

# Novos Compósitos para Isoladores Poliméricos com Materiais Reciclados

Faria F., Barnabé A., Guaraldo N. J., Maciel R. L. C., Mak J., Nacas J. C.

**Resumo** – Visando cooperar com o meio ambiente e aumentar a confiabilidade de operação dos circuitos elétricos de distribuição de energia elétrica foram desenvolvidos novos materiais para fabricação de isoladores poliméricos para uso em redes primárias de distribuição de média tensão classe 15, 25 e 34,5 kV. Oriundo da pesquisa de um projeto de P&D Aneel/AES Eletropaulo / CGTI / Quantum Tecnologia e Inovação os materiais dos novos isoladores elétricos utilizam sobras de materiais poliméricos industriais e colaboram com a descontaminação do meio ambiente. Os isoladores fabricados com o novo material reduzem as manutenções e melhoram a confiabilidade de operação das redes elétricas de distribuição, além de trazer ganhos técnico-econômicos significativos às empresas de energia elétrica quando da substituição dos atuais isoladores de cerâmica, vidro temperado e polimérico de resinas naturais pelos novos isoladores reciclados. O presente artigo mostra os resultados da pesquisa para a obtenção do novo material, os resultados obtidos nos testes dos corpos de prova e nos ensaios dos novos isoladores, mostrando os resultados satisfatórios e motivadores para a continuidade do desenvolvimento na cadeia de inovação.

*Palavras-chave* – Isoladores, Isoladores Elétricos, Isoladores Poliméricos, Reutilização de Polímeros, Reciclagem de Polímeros.

## I. INTRODUÇÃO

Os isoladores elétricos utilizados nas redes primárias de distribuição de energia elétrica têm a função de sustentar mecanicamente os cabos aéreos de transporte de energia e isolar eletricamente tais redes das estruturas aterradas dos postes de distribuição. Usualmente os materiais mais utilizados na fabricação dos corpos dos isoladores têm sido a porcelana, o vidro temperado e materiais poliméricos naturais, e nos pinos de fixação dos tipos que os utilizam, metais e materiais poliméricos resistentes.

---

Agradecemos o apoio financeiro da AES Eletropaulo para a realização do presente projeto, P&D 0390-1023/2010

João Carlos Nacas é o Engenheiro responsável pelo Laboratório de Engenharia da Div. de Engenharia de Subtransmissão da AES Eletropaulo e do Projeto (email: [joao.nacas@AES.com](mailto:joao.nacas@AES.com)).

Faria F. é Engenheiro Eletricista na empresa Quantum Tecnologia e Inovação e Coordenador (email: [ffaria@buenomak.com.br](mailto:ffaria@buenomak.com.br)).

Barnabé A. é Engenheiro Eletricista na empresa Quantum Tecnologia e Inovação e Pesquisador (email: [barnabe@buenomak.com.br](mailto:barnabe@buenomak.com.br)).

Mak J. é Engenheiro Eletricista na empresa Quantum Tecnologia e Inovação e Pesquisador no projeto (email: [josemak@buenomak.com.br](mailto:josemak@buenomak.com.br)).

Guaraldo N. J. é Engenheiro Eletricistas na empresa Quantum Tecnologia e Inovação e Pesquisador no projeto (email: [newton@buenomak.com.br](mailto:newton@buenomak.com.br)).

Maciel J. R. C. é Engenheiro Eletricista na empresa Quantum Tecnologia e Inovação e Pesquisador no projeto (email: [rmaci-el@buenomak.com.br](mailto:rmaci-el@buenomak.com.br)).

A utilização de isoladores de porcelana e vidro tem apresentado problemas de confiabilidade para a rede de distribuição das concessionárias de energia elétrica, além de que, o descarte desses materiais tem introduzido problemas ecológicos, por enquanto sem soluções. Os isoladores de materiais poliméricos naturais apresentam confiabilidade superior aos tradicionais isoladores de porcelana e vidro, mas seus custos são bem maiores.

Na linha ecológica têm surgido possibilidades de fabricação de novos materiais plásticos advindos de material reciclado, tornando-se uma oportunidade a pesquisa e o desenvolvimento nesta área, além de que o desenvolvimento de novos materiais plásticos isolantes para fabricação de isoladores permitirá a redução dos custos de aquisição e manutenção de forma efetiva e econômica destes componentes.

A pesquisa e tecnologia de novos materiais plásticos para energia elétrica usando matéria prima oriunda de material reciclado trará benefícios de desenvolvimento de tecnologia inédita, possibilidade de redução de preço ao longo prazo e benefícios ambientais proporcionados pela retirada da natureza dos dejetos de longo ciclo de degradação.

Outro aspecto não menos relevante, é que a utilização desses novos materiais poliméricos e reciclados possibilitará às empresas elétricas melhorar sua imagem perante os consumidores e a sociedade, mostrando sua preocupação e colaboração com a melhoria do meio ambiente

Para viabilizar a obtenção desses novos materiais, em 2010 [1] foi dado início ao Projeto Aneel/AES Eletropaulo P&D 0390-1023 -“Desenvolvimento materiais alternativos ecológicos de melhor desempenho e vida útil, para fabricação de isoladores com redução dos custos” [2] pela AES Eletropaulo e pelas empresas executoras GGTI - Centro de Gestão e Tecnologia e Inovação e Quantum Tecnologia e Inovação, objetivando o desenvolvimento de novos materiais plásticos e ecológicos para uso especificamente em isoladores para redes elétricas de média tensão.

