



CRUZETAS COMPOSTAS POLIMÉRICAS COM VIGAS DE EUCALIPTO PRESERVADO

Nilton dos Santos Filho	Geraldo Cesar da Silveira
CEMIG Distribuição S.A.	CEMIG Distribuição S.A.
nsfilho@cemig.com.br	gcsilveira@cemig.com.br

Alexandre D. R. Fonseca	Ricardo Araujo dos Santos
CEMIG Distribuição S.A.	CEMIG Distribuição S.A.
adrfonseca@cemig.com.br	raraujo@cemig.com.br

Paulo Eduardo Ribeiro Maciel
CBI Madeiras Ltda
paulomaciel@cbimadeiras.com.br

PALAVRAS-CHAVE

Cruzeta Alternativa, Cruzeta Composta Polimérica com Toras Roliças de Eucalipto Preservado, Cruzeta Torneada ou Perfilada, Cruzetas de Eucalipto, Redes de Distribuição Aéreas.

RESUMO

A busca por cruzetas que eliminem a utilização de insumos nativos sempre foi buscada pela Distribuição Cemig, sendo motivo de diversas pesquisas e estudos.

Este trabalho tem o propósito de divulgar parte da experiência da CEMIG Distribuição, a partir de 2005, na identificação de materiais alternativos para utilização como cruzetas em Redes de Distribuição Aéreas – RDAs, urbanas e rurais, em substituição às tradicionais cruzetas de madeira de lei, pelas cruzetas roliças de eucalipto preservado quimicamente e as mais recentes opções em fibras de vidro, plásticas e metálicas, opções acrescidas pela atual cruzeta composta polimérica com vigas de eucalipto.

Serão apresentados os resultados obtidos no desenvolvimento e utilização de cruzetas compostas poliméricas, com vigamento através de toras preservadas de eucalipto, bem como comentar os ensaios e critérios utilizados para avaliar o insumo, registrando pontos relevantes e as respectivas conclusões parciais obtidas até o fechamento desse trabalho.

1. INTRODUÇÃO

Cruzetas de madeira de lei são historicamente utilizadas em redes de distribuição áreas de energia elétrica no Brasil e em diversos países da América do Sul, América do Norte, Ásia e Europa. No passado foram utilizados no Brasil madeiras nativas na fabricação de postes e cruzetas, como aroeira, maçaranduba, paraju, etc. A lei nacional nº 4.797, de 20 de outubro de 1965, proibiu a utilização de madeira nativa para a fabricação de postes, que passaram a ser produzidos essencialmente a partir de árvores de eucalipto. As coníferas (Pinus, por exemplo) também podem ser utilizadas, mas no Brasil essa utilização é mínima, ao contrário de outros países, como os EUA. Para cruzetas de redes, a legislação ainda permite o uso da madeira de lei e algumas concessionárias ainda adotam essa opção.

Decisões corporativas, movimentos internos e externos contra o extrativismo, a busca pela preservação de florestas nativas, a crescente conscientização ecológica da sociedade e a atuação de organizações não governamentais (ONGs), Ministério Público, assim como o aparecimento e desenvolvimento de soluções alternativas à utilização de madeira de lei, têm incentivado e fortalecido as pesquisas e experiências com outros materiais. Em 2004 foram ampliados os estudos de cruzetas utilizando materiais alternativos, avaliando unidades fabricadas em fibra de vidro, plástico reciclado, compostos poliméricos e eucalipto preservado quimicamente. Os resultados das pesquisas e experimentos permitiram e subsidiaram a decisão interna de não mais adquirir cruzetas de madeira de lei, a partir do ano de 2008.

Todas as soluções alternativas são submetidas a ensaios mecânicos, elétricos e de envelhecimento artificial, avaliações consideradas básicas para cada uma das potenciais soluções. Posteriormente, para os materiais aprovados nos ensaios anteriores, são realizadas instalações experimentais, em alimentadores previamente selecionados, onde cada tipo de cruzeta é avaliado em condições reais de instalação, operação, manutenção e envelhecimento. Para esses alimentadores, são realizadas inspeções semestrais ou anuais, onde se avalia as condições de cada material.

