

Cruzetas Impregnada com Resina Poliuretana Derivada de Óleo de Mamona – Processo Industrial.

José Francisco Resende da Silva, Ruy Alberto Correa Altafim, Cacilda Ribeiro Murakami, Heitor Basso, Carlito Calil Jr, Ruy Alberto Pisani Altafim
Clarice Itokazu, Armando Benvenuti e Raymond Woschitz

Resumo- Nos sistemas brasileiros de distribuição de energia elétrica, as cruzetas de madeira nativa são tradicionalmente usadas em larga escala, principalmente em função de seus baixos custos. Contudo, as restrições ambientais ao uso dessas madeiras nativas puro-cerne têm estimulado pesquisas em países como a Noruega e Estados Unidos. Nesta pesquisa, empregando madeiras de reflorestamento, tipo *Pinus elliottii* e *Eucalyptus citriodora*, impregnadas com resinas poliuretanas derivadas do óleo de mamona, foram desenvolvidas novas cruzetas que além de respeitarem as leis ambientais também vem apresentando um desempenho mecânico e elétrico superior às convencionais. O processo de revestimentos e a análise das propriedades mecânicas e elétricas das resinas e das novas cruzetas também foram objeto deste artigo. Este projeto ampliou os ensaios já realizados e identificou processo industrial para produção em escala da nova cruzeta.

Palavras-chave- cruzeta de madeira, linhas de distribuição, mamona e resina poliuretana.

I. INTRODUÇÃO.

As interrupções de energia dos sistemas elétricos resultam de causas diversas. Sejam elas internas ou externas, suas conseqüências geralmente são sempre devastadoras e acompanhadas de grandes perdas para as concessionárias e para os consumidores. Pesquisas de novas tecnologias, novos materiais e novos equipamentos, com maior durabilidade e maior suportabilidade elétrica e/ou mecânica, vêm contribuindo sobremaneira para a redução do DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor) e do FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor).

O que assegura uma melhor qualidade no fornecimento de energia. Seguindo as tendências de países como a Noruega [1] e Estados Unidos [2] que também enfrentam leis de restrições ambientais ao uso de madeiras de nativas puro cerne, esta pesquisa abordou a problemática das cruzetas de

madeira usadas nos sistemas de distribuição.

Aqui, foram desenvolvidas cruzetas com madeiras de reflorestamento, tipo *Eucalyptus citriodora* e *Pinus elliottii* recobertas com resina poliuretana derivada do óleo de mamona [3 e 4], que os ensaios preliminares asseguram excelentes características elétricas e mecânicas e que atendem as exigências das normas NBR 5433 [5] e NBR 5434 [6] dos sistemas de distribuição de energia elétrica. Neste contexto, já foram instalados os primeiros protótipos na rede da área de teste da empresa Elektro Eletricidade e Serviços S.A., para verificar seu desempenho no campo. Os resultados mecânicos e elétricos já documentados em outras literaturas recentes, também foram aqui apresentados.

Cabe ressaltar que, optou-se por substituir a madeira de *Eucalyptus grandis* pela madeira de *Eucalyptus citriodora*, em função de sua maior disponibilidade no mercado e também por essa segunda espécie de madeira possuir propriedades mecânicas superiores à primeira.

O processo de revestimento e a análise das propriedades elétricas e mecânicas das resinas e das novas cruzetas encontram-se descritos nos itens subseqüentes.

Este artigo é produto do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento intitulado “Processo Industrial para Produção de Cruzetas Impregnada com Resina Poliuretana Derivada de Óleo de Mamona para Instalação nas Redes de Distribuição de energia da ELEKTRO” sob numero Aneel 0385-010/2005, desenvolvido por pesquisadores do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos – USP com apoio financeiro da Elektro Eletricidade e Serviços SA.

II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

II -1 PARTE EXPERIMENTAL.

A. Identificação.

Os ensaios experimentais foram divididos em duas categorias: aqueles feitos apenas com resina e aqueles feitos nos protótipos das cruzetas impregnadas. Em ambos os ensaios foram empregados a resina poliuretana derivada do óleo de mamona pura (sem carga), codificada como RI 3, e com carga (sílica) na proporção de 1:0,10, codificada como: RI 3 C10; na proporção 1:0,15, codificada como RI 3 C15; e na proporção de 1:0,20, codificada como RI 3 C20.

Cabe observar que, a escolha destas cargas e de suas proporções foi feita no sentido de não alterar as características físico-químicas da resina poliuretana em

¹Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (V CITENEL), realizado em Belém/PA, no período de 22 a 24 de junho de 2009.

José Francisco Resende da Silva, Clarice Itokazu e Armando Benvenuti Trabalham na Elektro e seus emails para contato são respectivamente jose.resende@elektro.com.br, clarice.itokazu@elektro.com.br e armando.benvenuti@elektro.com.br.