## II. PESQUISA INICIAL DE MATERIAIS

Após uma série de pesquisas e estudos dentre compósitos convencionais, foram escolhidas misturas de Polipropileno (PP) reforçado com Fibra de Vidro (FV) e Minerais (Mica, Carbonato de Cálcio, Talco) para serem utilizados como materiais componentes das formulações dos materiais a serem utilizados nos isoladores a serem desenvolvidos.

Foi feita uma detalhada avaliação da utilização de materiais poliméricos reciclados nessas aplicações e verificou-se

que os oriundos do lixo urbano apresentavam pouca homogeneidade e exigiam aditivos especiais para ajustes, o que causava a redução das características mecânicas da mistura final. Dessa forma, adotou-se que a parte reciclada do PP deve ser adquirida de resíduos e de sobras industriais, que são mais homogêneas e apresentam boa oferta de mercado além de baixo custo.

Foram criadas e formuladas 13 misturas diferentes oriundas de Polipropileno (PP) reforçado com Fibra de Vidro (FV) e cargas Minerais (Mica, Carbonato de Cálcio, Talco) para serem ensaiadas mecânica e eletricamente nos laboratórios de Caracterização de Polímeros - LCP/UFSCar e de Alta Tensão - LAT/Unicamp para verificar quais misturas apresentavam maiores chances de atender as exigências impostas pelas normas de isoladores elétricos; e duas misturas mostraram-se aptas para tal. As misturas mais adequadas foram:

- Mistura 1 - Fórmula de material polimérico com Mica e Fibra de Vidro.
- Mistura 2 - Fórmula de material polimérico com Mica.

A Mica foi utilizada nas misturas como carga, enquanto que a Fibra de Vidro como material fibroso de reforço. Aos materiais poliméricos das duas misturas foram acrescidos percentuais de plásticos oriundos de resíduos industriais pós injetados. Aditivos para melhorar as características gerais do produto final, bem como, para proporcionar propriedades de maior resistência aos fatores ambientais (intempéries) que são necessárias aos isoladores durante sua utilização ao tempo, também foram inseridos nas formulações.

### III. ENSAIOS NOS CORPOS DE PROVA

Os ensaios mecânicos e elétricos dos corpos de prova das duas misturas foram realizados no Laboratório de Caracterização de Polímeros - LCP/UFSCar e no Laboratório de Alta Tensão - LAT/Unicamp.

Os principais ensaios, as normas vigentes que os mesmos devem atender e as dimensões dos corpos de prova estão descritos a seguir.

#### A. Fórmula de material polimérico com Mica e Fibra de Vidro

No ensaio mecânico de flexão foi utilizada a norma ASTM D 790-00 (Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials) [5] e os corpos de prova apresentavam as seguintes dimensões: largura 12,9 mm, espessura 3,2 mm e a distância entre os pontos de apoio de 50 mm. Os resultados médios obtidos em cinco amostras foram: resistência a flexão  $69,14 \pm 1,01$  MPa, módulo de flexão  $3,68 \pm 0,05$  GPa.

No ensaio mecânico de tração foi utilizada a norma ASTM D 638-00 (Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics) [6] e os corpos de prova utilizados nos ensaios apresentavam as seguintes dimensões: largura 12,9

mm, espessura 3,2 mm e comprimento inicial de 115 mm. Os resultados médios obtidos para cinco amostras foram: limite de resistência  $45,85 \pm 4,83$  MPa, alongamento na ruptura  $2,91 \pm 0,10$  % e módulo de elasticidade  $6,24 \pm 0,25$  GPa.

No ensaio de resistência ao impacto Izod – um dos testes de impacto mais utilizado para medir a energia de impacto ou a tenacidade de um corpo de prova através do choque com um pêndulo – foram utilizados no ensaio dez corpos de prova com espessura média de 3,2 mm, largura média de 12,8 mm e com entalhe de 2,7 mm. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ASTM D256:02, (Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics) [7], em máquina instrumentada, com pêndulo de 2,0 J. Os resultados médios obtidos para dez amostras para um impacto médio de  $0,128 \pm 0,015$  J foram uma resistência ao impacto Izod de  $35,43 \pm 4,62$  J/m e de  $3,49 \pm 0,45$  kJ/m<sup>2</sup>.