Apesar da aparente maior fragilidade da cruzeta de eucalipto, a sua vida útil efetiva, o menor custo de aquisição, as facilidades de transporte e instalação poderão compensar eventuais substituições em períodos inferiores aos de outras soluções alternativas, onde há expectativas de uma maior vida útil (ainda não efetivamente comprovada, em condições reais, para as cruzetas em fibra de vidro e plástico).

Importante lembrar que o padrão da Cemig, desde dezembro de 1998, para novas redes de distribuição aérea urbana, é a rede compacta (conhecida também como “rede protegida”), onde basicamente não há o uso de cruzetas, mas essencialmente suportes metálicos, poliméricos e isoladores. As redes convencionais (aéreas, cabos nus) representam mais de 97% de nossas instalações e são as usuárias das cruzetas tradicionais. Cabe destacar que 1/3 da rede urbana já é compacta. Devido aos custos, as substituições para o novo padrão de redes são realizadas num ritmo reduzido e geralmente estão ligadas à necessidade de realocações, recapacitações (obras de reforço) e reformas de redes antigas ou degradadas.



Foto 1 – Primeira aquisição de cruzetas roliças – alta sinuosidade e diâmetros incompatíveis.

A partir de 2005, com a participação da Associação Brasileira dos Preservadores de Madeira – ABPM, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT-SP e de alguns fabricantes de preservantes químicos e usinas de preservação, iniciou-se a produção de cruzetas roliças de eucalipto.

Foi dispensada a realização de ensaios elétricos e de envelhecimento acelerado para cruzetas roliças de eucalipto, devido à experiência acumulada no uso de postes e cruzetas em estruturas de linhas de transmissão e distribuição rural, subsidiando esta decisão.

Como empresa sujeita a lei Nº 8.666, que estabelece normas gerais sobre licitações e contratos administrativos pertinentes a obras, serviços, inclusive de publicidade, compras, alienações e locações, realizamos aquisições em 2008 e 2009, onde algumas cruzetas apresentaram defeitos após alguns meses e provocaram faltas, prejudicando o desenvolvimento alcançado por outros fornecedores desenvolvedores. Identificamos peças com alto índice de fendilhamentos, trincas, sinuosidade e mesmo resistência mecânica inferior à necessária, prejudicando a opção e outros fabricantes.

Em 2010 as cruzetas apresentavam uma maior estabilidade mecânica, com redução de empenos, fendilhamento e trincas. O desenvolvimento de bancadas ou estruturas para a furação simultânea e alinhada dos furos nas cruzetas roliças e a elaboração de ferragens próprias à forma cilíndrica das unidades, contornaram as dificuldades iniciais.

A Cemig elaborou uma especificação técnica para o insumo e em 2013, sob nossa coordenação e a participação de concessionárias, fabricantes e instituições de pesquisa e ensino, foi publicada a primeira norma brasileira para cruzetas roliças de eucalipto, a ABNT NBR 16201:2013 - Cruzetas roliças de eucalipto preservado para redes de distribuição elétrica.



Foto 2 – Cruzetas roliças fornecidas em 2010. Significativa redução de empenos e fendas.



Foto 3 – Bancada desenvolvida para furação linear e simultânea das cruzetas roliças, na CBI Madeiras.



Foto 4 – Rede com cruzetas roliças convencionais em redes urbanas.

A maioria das cruzetas roliças retiradas do estoque ou das redes regulares, por estarem muito fendilhadas, foi ensaiada mecanicamente (flexão) e consideradas aprovadas neste quesito. Deve-se considerar que a exposição do cerne e a presença de fendas na região dos furos podem reduzir a vida útil esperada para estes insumos. A partir destas questões, foi pensada a cruzeta composta polimérica com viga de eucalipto.

2. DESENVOLVIMENTO

CRUZETAS COMPOSTAS POLIMÉRICAS COM EUCALIPTO PRESERVADO

Na busca por eliminar a possibilidade de fendilhamentos, prolongar a vida útil da madeira e permitir a fabricação de unidades dimensionalmente regulares, foi desenvolvida a cruzeta composta polimérica, que agrega a alta resistência da fibra de vidro a natural resistência do eucalipto, formando uma solução de custo competitivo, durável e de alta capacidade mecânica.