Ruy Alberto Correa Altafim, Ruy Alberto Pisani Altafim, Cacilda Ribeiro Murakami, Heitor Basso e Carlito Calil Jr são pesquisadores da USP e seus emails para contato são altafim@sel.eesc.usp.br, cacilda@sel.eesc.usp.br, heitor.basso@sel.eesc.usp.br

estudo [4 e 7] e assegurar um menor custo ao produto final.

B. Preparação da Resina e dos Corpos de Prova.

A resina poliuretana é formada por dois componentes, o pré-polímero e o polioli, na proporção de 1:1,5, com tempo de cura total de 24 horas na temperatura ambiente. A preparação da resina inicia-se com a pesagem do polioli na balança e acrescentando-se carga na proporção desejada. Para misturar a carga de modo homogêneo foi utilizado um misturador à vácuo, durante 5 minutos. O pré-polímero foi adicionado e misturado ao material durante 6 minutos, sob vácuo.

Para os ensaios mecânicos na resina, os corpos de prova foram obtidos vertendo-se a resina preparada em moldes padrão. Já os protótipos das cruzetas foram preparados revestindo-se cruzetas de madeira com uma camada de 0,20 mm de resina, correspondente a aproximadamente 300 gramas de material polimérico. Essa camada foi obtida impregnando a resina, em toda a superfície de madeira, com o auxílio de um tecido de algodão.

C. Ensaios Mecânicos na Resina Poliuretana.

Nos ensaios mecânicos da resina foram realizados ensaios de tração, de resistência ao rasco e de dureza.

Nos ensaios de tração foram empregados cinco (5) corpos de prova, com tempo de cura de 120 horas e de 3 meses, com espessura de 3 mm e no formato tipo II, definido pela norma ASTM [8]. Enquanto que, para ensaio utilizou-se também o formato normalizado [9], que podem ser vistos na figura 1. A velocidade do ensaio de tração foi estabelecida em 50,0 mm/minuto e no de resistência ao rasco, em 51,0 mm/minuto.

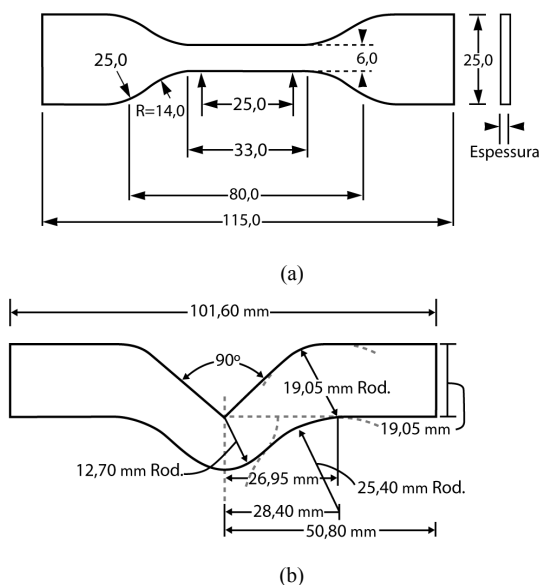


Figura 1. Dimensões dos corpos de prova: (a) ensaio de tração mecânica; e (b) ensaio de resistência ao rasco.

No ensaio de dureza [10], foram usados 5 corpos de prova quadrados de 45 x 45 mm e 3,0 mm de espessura, aproximadamente. Os ensaios foram realizados em condições de temperatura 25 °C e umidade relativa do ar, 51%. Embora esse material não seja higroscópico, as amostras foram condicionadas às mesmas condições

normais de temperatura e umidade relativa de ar durante três horas antes dos ensaios.

D. Ensaio de Tração Mecânica na Madeira Resinada submetida às Diferentes Condições Climáticas.

No ensaio de tração mecânica da madeira (*Eucalyptus citriodora*) impregnada com a resina poliuretana derivada do óleo de mamona do tipo RI 3 com carga (sílica) foram utilizadas 10 amostras confeccionadas no mesmo dia, porém metade delas foi submetida ao ciclo de variação de temperatura (de -10°C a + 60°C) e de umidade relativa do ar (de 0% a 92%) segundo a norma técnica IEC 60068 [11], no laboratório da Universidade Técnica de Graz, na Áustria, em parceria com o Grupo de Alta Tensão e Medidas da EESC - USP.

A figura 2 apresenta os corpos de prova com espessura em torno de 7 mm e de largura próxima à 50 mm, após um mês de tempo de cura.

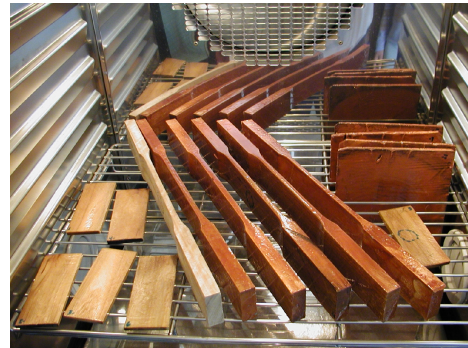


Figura 2. Corpos de prova de madeira resinada, utilizados no ensaio de tração mecânica.