No ensaio elétrico de rigidez dielétrica foram utilizadas as normas ANSI/IEEE 4-1995 (American National Standard techniques for High Voltage)[8] e ASTM D 149-97a (Standard Test Methods for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies) [9] e os corpos de prova utilizados nos ensaios apresentavam as seguintes dimensões: largura 150,0 mm, comprimento 150,0 mm e espessura 3,0 mm. Os resultados médios obtidos para dez amostras foram: tensão de ruptura do dielétrico 40,12 kV, em 9,71 s para uma velocidade de acréscimo de tensão (rampa) de 4,13 kV/s [4]. Em todos os corpos de prova observou-se que não houve a perfuração do material sob ensaio e que a descarga ocorreu sempre pelas laterais das placas. Isso significa que os corpos de prova apresentaram uma rigidez dielétrica de boas características isolantes, estimada no mínimo em 13,3 kV/mm.

Os resultados obtidos nos ensaios mecânicos e elétricos realizados nos corpos de provas do material polimérico com Mica e Fibra de Vidro mostraram que o material ensaiado é adequado para o uso na fabricação de isoladores a serem utilizados em redes elétricas.

#### B. Fórmula de material polimérico com Mica

No ensaio mecânico de flexão foi utilizada a norma ASTM D 790-00 (Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials) [5] e os corpos de prova apresentavam as seguintes dimensões: largura 12,9 mm e espessura 3,2 mm e a distância entre os pontos de apoio de 50 mm. Os resultados médios obtidos em cinco amostras foram: resistência a flexão  $43,76 \pm 0,23$  MPa, módulo de flexão  $2,31 \pm 0,06$  GPa.

No ensaio mecânico de tração foi utilizada a norma ASTM D 638-00 (Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics) [6] e os corpos de prova utilizados nos ensaios apresentavam as seguintes dimensões: largura 12,9 mm, espessura 3,2 mm e comprimento inicial de 115 mm. Os resultados médios obtidos para cinco amostras foram:

limite de resistência  $31,07 \pm 0,11$  MPa, alongamento na ruptura  $16,36 \pm 4,71$  % e módulo de elasticidade  $3,81 \pm 0,34$  GPa.

No ensaio de resistência ao impacto Izod – um dos testes de impacto mais utilizado para medir a energia de impacto ou a tenacidade de um corpo de prova através do choque com um pêndulo – foram utilizados no ensaio dez corpos de prova com espessura média de 3,2 mm, largura média de 12,8 mm e com entalhe de 2,7 mm. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ASTM D256:02, (Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics) [7], em máquina instrumentada, com pêndulo de 2,0 J. Os resultados médios obtidos para dez amostras para um impacto médio de  $0,102 \pm 0,0004$  J foram uma resistência ao impacto Izod de  $25,87 \pm 1,23$  J/m e de  $2,55 \pm 0,12$  kJ/m<sup>2</sup>.

No ensaio elétrico de rigidez dielétrica foram utilizadas as normas ANSI/IEEE 4-1995 (American National Standard techniques for High Voltage) [8] e ASTM D 149-97a (Standard Test Methods for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies) [9] e os corpos de prova utilizados nos ensaios apresentavam as seguintes dimensões: largura 150,0 mm, comprimento 150,0 mm e espessura 3,0 mm. Os resultados médios obtidos para dez amostras foram: tensão de ruptura do dielétrico 40,45 kV, em 10,02 s para uma velocidade de acréscimo de tensão (rampa) de 4,04 kV/s [4]. Em todos os corpos de prova observou-se que não houve a perfuração do material sob ensaio e que a descarga ocorreu sempre pelas laterais das placas. Isso significa que os corpos de prova apresentaram uma rigidez dielétrica de boas características isolantes, estimada no mínimo em 13,4 kV/mm.

Os resultados obtidos nos ensaios mecânicos e elétricos realizados nos corpos de provas de material polimérico com Mica mostraram que o material é adequado para o uso na fabricação de isoladores a serem utilizados em redes elétricas.

#### IV. PROJETO E PRODUÇÃO DOS ISOLADORES PROTÓTIPOS

De posse das aprovações das formulações básicas nos corpos de prova foi escolhido como modelo para os isoladores protótipos um tipo que possui 4 saias e faces superiores planas, o que possibilita condições de maior deposição de poeira da atmosfera e permanência superficial de gotículas de água de chuva, fato que colabora para as análises de desempenho dos novos materiais em testes nos isoladores protótipos.

Foi definido o processo de injeção a quente bem como projetado o molde para a fabricação dos lotes iniciais de protótipos, sempre tendo em vista a futura aplicação do projeto em um processo de produção de larga escala.

O molde fabricado em uma empresa de ferramentaria especializada apresenta duas partes, em cada uma delas duas cavidades de injeção em um único corpo, de um lado o corpo do isolador com as saias e do outro a base do isolador

com seu pino.

Nas figuras de 1 e 2 a seguir pode-se ver fotos do molde já pronto e colocado na injetora para os experimentos iniciais.



Figura 1 - Vista da Parte 1 do molde colocado na injetora. Lado esquerdo - corpo do isolador com saias. Lado direito - base do isolador.

