICS

Catalog number	SH147301	SH147331
Components	SH0902Y SH1473W SH0902X	SH0902Y SH1473W SH0902S
Leakage distance (in.)	264	264
Cantilever Strength (lb.)	900	900
Tensile Strength (lb.)	25,000	25,000
Torsional Strength (in-lb.)	90,000	90,000
Compression Strength (lb.)	75,000	75,000
Critical Impulse Flashover Voltage, Positive (kV)	1,610	1,610
Withstand Voltage	Low Frequency, Wet (kV)	590
	Impulse (kV)	1,470
Radio-Influence Voltage Data	Test Voltage to Ground (kV)	210
	Maximum RIV at 1,000kHz (µV)	2,000
Total Height (in.) - "H"	116	116
Top section: Height (in.) - "H1"	28	28
Shed diameter (in.) - "D1"	9 11/16	9 11/16
Shed diameter (in.) - "D2"	8 1/4	8 1/4
Tapped hole size (in.)	5/8-11	5/8-11
Bolt circle diameter (in.)	5	5
Cap diameter (in.) - "C1"	6 1/4	6 1/4
Number of sheds	15	15
Center section: Height (in.) - "H2"	43 1/2	43 1/2
Shed diameter (in.) - "D3"	9 11/16	9 11/16
Shed diameter (in.) - "D4"	8 1/4	8 1/4
Number of sheds	25	25
Base section: Height (in.) - "H3"	44 1/2	44 1/2
Shed diameter (in.) - "D5"	9 11/16	9 11/16
Shed diameter (in.) - "D6"	8 1/4	8 1/4
Tapped/slotted hole size (in.)	5/8-11	11/16
Bolt circle diameter (in.)	5	5
Base type	Tapped	Pedestal
Cap diameter (in.) - "C2"	6 1/4	6 1/4
Number of sheds	25	25
Net Weight (lb.)	492	492



Notes: 1. These stacks are furnished with bolts, nuts and washers necessary for intermediate connection, and are not furnished with end mounting fasteners. State size at time of inquiry if mounting bolts are required.
2. Light gray, chocolate brown or semiconducting glass is available.

Figura 15 - Página do catálogo: Substituição de isoladores *cap and pin* por isoladores de núcleo sólido. [8]

3.4. EXPERIÊNCIA COPEL [11]

Em entrevista à COPEL-Distribuição, foi dito que isoladores do modelo pino cimentado (parecido com os *cap and pin*) são perfuráveis (assim como os *cap and pin*), o que levou a COPEL a mudar o padrão para isolador pilar de núcleo sólido.

3.5. EXPERIÊNCIA CELESC [12]

Em entrevista à CELESC-Distribuição, foram trocados os isoladores da mesma forma que na COPEL e agora a empresa compra somente isoladores de núcleo sólido, imperfuráveis.



Distribuidor Autorizado no Brasil

3.6. CASO VICTOR INSULATORS – SUBSTITUIÇÃO DE ISOLADORES [13]

A Victor insulators comenta em seu catálogo de 1996 sobre problemas ocorridos por causa do “sanduíche” (cimento entre as porcelanas). Este modelo de isolador foi feito deste modo devido as limitações da tecnologia em cerâmica até 1940, pois era muito difícil formar e queimar grandes corpos de porcelana. Nos EUA ficou difícil repor os isoladores *cap and pin* de pedestal que deram problemas, pois os fabricantes aboliram este tipo de isolador e começaram a usar somente o de núcleo sólido. Assim, foram desenvolvidos isoladores de núcleo sólido que podem ser colocados no local dos *cap and pin* de pedestal com mesmas características técnicas, não precisando alterar outros componentes do sistema.

3.7. HYDRO ONE NETWORKS

3.7.1. 2009/2010 SUBSTITUIÇÃO DE ISOLADORES DE PEDESTAL CAP AND PIN [14]

Em serviço: desde o final de 2010.

Custo Bruto: 11,6 milhões de dólares (USD).

Necessidade:

Existe aproximadamente um total de 96.000 isoladores *cap and pin* de pedestal empilháveis instalados em muitas subestações antigas da Hydro One. Os isoladores *cap and pin* formam a maioria da população de isoladores e seu tempo de vida útil é geralmente de 30 a 50 anos. Devido ao projeto dos isoladores *cap and pin* existe a tendência de ocorrer expansão do cimento devido à absorção de umidade, o que resulta em falhas prematuras. Os isoladores *cap and pin* falham historicamente durante o movimento das chaves seccionadoras que eles suportam. Durante o movimento, as fissuras (trincas) ou as campânulas soltas causam esta falha. Este fato é um problema sério de segurança ao pessoal que fica abaixo das chaves seccionadoras quando em manutenção.