Após 10 ciclos ao ciclo de variação de temperatura (de -10oC a + 60oC) e de umidade relativa do ar (de 0% a 92%) segundo a norma técnica IEC 60068 [11], esses corpos de prova foram submetidos ao ensaio de tração mecânica na Máquina Universal de Ensaios DARTEC LTD, com capacidade para 100 kN (figura 3), do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras da Escola de Engenharia de São Carlos – USP.



Figura 3. Ensaio de tração mecânica na madeira impregnada com a resina poliuretana RI 3.

Antes e depois dos corpos de prova terem sido submetidos à câmara de climatização, foram observadas suas superfícies com o auxílio de um microscópio, conforme a figura 4.



Figura 4. Uso do microscópio na observação da superfície dos corpos de prova.

Este ensaio foi realizado com o objetivo de verificar o comportamento mecânico desse novo material após a sua submissão em condições climáticas consideradas críticas.

E. Ensaios elétricos na resina poliuretana.

Os ensaios elétricos desse trabalho concentraram-se na determinação da permissividade e da condutividade volumétrica da resina. Nos ensaios, foi empregada uma ponte RLC, marca HP-4084 A 20 HD – 1MHz – Precision LCR Meter, conectada a uma célula de três eletrodos (com eletrodo guarnecido), variando-se a frequência de 20 Hz a 1MHz.

Os corpos de prova foram confeccionados com a resina pura e com carga na proporção de 1:0,20 nas dimensões de 100 mm de diâmetro e de 2 mm de espessura.

F. Ensaios de Flexão Mecânica nas Cruzetas Resinadas.

Os procedimentos dos ensaios foram realizados conforme a Norma Técnica da ABNT - NBR 8458 [12].

Os dois esforços F foram iguais e aplicados simultaneamente na face da cruzeta, segundo a figura 5, que identifica os pontos de fixação.

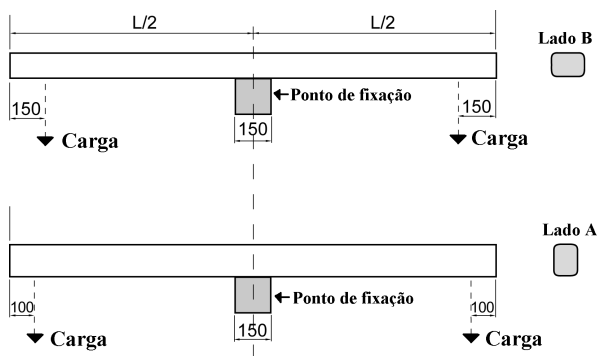


Figura 5. Pontos de aplicação da carga mecânica.

G. Ensaios de NBI em Cruzetas Convencionais e no Protótipo Desenvolvido

Este ensaio foi realizado em cruzetas de 2,4 metros padronizadas de madeira de *Eucalyptus citriodora* sem impregnação e com impregnação de resina pura e com carga na proporção de 1:0,20. Foi utilizado um Kit de Alta Tensão da HAEFELY-TRENCH, com a forma de onda padrão de 1,2/50µs e para um nível máximo de tensão de impulso de até 140 kV. A figura 6 apresenta a montagem do ensaio elétrico nas cruzetas, onde foram aplicadas tensões de impulso em três pontos de cada cruzeta até a ruptura, nas condições ambientais de 25,5°C e de 36% de umidade relativa do ar.

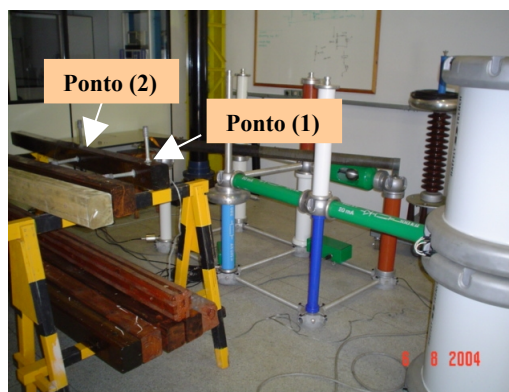


Figura 6. Ensaio de nível básico de impulso nas cruzetas.

II - 2. RESULTADOS

H. Resultados dos Ensaios Mecânicos na Resina Pura e com Carga.

Os resultados dos ensaios mecânicos realizados na resina poliuretana derivada do óleo de mamona, RI 3 pura e com carga nas proporções de 1:0,10, 1:0,15 e 1:0,20, após 120 h e três meses de cura encontram-se na tabela I.

Tabela I. Ensaios Mecânicos na resina RI3 após 120 h de Cura.