A madeira de eucalipto deve seguir os quesitos da especificação técnica 02.118-CEMIG-763 - Cruzetas Roliças de Eucalipto Preservado e da norma ABNT NBR 16201:2013 - Cruzetas roliças de eucalipto preservado, que basicamente tratam da seleção das espécies, híbridos e clones mais adequados (através da densidade da madeira), dos limites de defeitos naturais aceitáveis (nós, empenos, conicidade, etc.) e da resistência mecânica mínima necessária. Também são detalhadas, a preservação química, a furação, a placa de informações, as extremidades e proteções adicionais. Antes do revestimento as cruzetas passam por um processo de torneamento ou perfilamento, quando são desbastadas, até se tornarem cilindros regulares. Antes da preservação química são feitos os furos necessários às montagens padronizadas. Cada furo é revestido com um bastão em PVC, que após o revestimento complementam a estanqueidade da madeira em relação ao ambiente onde será instalada.

O revestimento da madeira com fibras de vidro é realizado através de um processo de filamentos contínuos (Filament Winding Process) em ângulos adequados, ao longo de toda a extensão da cruzeta. Como material composto polimérico, a cruzeta deve atender a norma ABNT NBR 15956:2011 - Cruzetas poliméricas – Especificação, métodos de ensaio, padronização e critérios

de aceitação ou a especificação 02.118-CEMIG-777 - Cruzetas Poliméricas para Redes de Distribuição.



Fotos 5 e 6 – Fios contínuos de fibra de vidro, associados à resina específica, bobinados em ângulo, para maior resistência mecânica final.

O processo industrial completa a secagem da resina com lâmpadas especiais (infravermelho), assim que o revestimento é finalizado. Nas extremidades são fixadas placas antifendilhamento, e coberturas de alumínio ou ferro galvanizado (Fotos 10 e 11), onde são gravadas as informações do produto. As laterais das tampas são fixadas no eucalipto, reforçada pela cobertura de resina e fibras de vidro.



Fotos 7 e 8 – Tampa de alumínio, com informações da cruzeta e, abaixo da mesma, a placa antifendilhamento.

Foram definidos diâmetros de 100 e 110 mm, com uma tolerância de 5 mm (superior ou inferior), para os dois comprimentos padronizados utilizados pela Cemig, de 2,4 e 2,8 metros, que resultaram em pesos próximos de 20 e 22 kg, respectivamente.

Ensaio elétrico e mecânico devem seguir os quesitos para a fabricação de cruzetas poliméricas e de madeira, nos pontos pertinentes ao material utilizado, conforme Tabela 1.

ENSAIOS DE ROTINA	ENSAIOS DE TIPO
Identificação	Resistência ao Trilhamento Elétrico
Acondicionamento	Flamabilidade
Acabamento	Absorção de Água
Verificação Dimensional	Ensaio Mecânico de Longa Duração
Resistência à Flexão	Ensaio Mecânicos do Composto - Antes e Após
Resistência à Torsão	Envelhecimento em Câmara de UV (Intemperismo Artificial)
Torque nos Parafusos de Fixação	Tensão Suportável à Frequência Industrial sob Chuva
Resistência à Propagação de Chamas	

Tabela 1 – Ensaio de rotina e tipo requeridos para cruzetas compostas poliméricas com vigas de eucalipto preservado

ENSAIOS MECÂNICOS

Todos os ensaios solicitados para cruzetas poliméricas e também os referentes às cruzetas roliças de eucalipto são requeridos dos fabricantes desta nova modalidade. Portanto são necessários diversos ensaios de rotina e de tipo, conforme Tabela 1.

Como referência para os ensaios mecânicos foram considerados os mesmos esforços requeridos para cruzetas poliméricas de 2,4 e 2,8 metros (conforme ABNT NBR 16201:2013 - Cruzetas roliças de eucalipto preservado para redes de distribuição elétrica), que estipulam valores de flechas máximas admissíveis (sob carga e residuais) e uma carga mínima de ruptura de 1.600 daN (800 daN em cada extremidade da cruzeta).