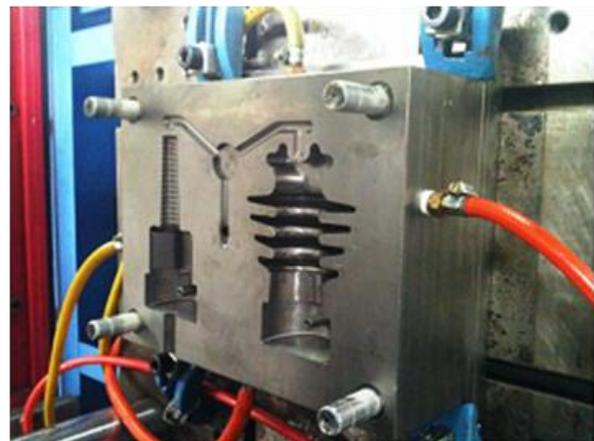


Figura 2 - Vista da Parte 2 do molde colocado na injetora. Lado direito - corpo do isolador com saias. Lado esquerdo - base do isolador.

Após definido o molde e características das misturas a utilizar foi contratada uma empresa especializada em simular os resultados de injeção através do sistema computacional “Mold Flow”, para avaliar a fluidez do processo, os tempos de injeção por peça, os defeitos que poderiam surgir e as formas de resfriamento mais adequadas para que pudessem ser injetados os isoladores com as misturas selecionadas. Para avaliação do molde foi realizada a injeção experimental com um polímero especial para verificar a qualidade do molde e do produto obtido.

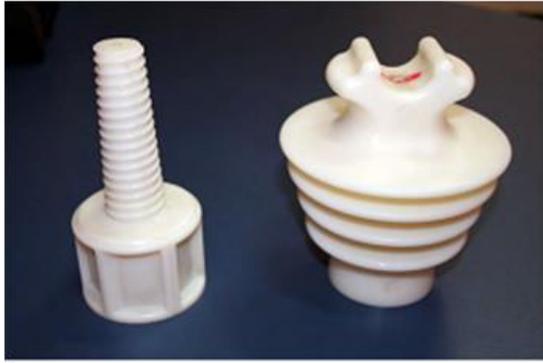


Figura 3 - Isolador e sua base em polímero especial para avaliação da qualidade do molde.

Sendo o mesmo aprovado, e por tratar-se de um projeto de desenvolvimento experimental passou-se a fabricar 100 isoladores protótipos (50 de cada tipo), destinados aos ensaios mecânicos e elétricos e à instalação na rede da concessionária proponente para acompanhamento de desempenho.

Fotos das partes componentes e do isolador montado, podem ser vistas nas Figuras 4 e 5 a seguir:



Figura 4 - Vista do corpo e base do isolador, injetados.



Figura 5 - Vista do corpo e base do isolador, acoplados.

## V. AJUSTE DO PROCESSO DE INJEÇÃO

Durante o estabelecimento do processo de injeção houve

necessidade de inúmeros ajustes para correção de problemas apresentados nos produtos obtidos, desde o aumento do diâmetro dos bicos de injeção, até experimentos com variações de temperaturas utilizadas no processo, tempos de injeção, pressões de ar, etc., buscando um produto final melhor elaborado. As principais variações de parâmetros envolveram as seguintes situações:

- Mudanças/aumentos dos bicos de injeção.
- Aumento/redução de temperaturas utilizadas no processo.
- Variação da injeção de ar no processo.
- Variação da pressão de injeção.
- Variação das velocidades de injeção.
- Variação do tempo de produção da peça na injetora.
- Combinações entre as variáveis acima citadas.

No corte longitudinal das peças obtidas foi verificado que em determinadas condições de ajuste poderiam surgir grandes espaços vazios (rechupes) ou formação de bolhas internamente às paredes do isolador. As fotos da Figura 6 mostram defeitos que necessitaram ser corrigidos ao longo do processo de ajuste da injeção.

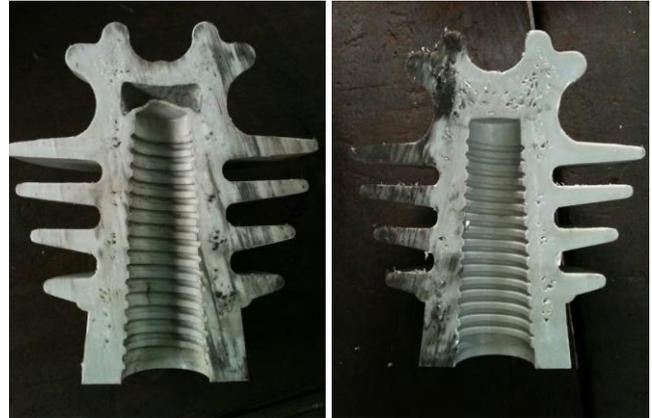


Figura 6 - Corte longitudinal mostrando cavidade vazia próxima à cabeça do isolador e bolhas nas paredes internas.

Com os diversos experimentos foi possível eliminar a presença de grandes espaços vazios nas paredes dos isoladores protótipos e o tamanho e quantidade das pequenas bolhas constatadas.

## VI. TESTES E ENSAIOS DOS ISOLADORES

Ajustado o processo de injeção foram fabricados os isoladores protótipos com as duas misturas e enviados ao Laboratório de Caracterização de Polímeros - LCP/UFSCar [3] a, ao Laboratório de Engenharia da AES Eletropaulo [3] b e ao Laboratório de Alta Tensão - LAT/Unicamp [4] para os ensaios mecânicos e elétricos.