Material	Tensão de tração (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)	Força de resistência ao rasgo (N)	Dureza (Shore D)
Resina RI 3	3,06	7,51	38,76	36,6
Resina RI 3 C10	6,29	9,12	53,02	40,6
Resina RI 3 C15	7,28	10,85	----	41,2
Resina RI 3 C20	7,28	21,05	56,42	42,8

Tabela II. Ensaios Mecânicos na resina RI 3 após três meses de cura.

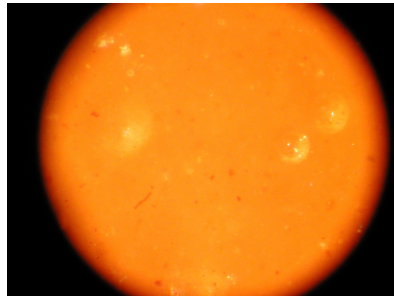
Material	Tensão de tração (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
Resina RI 3	12,48	232,1
Resina RI 3 C10	22,22	462,7
Resina RI 3 C15	25,36	484,8

Os valores obtidos da força de resistência ao rasgo dos corpos de prova de resina com carga na proporção de 1:0,15 não foram incluídos na comparação dos resultados, porque as suas espessuras apresentaram valores inferiores ao valor médio das espessuras, com variação acima de 10%.

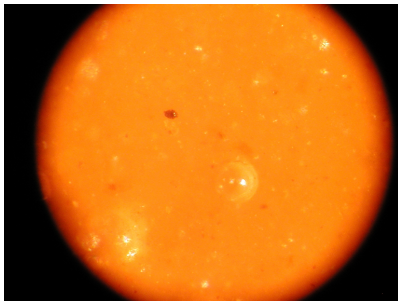
I. Resultados do Ensaio de tração mecânica na madeira resinada submetida às diferentes condições climáticas.

Primeiramente, é interessante observar que não ocorreu nenhum dano à superfície dos corpos de madeira impregnada com o composto da resina RI 3 após eles terem sido submetidos às condições críticas de temperatura e de umidade nos dez ciclos da norma IEC 60068[11], conforme

ilustra as fotografias da figura 7, obtidas no microscópio com multiplicação de 100 vezes na imagem.



(a)



(b)

Figura 7. Fotografias microscópicas dos corpos de prova de madeira resinada: (a) antes; e (b) depois.

Os resultados obtidos nos ensaios de tração mecânica da madeira impregnada com o composto da resina RI 3, encontram-se nas tabelas III e IV.

Tabela III. Ensaios de tensão de Tração na Madeira Resinada antes do Envelhecimento.

Identificação do corpo de prova	Largura (mm)	Espessura (mm)	Força máxima (kN)
ECR 1	48,4	7,73	44
ECR 2	48,3	7,63	45,4
ECR 3	48,6	7,6	43,1
ECR 4	48,0	7,19	49,2
ECR 5	47,7	7,68	51,2
Valor Médio	48,2	7,57	46,6
Des. Padrão	0,4	0,2	3,5

Tabela IV. Ensaios de Tensão de Tração na Madeira Resinada depois do Envelhecimento.

Identificação do corpo de prova	Largura (mm)	Espessura (mm)	Força máxima (kN)
ECRE 1	48,2	7,92	52,6
ECRE 2	48,4	6,9	48,2
ECRE 3	48,2	7,34	55,2
ECRE 4	48,7	7,24	42,9
ECRE 5	47,8	5,95	25,9
Valor Médio	48,3	7,07	45,0

Des Padrão	0,3	0,7	11,6
------------	-----	-----	------

J. Resultados dos Ensaios Elétricos na Resina Poliuretana derivado do Óleo de Mamona, RI 3.

Os resultados dos ensaios elétricos realizados na resina poliuretana derivada do óleo de mamona RI 3 pura e com carga na proporção de 1:0,20, relativos a medição da permissividade elétrica e condutividade volumétrica encontram-se nas figura 8 e 9.

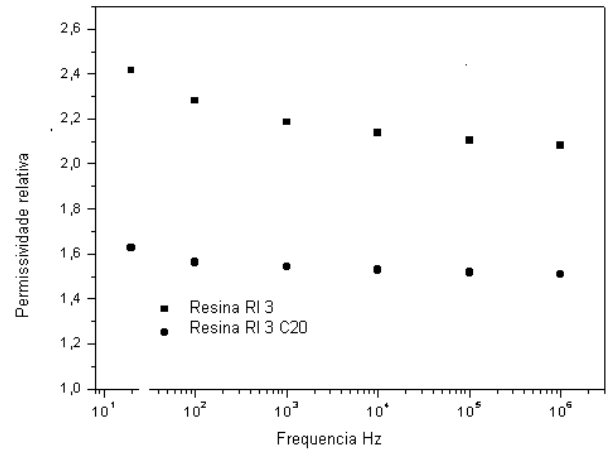


Figura 8. Permissividade elétrica relativa da resina RI 3 sem carga e com carga na proporção 1:0,20.