O ensaio basicamente consta da fixação das extremidades longitudinais da cruzeta e de um tensionamento controlado no centro da viga (conforme Foto 12), atingindo dois valores intermediários (400 e 560 daN, para cruzetas de 2,4 m de comprimento), onde as deformações, durante e depois da carga, são limitadas. Finalmente, aplica-se uma carga de 800 daN, onde não há medição de deformação (com ou sem carga) e não pode ocorrer o rompimento da cruzeta. Os resultados estão condensados na Tabela 2.

Item	Carga Aplicada (daN)	Flecha Máxima (mm)	Flecha Residual Máxima (mm)	Carga de Ruptura (daN)
Amostra 1	400 ($C_N = \text{nominal}$)	17	--	2.029
	560 (igual à 1,4 C_N)	--	0	
	800 (igual à 2 C_N)	Não Aplicável	Não Aplicável	
Amostra 2	400 ($C_N = \text{nominal}$)	20	--	1.901
	560 (igual à 1,4 C_N)	--	0	
	800 (igual à 2 C_N)	Não Aplicável	Não Aplicável	
Amostra 3	400 ($C_N = \text{nominal}$)	22	--	1.637
	560 (igual à 1,4 C_N)	--	2	
	800 (igual à 2 C_N)	Não Aplicável	Não Aplicável	
Amostra 4	400 ($C_N = \text{nominal}$)	23	--	1.823
	560 (igual à 1,4 C_N)	--	2	
	800 (igual à 2 C_N)	Não Aplicável	Não Aplicável	

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de resistência à flexão em 4 amostras, realizados em setembro de 2015.



Foto 9 – Ensaio de flexão na nova cruzeta, nos laboratórios da Cemig em Belo Horizonte, MG.

Para o ensaio de resistência à torsão na cruzeta (Foto 13), é fixado o centro da peça e são colocados pesos específicos em pinos nas extremidades, que resultam em esforços de torsão que não devem provocar danos à cruzeta ensaiada.



Foto 10 – Ensaio de Resistência à Torsão na cruzeta.

A resistência à propagação de chamas (Foto 14) também se apresentou dentro dos limites toleráveis para o insumo, oferecendo suportabilidade para exposição ao fogo prevista.

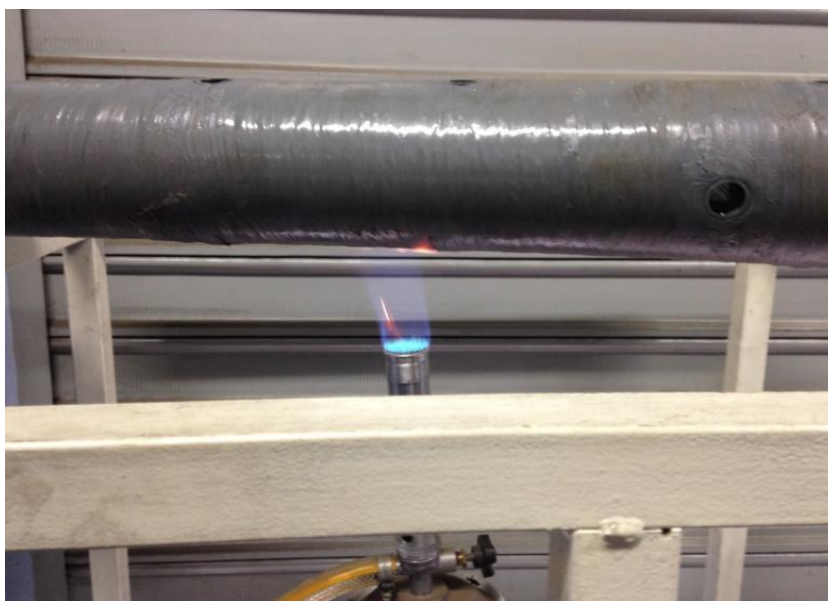


Foto 11 – Detalhe do ensaio de resistência à propagação de chamas.