Os resultados dos principais ensaios estão descritos a seguir.

### A. Isolador de material polimérico com Mica e Fibras de Vidro

Quando o conjunto do isolador é submetido a uma carga de flexão de 400kgf não deve apresentar deformações permanentes e quando submetido a uma carga de flexão de 800

kgf não deve romper. Os resultados obtidos neste ensaio em cinco amostras podem ser vistos na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Ensaio de flexão de deformação, isolador polimérico com mica e fibra de vidro.

Amostra	Flexão Nominal	Flexão de Ruptura
1	400 kgf	733 kgf
2	400 kgf	737 kgf
3	400 kgf	752 kgf
4	400 kgf	877 kgf
5	400 kgf	873 kgf

Como se pode observar no ensaio de flexão de deformação nenhuma das amostras sofreu deformação e no ensaio de flexão de ruptura, três peças apresentaram ruptura com valor inferior aos 800 Kgf previstos. Deve-se ressaltar que o material sob ensaio que está sendo avaliado e compõe o corpo isolante não apresentou problemas em nenhuma das amostras ensaiadas. Nos três Isoladores que apresentaram valores inferiores a 800 Kgf, ocorreram rupturas no material que compõe a base do isolador (pino com inserto metálico que se encaixa na base do isolador). Tal material é o mesmo utilizado no isolador comercial tomado como modelo e não se encontrava em avaliação. As causas do rompimento desse material nos ensaios podem ter ocorrido tensões residuais internas resultantes do processo de injeção, ou mesmo de imperfeições no pino suporte. A folga entre o acoplamento da base do isolador e o corpo isolante também pode ter propiciado condições de menor apoio entre as partes, sujeitando determinada área do pino suporte a uma concentração maior de esforços, provocando o rompimento.

No ensaio mecânico de arrancamento, o conjunto isolador deve suportar uma carga de 1.000 kgf. Os resultados obtidos neste ensaio em três amostras foram:

Tabela 2 - Ensaio de arrancamento, isolador polimérico com mica e fibra de vidro.

Amostra	Arrancamento
1	2.464 kgf
2	2.150 kgf
3	2.050 kgf

Como se pode observar no ensaio de arrancamento todas as peças suportaram cargas superiores a 1.000 kgf.

No ensaio mecânico de torque nas roscas dos isoladores as amostras devem suportar um torque de aperto da base do isolador sob o qual a rosca não deve apresentar nenhum tipo de dano, para um torque mínimo de 7,6 daN.m.. Caso ocorra algum dano, uma indicação sonora/impulso sinaliza de forma automática ao operador a ocorrência do mesmo. O critério utilizado é o “passa/não passa”, definido pela ocorrência ou não de danos às amostras ensaiadas. Os resultados obtidos neste ensaio em quatro amostras foram:

Tabela 3 - Ensaio de torque nas roscas dos isoladores poliméricos com mica e fibra de vidro.

Amostra	7,6 daN.m ( $\pm 3\%$ )	7,73 daN.m ( $\pm 3\%$ )

1	passa	passa
2	passa	passa
3	passa	passa
4	passa	passa

Conforme se observa, os resultados dos ensaios de torque na base da rosca das amostras demonstram a adequação das mesmas ao requisito por não apresentarem nenhum tipo de dano quando submetidas a um torque mínimo de 7,6 daN.m.  $\pm 3\%$ , tendo em vista que danos também não ocorreram sob um torque de 7,73 daN.m  $\pm 3\%$ .

Nos ensaios elétricos os conjuntos isoladores do exemplo modelo deve suportar uma tensão de impulso (+) de 150 kVpico e uma tensão eficaz sob chuva, na frequência industrial de 60 Hz, de 70 kVrms. Os resultados médios obtidos neste ensaio em três amostras foram: tensão disruptiva de impulso (+) de 128,8 kVpico, tensão disruptiva de impulso (-) 207,6 kVpico, tensão disruptiva de chuva (60 Hz) 74,3 kVrms [4]. Como se pode observar todas as amostras suportaram tensões superiores às exigidas para a classe 34,5 kV.

#### B. Isolador de material polimérico com Mica

Sendo o mesmo aprovado, produziu-se 100 isoladores protótipos (50 de cada tipo), destinados aos ensaios mecânicos e elétricos e à instalação na rede da concessionária (AES Eletropaulo) para acompanhamento de desempenho.

Tabela 4 - Ensaio de flexão de deformação, isolador polimérico com mica.