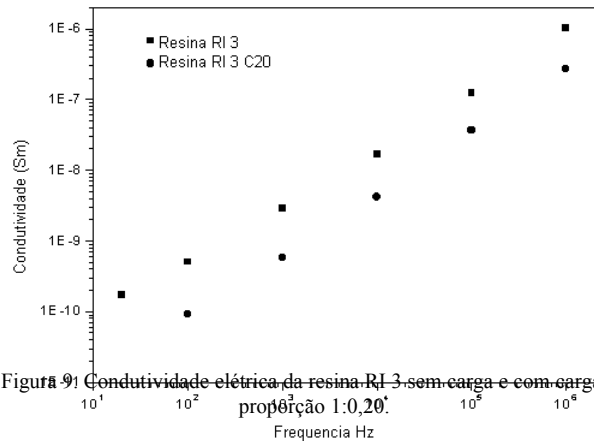


Figura 9. Condutividade elétrica da resina RI 3 sem carga e com carga na proporção 1:0,20.

L. Resultados Mecânicos Efetuados nas Cruzetas.

Os resultados apresentados nas tabelas V, VI e eVII são fruto de experiências realizadas no Departamento de Estrutura de Madeiras da EESC-USP. A madeira utilizada foi do *Eucalyptus citriodora*, impregnada ou não com os diferentes tipos de resina.

Tabela V. Resistência à Flexão Mecânica de 400 kgf

Cruzeta de 2,4 metros	Deslocamento (mm)		Deslocamento máx. [11] (mm)
	A	B	
<i>Eucalyptus citriodora</i> sem impregnação	5.73	7.95	115

<i>Eucalyptus citriodora</i> impreganada com a resina RI 3	4.79	6.21	115
<i>Pinus eliottii</i> sem impregnação	17.62	24.30	115
<i>Pinus eliottii</i> impregnada com a resina RI 3	9.12	13.25	115

Tabela VI. Resistência à Flexão Mecânica de 560 kgf

Cruzeta de 2,4 metros	Deslocamento (mm)		Deslocamento máx. [11] (mm)
	A	B	
<i>Eucalyptus citriodora</i> sem impregnação	8.12	11.08	163
<i>Eucalyptus citriodora</i> impreganada com a resina RI 3	6.56	8.60	163
<i>Pinus eliottii</i> * sem impregnação	25.14	33.63	163
<i>Pinus eliottii</i> impregnada com a resina RI 3	12.55	18.12	163

* Ocorreu ruptura durante o ensaio.

Tabela VII. Ruptura a Flexão Mecânica

Cruzeta de 2,4 metros	Ruptura (N)	Ruptura mínima a [11] (N)
<i>Eucalyptus citriodora</i> sem impregnação	20.162	7.845
<i>Eucalyptus citriodora</i> impreganada com a resina RI 3	28.123	7.845
<i>Pinus eliottii</i> sem impregnação	13.896*	7.845
<i>Pinus eliottii</i> impregnada com a resina RI 3	10.502*	7.845

* Ocorreu ruptura durante o ensaio.

M. Resultados Elétricos efetuados nos Protótipos de Cruzetas.

Os resultados dos ensaios elétricos para determinar o NBI das cruzetas de madeira encontram-se descritos na tabela VIII.

Tabela VIII. Valores Médios obtidos no ensaio de N.B.I. realizado nas cruzetas de madeira revestidas com resina RI 3. ESINA RI 3.

Tensão de impulso de ruptura (kV)	Cruzeta de madeira	Cruzeta de madeira revestida com resina RI 3 (sem carga)	Cruzeta de madeira revestida com resina RI 3 (com carga - I: 0,20)
NBI	24	32	37

II - 3. PROCESSO INDUSTRIAL

A avaliação do Processo Industrial permitiu a equipe permear diversos métodos de processamento e industrialização de produtos baseados em polímeros.

Descreve-se a seguir alguns importantes:

A – Processo de Pultrusão:

O processo de pultrusão é um método de fabricação contínuo, mecanizado, para produtos de seção uniforme, em resina poliéster, epoxi estervinílica ou fenólica reforçada com fibras de vidro, de performance superior aos materiais convencionais e que apresenta resistência mecânica superior a materiais termoplásticos.

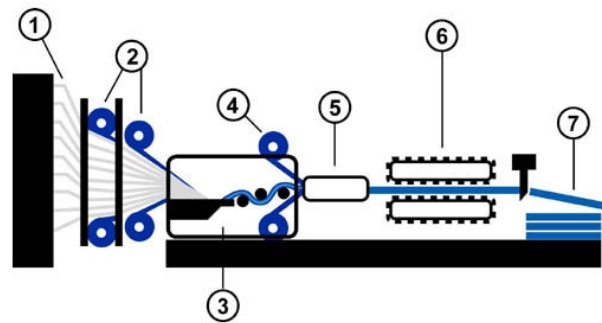


Figura 10. Desenho esquemático do Processo de Pultrusão (CSE Composites)

Legenda do processo de Pultrusão:

1. Fios em fibra-de-vidro responsáveis pela resistência longitudinal dos perfis;
2. Manta em fibra-de-vidro disponível em diversas ramaturas, a manta é responsável pela resistência ransversal dos perfis;
3. Tanque de resina local onde é feita a impregnação dos fios e mantas em fibra de vidro .
4. Manta;
5. Ferramenta de pultrusão onde ocorre a cura da resina. o perfil toma sua forma e torna-se rígido;
6. Puxadores;
7. Perfil pultrudado.