ENSAIOS ELÉTRICOS

As estruturas de redes de distribuição e linhas de transmissão de madeira possuem um desempenho superior frente a descargas atmosféricas em relação à outros materiais (concreto e metal), graças ao melhor isolamento elétrico proporcionado pela madeira, reduzindo o número de desligamentos, proporcionando um melhor desempenho. A cobertura com fibras de vidro não reduziu o isolamento elétrico da cruzeta e trouxe ganhos em relação a madeira natural, impedindo a troca de umidade com o ambiente e garantindo uma alta hidrofobicidade.

Para uma mesma configuração de rede, o NBI apurado para cruzetas de madeira pode ser resumido conforme Tabela 3.

Características Básicas da Estrutura tipo N1	Com Poste de Madeira (estai rebaixado – abaixo 60 cm da cruzeta)	Com Poste de Concreto Duplo T (estai na posição padrão – 30 cm)
Cruzeta de madeira (madeira de lei ou eucalipto, revestidas ou não), isoladores de pino de 95 kV, mão francesa perfilada instalada do lado oposto ao isolador de pino central.	300 kV	170 kV

Tabela 3 – Valores típicos de NBI para redes com cruzetas de madeira.

Todos os resultados dos ensaios elétricos previstos ultrapassaram os mínimos exigidos para cruzetas de redes de distribuição, avalizando a utilização da solução apresentada.

3. OBSERVAÇÕES E CONCLUSÕES

Essa modalidade de produção tem sido denominada por alguns como uma nova geração de cruzetas de madeira, favorecidas pelo revestimento polimérico, que trazem ganhos nas características mais relevantes do insumo.

As unidades apresentam, portanto:

- Custo em torno de 25% inferior às soluções de plástico e fibra de vidro;
- Revestimento integral com resina e fibras de vidro, proporcionando estanqueidade, inclusive nos furos e extremidades da cruzeta;
- Terminações em alumínio ou ferro galvanizado. Furos com revestimento em PVC. Diâmetro final de 100 mm (± 5 mm) e formato cilíndrico regular;
- Elevada regularidade dimensional e estrutural, facilitando o manuseio, furação, armazenamento e montagens. Aspecto visual mais estável e confiável, pela harmonia dimensional, alinhamento e regularidade da superfície;
- Pigmentação (cor) conforme opção do usuário.

Foram fabricadas aproximadamente e disponibilizadas para a Cemig mais de 100 unidades, que foram utilizadas em ensaios diversos e instaladas em redes convencionais do nosso sistema de distribuição em 2014 e em maior número em setembro de 2015.

Até esta data não foram reportadas nenhuma falha ou dano nas novas cruzetas. Todos os ensaios previstos foram executados na Cemig e em laboratórios certificados, finalizados em maio de 2016, com a aprovação integral das amostras avaliadas, o que resultou na homologação do material para uso em nossas redes rurais e urbanas. Em maio de 2016 foram iniciados os

procedimentos para uma primeira aquisição, de aproximadamente 5 mil unidades. O consumo anual da Cemig é superior a 40 mil cruzetas, de todos os tipos.

Devido aos resultados apresentados nos diversos ensaios realizados e o crescente amadurecimento da solução a cada nova avaliação, consideramos a opção de cruzetas compostas poliméricas com enchimento de madeira aprovada e apta à instalação em nossas redes, rurais e urbanas.



Fotos 12 – Instalação com cruzeta composta polimérica em rede urbana.



Fotos 13 – Instalação com cruzeta composta polimérica em rede urbana.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT NBR 15956:2011 - Cruzetas poliméricas – Especificação, métodos de ensaio, padronização e critérios de aceitação
 2. ABNT NBR 16201:2013 - Cruzetas roliças de eucalipto preservado para redes de distribuição elétrica
 3. Especificação Técnica - 02.118-CEMIG-292 - Postes e Cruzetas de Eucalipto Preservado
 4. Desenho Padrão - 02.118-CEMIG-743 - Cruzeta de Eucalipto Roliço Preservado.
 5. Especificação Técnica - 02.118-CEMIG-763 - Cruzetas Roliças de Eucalipto Preservado
 6. Desenho Padrão - 02.118-CEMIG-779 - Cruzeta Polimérica - Seção Circular
 7. Especificação Técnica - 02.118-CEMIG-777 - Cruzetas Poliméricas para Redes de Distribuição
-