Amostra	Flexão Nominal	Flexão de Ruptura
1	400 kgf	838 kgf
2	400 kgf	947 kgf
3	400 kgf	737 kgf
4	400 kgf	662 kgf
5	400 kgf	791 kgf

Como se pode observar no ensaio de flexão de deformação nenhuma das amostras sofreu deformação e no ensaio de flexão de ruptura, três peças apresentaram ruptura com valor inferior aos 800 Kgf previstos. Deve-se ressaltar que o material sob ensaio que está sendo avaliado e compõe o corpo isolante não apresentou problemas em nenhuma das amostras ensaiadas. Nos três Isoladores que apresentaram valores inferiores a 800 Kgf, ocorreram rupturas no material que compõe a base do isolador (pino com inserto metálico que se encaixa na base do isolador). Tal material é o mesmo utilizado no isolador comercial tomado como modelo e não se encontrava em avaliação. As causas do rompimento desse material nos ensaios podem ter ocorrido por tensões residuais internas resultantes do processo de injeção, ou mesmo de imperfeições no pino suporte. A folga entre o acoplamento da base do isolador e o corpo isolante também pode ter propiciado condições de menor apoio entre as partes, sujeitando determinada área do pino suporte a uma concentração maior de esforços, provocando o rompimento.

No ensaio mecânico de arrancamento, o conjunto isolador deve suportar uma carga de 1.000 kgf. Os resultados obtidos neste ensaio em três amostras foram:

Tabela 5 - Ensaio de arrancamento, isolador polimérico com mica.

Amostra	Arrancamento
1	1.921 kgf
2	1.959 kgf
3	2.079 kgf

Como se pode observar no ensaio de arrancamento todas as peças suportaram cargas superiores a 1.000 kgf.

No ensaio mecânico de torque nas rosças dos isoladores as amostras devem suportar um torque de aperto da base do isolador sob o qual a rosca não deve apresentar nenhum tipo de dano, para um torque mínimo de 7,6 daN.m.. Caso ocorra algum dano, uma indicação sonora/impulso sinaliza de forma automática o operador a ocorrência do mesmo. O critério utilizado é o “passa/não passa”, definido pela ocorrência ou não de danos às amostras ensaiadas. Os resultados obtidos neste ensaio em quatro amostras foram:

Tabela 6 - Ensaio de torque nas rosças dos isoladores poliméricos com mica.

Amostra	7,6 daN.m ( $\pm 3\%$ )	7,73 daN.m ( $\pm 3\%$ )
1	passa	passa
2	passa	passa
3	passa	passa
4	passa	passa

Conforme se pode observar, os resultados dos ensaios de torque na base da rosca das amostras demonstram a adequação das mesmas ao requisito por não apresentarem nenhum tipo de dano quando submetidas a um torque mínimo de 7,6 daN.m.  $\pm 3\%$ , tendo em vista que danos também não ocorreram sob um torque de 7,73 daN.m  $\pm 3\%$ .

Nos ensaios elétricos os conjuntos isoladores do exemplo modelo deve suportar uma tensão de impulso (+) de 125 kVpico e uma tensão eficaz sob chuva, na frequência industrial de 60 Hz, de 50 kVrms. Os resultados médios obtidos neste ensaio em três amostras foram: tensão disruptiva de impulso (+) de 128,2 kVpico, tensão disruptiva de impulso (-) 221,3 kVpico, tensão disruptiva de chuva (60 Hz) 67,2 kVrms [4]. Como se pode observar todas as amostras suportaram tensões superiores às exigidas para a classe 25 kV.

## VII. AVALIAÇÃO DOS ISOLADORES EM ÁREA PILOTO

Embora os testes e ensaios de laboratório tenham sido fundamentais para caracterização dos isoladores protótipos das duas misturas poliméricas com formulações diferentes, e tendo em vista trata-se de um projeto de desenvolvimento experimental foram instalados 30 isoladores protótipos, 15 da formulação com mica e fibra de vidro e 15 da formulação com mica nas redes primárias da empresa concessionária por um período de 4 meses e realizado acompanhamento através de inspeções visuais.

Nesta fase não foi observada qualquer anormalidade nos isoladores protótipos. As inspeções realizadas em intervalos de 30 dias. Nas fotos das Figuras 7 e 8 a seguir pode-se visualizar os isoladores protótipos dos dois tipos instalados em redes de média tensão em uma das unidades da concessionária AES Eletropaulo.

ria AES Eletropaulo.



Figura 7 - Três unidades de isoladores protótipos instalados, fixação do cabo com fio de alumínio.



Figura 8 - Três unidades de isoladores protótipos instalados, fixação do cabo com anel elastomérico.

Na foto da Figura 9 a seguir pode-se visualizar 12 unidades de isoladores protótipos instalados na parte inferior do poste (1,80m). Em cruzeta polimérica - 6 isoladores poliméricos de mica, e em cruzeta de aço - 6 isoladores poliméricos de fibra e mica. O objetivo dessa instalação é acompanhar o envelhecimento em condições de exposição às intempéries e oferecer facilidades para inspeção visual.



Figura 9 - Unidades de isoladores protótipos instalados ao tempo.

## VIII. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS ALCANÇADOS - PONTO DE VISTA ANEEL

### A. Originalidade

Os isoladores elétricos de porcelana e de vidro temperado ainda ocupam a primeira posição quanto ao volume de utilização quando comparados aos isoladores elétricos poliméricos, devido ao menor custo, e por apresentarem excelentes características de robustez, resistência aos esforços mecânicos exigidos, além de características favoráveis em termos de rigidez dielétrica.