O processo de pultrusão é inviável para promover o revestimento da cruzeta roliça com resina poliuretana.

B – Processo de Extrusão

Outro processo de fabricação de material polimérico é o de extrusão.

Os ingredientes e as matérias-primas processados por extrusão termoplástica são normalmente submetidos a um severo tratamento térmico, à alta pressão e sob forte cisalhamento, sendo o teor de umidade adequadamente controlado. Sob estas condições, ocorrem profundas e complexas mudanças físico-químicas e estruturais no material, as quais ainda não são bem compreendidas.

Pode-se definir, de forma simplificada que a extrusão é um processo H.T.S.T. (High Temperature Short Time ou Alta Temperatura por Curto espaço de Tempo) de tratamento térmico, que por uma combinação de calor,

umidade e trabalho mecânico, modifica profundamente as matérias primas, dando-lhes novas formas, estruturas e características funcionais e nutricionais.

O material a ser tratado é deslocado ao longo de um cilindro, no interior do qual uma (extrusores mono-roscas) ou duas roscas (extrusores dupla rosca) giram.

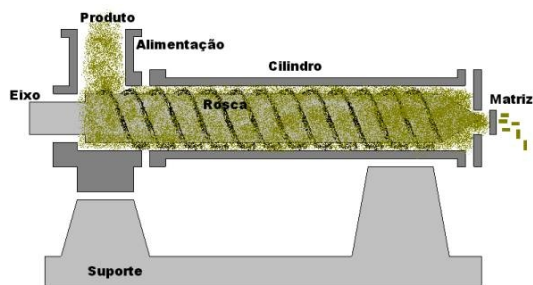


Figura 11. Desenho esquemático do Processo de Estrusão (Site Setor 1)

O processo de extrusão não se aplica a produção de cruzetas resinadas pois a resina poliuretana encontra-se em estado líquido e não poderia ser extrudada na forma em que foi caracterizada eletricamente.

C – Processo de Pintura Industrial

O processo de pintura industrial, figura 12, executado em cabine também foi objeto de estudo para se fazer o revestimento da cruzeta roliça. O que caracteriza uma cabine de pintura, além da presença da cortina d'água frontal, é a eficiência real da câmara de lavagem. Possuem no interior de sua câmara de lavagem, uma barreira contínua de água pulverizada por bicos especialmente projetados, que arremessam o particulado de resina contido no ar de exaustão, para o tanque de água, evitando a contaminação do ambiente externo. Construção Modular em chapa galvanizada. Área de trabalho ampla com iluminação adequada. Exaustor com hélice anti-faísca e acionamento indireto por polias e correias. Bomba centrífuga de alto rendimento.

Proteção elétrica total dos motores e luminárias através de chaves de partida. Esta cabine permite a utilização de bicos de aspersão da resina onde se torna necessário o desenvolvimento de tanque intermediário para a mistura da resina poliuretana e o polioli. Como o processo de secagem é muito rápido, a resina é preparada em uma forma mais líquida. Os bicos precisam ter uma limpeza cíclica para não prejudicar o processo.



Figura 12. Cabine de Pintura Industrial (Site Centrovent)

D – Processo de Pincelamento

O processo de revestimento superficial através de pincelamento foi estudado e apresentou o melhor custo benefício para as empresas madeireiras.

Este processo consiste no preparo da resina em recipiente específico, ou seja mistura de polioli e resina, na construção de estaleiros para suporte das cruzetas, pinceis, luvas de silicone (cirúrgicas) para o processo de pincelamento. Selecionou-se as peças de acordo com os dimensionais utilizados pelo mercado e em seguida foram inseridas no sobre os cavaletes.

As cruzetas são extraídas de áreas de reflorestamento, selecionadas, secas em ambiente controlado e tratadas, conforme especificação descrita abaixo:

II - 3. CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO

A seleção do processo produtivo com melhor custo benefício a definição técnica do produto, permitiu a criação de uma norma específica para a produção da cruzeta roliça de *eucalyptus critriodora* impregnada com resina poliuretana a base de óleo de Mamona.

Na figura 13 vê-se o desenho e dimensionais da cruzeta.