Caso não seja procedido com este investimento, a confiabilidade de entrega ao cliente e a segurança do pessoal no trabalho continua prejudicada e piora gradativamente com o passar do tempo.

Resumo:

Isoladores suporte possuem um papel essencial no sistema de potência. Eles são projetados para suportar mecanicamente e isolar eletricamente os equipamentos na subestação. A integridade destes isoladores garante que os equipamentos possam executar suas finalidades em qualquer condição. Quando a integridade mecânica e elétrica do isolador é comprometida devido às fissuras causadas por expansão de cimento ou fim de vida útil, o equipamento suportado fica sujeito a riscos devido à falta de isolamento adequado.

Isoladores *cap and pin* possuem um dos mais antigos projetos de isoladores instalados no sistema elétrico. Estes isoladores são afetados por uma condição comum, conhecida por expansão do cimento. A umidade expande o cimento usado para colar as saias de porcelana. Esta expansão de cimento causa fissuras na porcelana, que por fim reduzem a força mecânica do isolador. A deterioração da força mecânica causa um descolamento da campânula com a porcelana repentinamente ou durante um carregamento mecânico, resultando em possível catástrofe no equipamento que o isolador suporta. A operação segura do equipamento e do pessoal / pública é comprometida quando da ocorrência deste evento.



Distribuidor Autorizado no Brasil

3.7.2. PROGRAMA DE SUBSTITUIÇÃO DE ISOLADORES [15]

Em serviço: desde o ano 2000.

Custo Bruto: 9,8 milhões de dólares (USD).



Resumo:

Isolamento adequado é um dos requisitos básicos de qualquer sistema elétrico, e sua falha é a fonte de muitos problemas de operação e manutenção. A confiabilidade do serviço depende fortemente de uma frequência de falha dos isoladores.

A Hydro –One experimentou taxas de aumento em falhas de seus isoladores. Logo, foram realizados testes e ensaios para investigar isoladores com fissuras. Um programa proativo de substituição de isoladores está acontecendo desde o ano 2000. O programa de substituição tem como alvo os isoladores mais propícios à falhas, neste caso os *cap and pin* de pedestal e isolador multicorpo, juntamente com outros isoladores de disco de porcelana antigos.

O Investimento resultará na substituição de aproximadamente 2500 isoladores.

4. ESTADO ATUAL DO PAÍS E RISCOS

Devido ao desenvolvimento do país com base em poucos fornecedores de isoladores de porcelana e sendo o maior fabricante usuário de um modelo técnico de isoladores com cimentação entre as saias de porcelana. Pode-se concluir que o Brasil pode possuir problemas sérios de confiabilidade no sistema elétrico. Pesquisas de mercado [16] indicam que quase todas as concessionárias de energia do país possuem modelos de isoladores multicorpos em suas subestações. E muitas possuem ainda o isolador *cap and pin* [16].

Pode-se inferir, portanto, que o risco de falhas no sistema brasileiro pode ser alto. Ao considerar o efeito da expansão do cimento, a idade dos isoladores instalados (quanto mais velhos, mais expandido o cimento fica aumentando probabilidades de falha nos isoladores). A cada dia que passa, o sistema elétrico Brasileiro é menos confiável.

5. RECOMENDAÇÕES

Conforme as referências teóricas e práticas deste projeto, recomenda-se a substituição de isoladores *cap and pin* de pedestal, isoladores multicorpos e quaisquer outros isoladores em que a expansão no cimento cause tração na porcelana. Pode-se prevenir o problema utilizando a mesma solução pronunciada pela LAPP. Ou seja, usar isoladores de núcleo sólido (isoladores *station post* monocorpo), pois os mesmos possuem cimentação e ferragens somente fora do corpo de porcelana e caso ocorra expansão do cimento, a força resultante irá comprimir a porcelana. Sabe-se que a porcelana possui força de compressão 16 vezes maior que de tração em média, e que a campânula metálica resiste à expansão do cimento devido à sua tenacidade, logo a solução é viável. Além disso, já usada na prática há vários anos por diversas concessionárias (algumas delas citadas neste projeto).

A substituição por isoladores *station post* monocorpo livra o isolador da falha por expansão e subsequente trinca. Caso exista qualquer erro na formulação do cimento, os efeitos expansivos podem ser ampliados. Em



Distribuidor Autorizado no Brasil

ensaios praticados atualmente não se consegue identificar muitos dos cimentos que expandem em longo prazo e coloca-se em risco a confiabilidade do sistema elétrico.



6. CONCLUSÕES

Este trabalho elucida o fator determinante na expansão do cimento levando à perda de desempenho de isoladores de porcelana em projetos que utilizam cimento de tal modo que a força de tração ocorra sobre a porcelana.

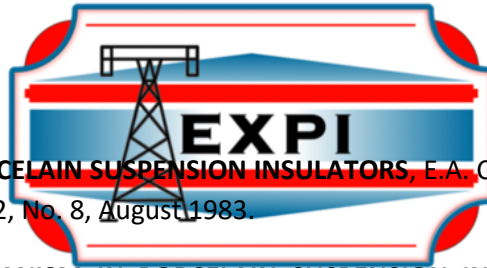
A substituição de isoladores adotada nos EUA e Canadá pode ser utilizada como exemplo para os outros países do mundo inteiro. Pois a Reação álcali-agregado ocorre entre o cimento e seu agregado. Neste contexto, a porcelana.

O uso de isoladores de corpo único é uma solução eficaz, já empregada em diversos países há muito tempo. O uso desta tecnologia aumenta a confiabilidade do sistema elétrico e por consequência fortalece o sistema econômico social Brasileiro.



Distribuidor Autorizado no Brasil

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- [1] **CEMENT GROWTH FAILURE OF PORCELAIN SUSPENSION INSULATORS**, E.A. Cherney, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 8, August 1983.
- [2] **CEMENT GROWTH FAILURE MECHANISM IN PORCELAIN SUSPENSION INSULATORS**, E.A. Cherney and R.D. Hooton, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No.1, January 1987.
- [3] **POWER MANAGEMENT PORCELAIN ACOUSTIC PROBE**, TECHNERDS folder em www.technerds.ca, acessado em Janeiro de 2013.
- [4] **ENTREVISTA PRESENCIAL**, Portella, F. Kleber – Químico-Pesquisador V, LACTEC, 10/01/2012.
- [5] **ANÁLISE DE MÉTODOS DE PREVENÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: ANÁLISE PETROGRÁFICA E MÉTODO ACELERADO DE BARRAS DE ARGAMASSA**, CAVALCANTE DA SILVA, Claudia F.- UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO- ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO.
- [6] **ENTREVISTA POR E-MAIL**, MOREIRA, Francisco de Assis, Engenheiro- FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS, 26/09/2012.
- [7] **LAPP STATION POST INSULATORS**, catalog 10C, acessado em 03/10/2012
- [8] **NGK- LOCKE cap and pin replacement insulators catalog**, acessado em 08/10/2012
- [9] **CATÁLOGO ISOLADORES PEDESTAL, CAP AND PIN**, ISOLADORES SANTANA S.A., pág. 4, sem data.
- [10] **CATÁLOGO ISOLADORES MULTICORPO, MULTICORPO SANTANA INSULATORS**, ISOLADORES SANTANA S.A., pág. 11, sem data.
- [11] **ENTREVISTA POR E-MAIL**, PINHEIRO DE LIMA, Juliana, Engenheira, Companhia Paranaense de Energia – COPEL, SED/DNGO/VNOT - Normalização e Novas tecnologias, 19/11/2012.
- [12] **ENTREVISTA POR TELEFONE**, DADAM, Alessandro Pedro, CELESC-Distribuição S.A, Engenharia e Normas, 21/11/2012.
- [13] **CAP AND PIN REPLACEMENT INSULATORS folder**, Victor Insulators, Inc - GD09965MK, 1996.
- [14] **2009/2010 Station Cap and Pin Insulator Replacements**, Hydro One Networks – Investment Summary Document, 28/05/2012.
- [15] **Insulator Replacement Program**, Hydro One Networks – Investment Summary Document, 28/05/2012.
- [16] **Pesquisas de Mercado**, TEXPI EQUIPAMENTOS – de 2010 a 2013.



Distribuidor Autorizado no Brasil