Apesar de bastante utilizados, os isoladores de porcelana e de vidro temperado estão sendo substituídos pelos isoladores poliméricos devido o acúmulo de sujeira (poeira, areia e agentes poluidores) e água nas saias, trincas no corpo do isolador nem sempre visíveis provocadas pela tração dos cabos passantes e vandalismo. Os isoladores de vidro temperado se quebram de forma repentina, o que os torna atrativo aos depredadores.

Os isoladores poliméricos embora menos susceptíveis às descargas atmosféricas que os tradicionais de cerâmica e vidro também mostram susceptibilidade a estas.

Tais fatores adversos provocam problemas de centelhamento e de abertura de arco voltaico entre os condutores ou entre estes e a estrutura aterrada dos postes de distribuição, retirando a linha primária de distribuição de operação e causando a falta de energia elétrica aos consumidores, além de prejuízos financeiros às empresas concessionárias de energia elétrica causados pelos custos de manutenção da rede e pela não venda de energia elétrica, principalmente em áreas de praias onde o vento, a areia, a maresia e o vandalismo são comuns.

Materiais poliméricos, tais como o epóxi, o polipropileno natural - PPn, e os polímeros reforçados com fibra de vidro há cerca de quatro décadas veem sendo utilizados na fabricação de isoladores elétricos para as redes primárias de distribuição, apresentando características de isolamento, de trabalho e de vida útil em ambientes com presença de poeira ou poluição, e com descargas atmosféricas, superiores a seus similares em porcelana ou em vidro temperado. Mas convencionalmente são formados por polímeros virgens, fornecidos pelas indústrias fabricantes em sua forma original, que redundam de forma direta em custos altos para os isoladores obtidos quando comparados com os tradicionais isoladores de porcelana e vidro temperado.

A originalidade dos produtos obtidos nesta pesquisa foi a obtenção de um compósito polimérico alternativo, que utiliza plástico reciclado, em conjunto com cargas minerais (Mica) de baixo custo, e possui propriedades físico-químicas capazes de atender os requisitos técnicos exigidos em normas, resultando em redução de custos de produção dos novos isoladores desenvolvidos.

Outra novidade obtida no presente desenvolvimento é a utilização de sobras de materiais sólidos industriais (restos de plásticos injetados / aparas de recortes, etc.) na formulação, evitando o descarte desses resíduos pela indústria no meio ambiente, colaborando assim, na redução da contaminação ambiental.

### B. Aplicabilidade

A solução obtida na pesquisa deste desenvolvimento - dois compósitos poliméricos reciclados para a fabricação de isoladores elétricos de alto desempenho, um com preço de aquisição menor para aplicações normais (isolador polimérico com mica) e outro para aplicações especiais de grandes cargas (isolador polimérico com mica e fibra de vidro) e custo similar aos do atualmente comercializados de polímeros puros naturais, são adequados para serem utilizados em redes elétricas de inúmeras localidades, nomeadamente aquelas:

- próximas às subestações, onde falhas e faltas de energia apresentam grandes impactos às regiões elétricas;
- regiões de alta poluição atmosférica (poluição por produtos químicos) onde os fatores corrosivos são preponderantes;
- regiões de praias (deposição de areia, maresia) onde a oxidação deteriora rapidamente as partes metálicas dos tradicionais isoladores de cerâmica e vidro;
- regiões com alto nível de violência onde as depredações acabam retirando de operação as redes de energia e os isoladores poliméricos são mais resistentes a tais agressões;
- regiões de mata, onde o alto nível de umidade reduz drasticamente a vida útil dos isoladores cerâmicos; e
- as regiões desmatadas, onde as redes de energia operam como para raios e os isoladores poliméricos são mais resistentes que os tradicionais isoladores de cerâmica e vidro.

Finalmente espera-se, que com o passar do tempo, também serão beneficiados com os produtos deste projeto todos os circuitos de distribuição aéreos, e principalmente o que utilizam cabos nus, tendo em vista que com o volume de vendas crescente dos isoladores poliméricos, os mesmos devam sofrer reduções nos custos de produção e possam ser disseminados de forma mais geral.

### C. Relevância

Os resultados obtidos no desenvolvimento deste projeto apresentam vários aspectos relevantes às empresas distribuidoras de energia elétrica, às empresas e pesquisadores que participaram da pesquisa, às unidades consumidoras que possuem redes de distribuição (fazendas, indústrias, etc.) e à sociedade consumidora de modo geral.

Para as empresas distribuidoras de energia elétrica e ao Setor Elétrico Nacional o uso dos materiais aqui obtidos em isoladores elétricos deverá contribuir para a melhoria dos indicadores de qualidade do produto eletricidade, colaborando nos atendimentos aos preceitos preconizados pela Resolução Aneel nº 414/2010 e o Módulo VIII - PRODIST/ANEEL, estendendo a melhoria da qualidade do fornecimento de energia elétrica a todas as cargas vinculadas à rede elétrica, bem como, aos núcleos residenciais, comerciais, industriais e principalmente rurais.