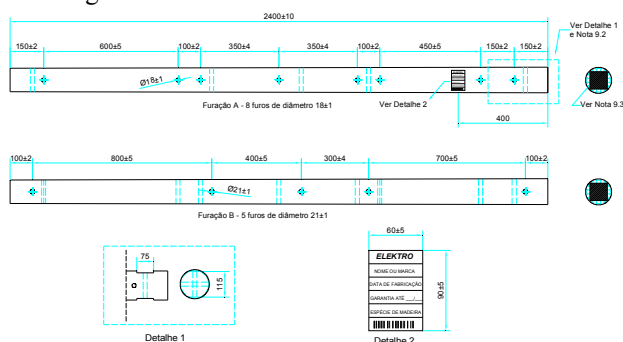


Figura 13. Cruzeta roliça resinada 2.400 mm – Dimensões em Milímetros.

Definiram-se através deste projeto as características para produção da cruzeta roliça, conforme descreve-se:

A. Material

Eucalipto da espécie citriodora ou outra madeira de reflorestamento com resistência Mecânica e com capacidade de absorção de material preservativo abrangidas por esta especificação.

B. Tolerância

Conforme indicadas na figura 13.

C. Acabamento e secagem

O processo de secagem deve garantir a isenção de fendas e a preparação das peças deve garantir a isenção de farpas.

D. Tratamento e Impregnação com Resina

A cruzeta deve ser preservada com hidrossolúveis de densidade de retenção mínima de 9,6 kg/m³ e média de 11,5 kg/m³. Após a preservação da cruzeta, as extremidades devem ser apropriadamente cobertas com produto impermeabilizante (uma nova camada de resina poliuretana) e inserido o Gang Nail.

Após o tratamento a cruzeta deve ser impregnada em sua superfície por uma camada de no mínimo 0,25 mm de resina poliuretana a base de óleo de mamona.

A empresa fornecedora da cruzeta deve apresentar documentação de origem da resina.

A forma de impregnação pode ser a pincel, pistola ou cabine de pintura.

Os furos não necessitam estar impregnados. Em caso de impregnação a camada não deve ser superior a 0,10 mm e não deve conter excessos.

O revestimento da cruzeta poderá ser realizado com manta geo-sintética e impregnada com resina poliuretana a base de óleo de mamona, com camada de 4,0 mm da manta e mínimo de 0,25 mm de resina sobre a superfície da manta.

E. Resistência Mecânica

A cruzeta deve ter resistência nominal de 400 daN, limite de carregamento excepcional 40% superior à resistência nominal e resistência à ruptura mínima de 800 daN, ensaiada de acordo com a norma Elektro ND.38.

F. Outras Condições

Diâmetro = 110 ± 20 mm, medida no centro da cruzeta;

Conicidade: ≤ 1 cm/m;

Espessura do alburno ≥ 20 mm;

Umidade "in natura" ≤ 25%;

Ausência de "nós";

Demais requisitos e ensaio devem ser conforme NBR 8458, NBR 8459 e norma ND.38 da Elektro.

G. Tratamento e impregnação com Resina Poliuretana

A cruzeta deve ser preservada com hidrossolúveis de densidade de retenção mínima de 9,6 kg/m³ e média de 11,5 kg/m³. Após a preservação da cruzeta, as extremidades devem ser apropriadamente cobertas com produto impermeabilizante (uma nova camada de resina poliuretana) e inserido o Gang Nail.

Após o tratamento a cruzeta deve ser impregnada em sua

superfície por uma camada de no mínimo 0,25 mm de resina poliuretana a base de óleo de mamona.

A empresa fornecedora da cruzeta deve apresentar documentação de origem da resina.

A forma de impregnação pode ser a pincel, pistola ou cabine de pintura.

Os furos não necessitam estar impregnados. Em caso de impregnação a camada não deve ser superior a 0,10 mm e não deve conter excessos.

O revestimento da cruzeta poderá ser realizado com manta geo-sintética e impregnada com resina poliuretana a base de óleo de mamona, com camada de 4,0 mm da manta e mínimo de 0,25 mm de resina sobre a superfície da manta.

III. CONCLUSÕES.

A partir dos ensaios mecânicos efetuados na resina RI 3 com diferentes proporções de carga, optou-se pelo compósito da resina com a proporção de 1:0,2 (resina e sílica), porque apresentou as melhores propriedades, como a tensão de tração, o módulo de elasticidade, a resistência ao rasgo e a dureza mecânica. Comparando-se os resultados, observa-se que, com o tempo, a resina e seus compósitos aumentaram significativamente os seus valores de resistência à tração e de módulo de elasticidade. O que permite classificar estas resinas com e sem carga submetidas ao ensaio de tração após 120 horas de cura como "plástico não rígido" (com o módulo de elasticidade abaixo de 70 MPa), e, para um maior tempo de cura, como "plástico semi-rígido" (com módulo de elasticidade maior que 70 MPa), conforme a descrição da norma ASTM D 883 [13].

Os valores de força máxima de ruptura obtidos com os corpos de prova de madeira resinada e submetidos a diferentes tratamentos, encontram-se dentro do coeficiente de variação das propriedades da madeira de reflorestamento que é de 18%, conforme a norma técnica da Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 7190/97 [14]. Também, quanto aos corpos de madeira impregnada com o compósito da resina RI 3 após eles serem submetidos às condições críticas de temperatura e de umidade nos dez ciclos apresentados da norma IEC 60068 pôde-se observar que eles não apresentavam danos em suas superfícies [11].

Com relação às cruzetas de madeira de reflorestamento impregnadas com resinas, elas além de apresentarem um importante aspecto ecológico, sobejamente atendem as leis ambientais vigentes. Alia-se ao fato, de que quando elas foram submetidas aos ensaios mecânicos, pôde-se observar um aumento de até 30% nas propriedades de flexão e de ruptura mecânicas, e, aos ensaios elétricos, também um aumento do NBI, sendo de 34% para as cruzetas impregnadas com resina RI 3 e de 57% com o compósito RI 3 C20.

Embora as cruzetas de *Pinus elliottii* resinadas apresentem estimativa de custos menores que as tradicionais, elas não foram aprovadas neste projeto porque possuem restrições na sua aplicação, detectadas nos ensaios mecânicos de flexão.

Contudo, em relação às cruzetas de madeira de reflorestamento (de *Eucalyptus citriodora*) revestidas com a resina poliuretana derivada do óleo de mamona - RI 3, elas

possivelmente apresentarão, em escala industrial, preços ainda menores que as tradicionais comerciais usadas como referência, e com a vantagem de possuírem ótimas características de desempenho na rede de distribuição de energia elétrica.

O processo de pincelamento é o que apresenta melhor relação custo/benefício e é recomendada para uso nos fornecedores de madeira para os quais já foi realizada a transferência tecnológica.

Foram instaladas no ano de 2007 3.497 un de cruzetas roliças resinadas confeccionadas com o processo estabelecido neste projeto.

IV. AGRADECIMENTOS.

Este trabalho foi realizado com a colaboração recebida do Laboratório de Química Analítica do Instituto de Química de São Carlos (USP), do Laboratório de Geossintético do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (USP), do Instituto de Eletrotécnica de Energia (IEE) – Universidade de São Paulo, da empresa Matra., e dos apoios financeiros da ANEEL através de P&D, da ELEKTRO – Eletricidade e Serviços S.A. e do CNPq.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. E. Asböll “Laminated wood structures in Norwegian Transmission Lines. Overhead Line Design and Construction: Theory and Practice”, International Conference, November, 1988, pp. 36-39.
- [2]. S.A Liebel and Mueller, “Douglas Fir Crossarms Solid Sawn vs. Laminated Comparison”, Transmission and Distribution Conference, Proceedings of the 1994 IEEE Power Engineering Society, April, 1994, pp. 581-586.
- [3]. R.A.C. Altafim; C.R. Murakami; G.O. Chierice; J.A.M Agnelli, , “Mechanical and Electrical Characteristics of Polymeric Insulators Manufactured from Castor Oil Resins”, 2002 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society. October, Cancun, Mexico, 2002, pp. 335-338.
- [4]. R.A.C. Altafim, C.R. Murakami, S. Claro Neto, L.C.R. Araújo and G.O. Chierice, “The effects of fillers on the service properties of polyurethane resins”, Materials Research Magazine, São Carlos, Brazil, April-June 2003, vol. 6, no. 2, pp. 187-191.
- [5]. Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 5433 - Redes de distribuição aérea rural de energia elétrica”, Rio de Janeiro, 1982.
- [6]. Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 5434 - Redes de distribuição aérea urbana de energia elétrica”, Rio de Janeiro, 1982.
- [7]. “Plastics Compounding Redbook”, Duluth MN, EUA, 1.987/88.
- [8]. American Society for Testing and Materials, “ASTM D638 - Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics”, West Conshohocken, USA, 1996.
- [9]. American Society for Testing and Materials, “ASTM D1004 - Standard Test Method for Initial Tear Resistance of Plastic Film and Sheeting”, West Conshohocken, USA, 1994.
- [10]. American Society for Testing and Materials, “ASTM D2240 - Standard Test Method for Rubber Property - Durometer Hardness”, West Conshohocken, USA, 1997.
- [11]. International Electrotechnical Commission, “IEC 60068-2-38 - Environmental testing – Part 2 – 38 – Test Z/AD: Composite temperatura / humidity cyclic test”, Switzerland, 1974.
- [12]. Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 8458 – Cruzetas de Madeira para Redes de Distribuição de Energia Elétrica – Especificação”, Rio de Janeiro, 1984.
- [13]. American Society for Testing and Materials, “ASTM D883 - Standard Terminology Relating to Plastics – American Society for Testing and Materials”, West Conshohocken, USA, 1996
- [14]. Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira”, Rio de Janeiro, 1997.