A solução obtida nos produtos aqui apresentados deve atender os anseios das concessionárias nacionais, no tocante a sua aplicabilidade nas redes de distribuição, em especial aéreas com cabos nus, tendo em vista: a redução das manu-

tenções causadas por falhas de isoladores, a redução de perdas financeiras causadas pelas não vendas de energia elétrica e principalmente em relação à melhoria da imagem das empresas junto aos seus consumidores pelo maior índice de confiabilidade de seu sistema.

Para as empresas executoras Quantum Inovação e Tecnologia e CGTI o presente projeto se constituiu numa oportunidade de obtenção de resultados práticos no desenvolvimento de tecnologias que envolvam polímeros e colaboram com o meio ambiente.

Por fim para todos os agentes envolvidos e para a toda sociedade o resultado de grande relevância é a redução de custo contribuindo para a modicidade tarifária e a promoção de uma imagem social, tecnológica e ambientalmente correta, aos produtos obtidos se engajarem nos atuais preceitos éticos e de sustentabilidade, ao oferecer à sociedade uma tecnologia que reduz o descarte de sobras de materiais plásticos de produções industriais no meio ambiente, colaborando para a descontaminação ambiental, além de promover a redução do uso de matéria prima oriunda do petróleo.

#### D. Custos

Diante das projeções de custos de venda dos isoladores obtidos, a equipe de pesquisadores participante do projeto entende que os produtos são passíveis de serem industrializados e comercializados, considerando as perspectivas de redução de custos quando os mesmos forem produzidos em larga escala, além dos benefícios que trarão ao meio ambiente, à sociedade e às concessionárias que o utilizarem. No caso deste isolador há de se considerar que o mesmo apresenta características superiores as dos isoladores PPn, pois suportam grandes cargas (massa dos cabos condutores) e mesmo assim seu custo condiz com os praticados no mercado nacional na época de concepção do projeto.

### IX. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

1. As formulações desenvolvidas no projeto foram testadas tanto em corpo de prova como nos protótipos finais, e aprovadas nos ensaios laboratoriais elétricos e mecânicos normatizados.

2. O material da parte isolante do isolador é constituído por componentes não agressivos ao meio ambiente e totalmente reciclável ao final de seu período de utilização; poderá ser aplicado em substituições de madeira em decks, mourões, pallets, etc.. Parte significativa dos materiais componentes das formulações do isolador polimérico é oriunda de materiais reciclados de indústrias.

3. Devido ao uso de materiais abundantes e baratos na composição das formulações utilizadas, pode-se concluir que, para o produto final na fase de produção em escala comercial, o custo deve apresentar valor abaixo dos isoladores poliméricos PPn atualmente comercializados no Brasil.

4. Os depósitos de pedidos de patentes dos materiais obtidos no projeto foram realizados antes de qualquer difusão pública, assegurando a continuidade do desenvolvimento na

cadeia de inovação de modo seguro, bem como nos próximos passos a serem adotados rumo à fabricação dos isoladores poliméricos reciclados.

5. Quando da continuidade do projeto, recomenda-se a inclusão de um fabricante de isoladores, para atuar na melhoria do processo de produção, principalmente na injeção das peças, visando redução do tempo de máquina e consequentemente de custo do produto final. Também deve ser concebida uma geometria inovadora para o isolador a ser produzido, visando aproveitar melhor as características dos novos compósitos.

### X. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

#### *Manuais:*

- [1] Manual 2008 do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, Maio 2008; Agência Nacional de Energia Elétrica -ANEEL.

#### *Relatórios Técnicos:*

- [2] Projeto P&D ANEEL /AES ELETROPAULO/CGTI/QUANTUM código 0390-1023 -“Desenvolvimento materiais alternativos ecológicos de melhor desempenho e vida útil, para fabricação de isoladores com redução dos custos”, 2010/2012.
- [3] a) CCDM/DEMa-UFSCar, Relatório LCP11-001092, 08/12/2011  
a) CCDM-DEMa-UFSCar Relatório RT GNP-11/2010 Nov/2010  
a) CCDM-DEMa-UFSCar Relatório Avaliação Material Isoladores – Maio/2012  
b) AES Eletropaulo Laboratório Engenharia Relatório nº104, de 28/09/2011.  
b) AES Eletropaulo Laboratório Engenharia Relatório nº105, de 28/09/2011.
- [4] FEEC-LAT/UNICAMP, Relatório nº03/2011, de 26/01/2011  
FEEC-LAT UNICAMP, Relatório nº97/2011, de 13/10/2011  
FEEC-LAT UNICAMP, Relatório nº108/2011, de 01/11/2011  
FEEC-LAT UNICAMP, Relatório nº63/2012, de 10/04/2012  
FEEC-LAT UNICAMP, Relatório nº64/2011, de 10/04/2012

#### *Normas:*

- [5] ASTM D 790-00 (Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials).
- [6] ASTM D 638-00 (Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics).
- [7] ASTM D256:02, (Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics).
- [8] ANSI/IEEE 4-1995 (American National Standard techniques for High Voltage).
- [9] ASTM D 149-97a (Standard Test Methods for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies).