

Otimização de Processos de Inspeção e Retratamento de Postes de Madeira em Serviço em Linhas de Distribuição de Energia Elétrica

Marçal Pires¹, Berenice. A. Dedavid¹, Marcos Cruz², Flavio L. Vidor¹, Adriano Gabiatti², Pedro Montani², Andre Bartholomeu³

Resumo –Foram propostos e validados procedimentos de inspeção e retratamento de postes de madeira em serviço na rede de distribuição de energia elétrica da AES Sul no RS, visando avaliar o tempo de vida útil dessas estruturas. Os resultados obtidos permitiram estimar, a partir de uma amostra de 10.000 postes, o estado de conservação e sua evolução no tempo, a idade média dos postes da rede e a eficiência do seu retratamento, bem como a influência de diferentes parâmetros nessas variáveis. Foram também testados equipamentos comerciais para inspeção *in situ*, baseados em medidas higroscópica e por ultrassom. O projeto gerou uma metodologia confiável para a inspeção, por meio de técnicas instrumentais validadas e da adequação das técnicas tradicionalmente usadas, agregando precisão e menor subjetividade nessa avaliação. Os resultados preliminares do retratamento de postes em serviço indicaram diminuição no apodrecimento da madeira durante o período avaliado.

Palavras-chave – Postes de Madeira, Inspeção, Retratamento, Tratamentos Curativos, Métodos Não destrutivos

I. INTRODUÇÃO

No Brasil o uso de postes de madeira como suporte para redes de eletricidade é mais representativo nos estados do sul [1]. No Rio Grande do Sul (RS) este uso é mais intenso nas redes de distribuição de energia elétrica, com as três concessionárias que atendem o estado totalizando 2.277.000 postes de madeira (80% do total de postes) [2]. O aumento da vida útil dos postes em serviço é de interesse estratégico para as empresas do setor não só devido aos custos de substituição, mas também devido aos problemas inerentes da interrupção de fornecimento de energia. Dentre esses problemas, cabe destacar as perdas no faturamento e o comprometimento com indicadores técnico, que refletem na confiabilidade do sistema.

Programas adequados de inspeção podem contribuir significativamente para que o aumento do tempo de vida da estrutura se estenda além dos 15 anos previsto em norma

NBR 8456 [3]. Dessa forma previne-se a substituição de postes na rede antes do tempo previsto, mantendo a qualidade estrutural dos mesmos. O conhecimento do comportamento do ciclo de vida destas estruturas de madeira permite, entre outros, a busca de alternativas para garantir o aumento de sua vida útil. Da mesma maneira que o custo da manutenção preventiva pode cair com uma programação baseada em dados reais, a confiabilidade do sistema elétrico tende a aumentar [4]. A análise dos dados das inspeções periódicas pode evidenciar o perfil da degradação dos postes na rede ao longo do tempo. Porém para uma avaliação segura, os dados devem conter informações sobre o tratamento químico utilizado para a fabricação do poste e o local de sua instalação na rede.

Devido a sua origem biológica a madeira é susceptível a deterioração [5-6]. No RS os postes de madeira se deterioram devido principalmente ao ataque de fungos apodrecedores, que se proliferam principalmente na linha do engastamento do poste. Este é o ponto mais crítico à biodeterioração, devido à umidade e ao oxigênio presentes nessa região. Portanto, melhorar a qualidade dessa matéria-prima por meio de tratamentos preventivos e curativos torna-se um requisito fundamental na viabilização do seu uso como estrutura de sustentação de redes de energia. Os tratamentos preventivos envolvem o uso de preservantes químicos durante a produção dos postes de madeira. Dentre esses preservantes cabe destacar o creosoto que possui composição química oleossolúvel complexa e bastante tóxica, junto a problemas de manipulação, que levaram ao abandono do seu uso no Brasil a partir de 1998. Desde então se utiliza somente o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA). Esse preservante, apesar de menos tóxico, pode também apresentar problemas ambientais relacionados principalmente ao seu descarte no final de vida útil dos postes.

O processo de tratamento curativo, também chamado retratamento, para postes de madeira em serviço é utilizado como alternativa para intervir no processo de biodeterioração e consiste na utilização de produtos químicos sobre os agentes deterioradores da madeira, prevenindo a sua ação ou parando-a quando em fase inicial [4]. Até recentemente no mercado brasileiro era comercializado um produto chamado Osmocreo [7], fungicida e inseticida de consistência pastosa. Como o produto não está mais sendo comercializado, devido a não renovação de seu registro pelos órgãos de controle ambiental, não havia disponível no mercado nacional outro produto destinado ao retratamento de postes de madeira em serviço, o que motivou a busca de alternativas. Dentre elas

Informações sobre o Projeto de P&D: Otimização de Processos de Retratamento e Controle de Postes de Madeira Utilizados em Redes de Energia Elétrica - Fase III; AES Sul; PUCRS; 'ciclo no qual o projeto foi aprovado e executado'; 'Investimento R\$ 1.893.511,25'.

¹ Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (e-mails: mpieres@pucrs.br; berenice@pucrs.br; flavio@yahoo.com.br).

² AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S.A. (e-mail: adriano.gabiatti@aes.com, pedro.montani@aes.com, marcos.cruz@aes.com).

³ Universidade São Francisco de Itatiba-SP (e-mail: bartholomeu@netwave.com.br).

cabe destacar o uso de preservantes contendo Flúor e Boro, utilizados para o tratamento e retratamento da madeira, em especial em postes de eucalipto usados em redes de distribuição de energia elétrica [8-9]. O uso de mais de um princípio ativo, nesse caso Boro e Flúor, protege contra uma gama maior de agentes que atacam a madeira. Esses produtos são baseados no princípio da difusão para liberar os fungicidas diretamente na zona crítica, seja internamente através de um orifício em ângulo agudo com a introdução dos bastonetes, ou externamente através da aplicação da bandagem. A opção pelo tratamento interno ou externo depende do estado da madeira nestas duas porções do poste. Infelizmente não existe ainda nenhum estudo sistemático da aplicação desses preservantes em postes de madeira no Brasil nem dos possíveis impactos ao meio ambiente.

Outro aspecto importante para garantir a segurança da rede elétrica, diz respeito a realização de inspeções periódicas nos postes em serviço. Estas inspeções são realizadas para verificar o estado de conservação das estruturas de madeira e diagnosticar o tempo de vida útil das mesmas. Nas concessionárias de energia é usual a realização de inspeções em postes de madeira utilizando martelo ponta-e-pá, percussão e esforço lateral. Métodos cujos resultados são fortemente subjetivos, dependendo da sensibilidade e experiência do inspetor, o que pode reduzir a assertividade nas tomadas de decisão a respeito do nível de manutenção a ser adotado ou na estruturação de um programa de inspeções periódicas.

Dentre os equipamentos disponíveis para inspeções de postes de madeira em serviço, destaca-se o Polux que avalia essas estruturas através da análise da umidade e da resistência a penetração. No Brasil não há estudo sobre o desempenho desse equipamento, ao passo que no exterior os estudos feitos utilizaram postes de outras espécies e em condições diferentes das utilizadas no país (tipo de preservantes, carregamento, espécies, densidades, etc).

Dentro desse contexto, o projeto desenvolvido em parceria entre a PUCRS e a AES Sul [1] e executado em três fases, tem como objetivos principais subsidiar a empresa: a) implementação do retratamento de postes de madeira em serviço utilizando preservantes difusíveis a base de Boro e Flúor; b) na avaliação de métodos de inspeção tradicional e instrumental, utilizando equipamento comercial, a fim de inferir o estado de conservação e estimar o período de manutenção para os postes de madeira em serviço nas redes de distribuição de energia elétrica. Além desses objetivos principais foram também avaliadas a qualidade de postes novos e implementadas análises química de preservantes e de madeira tratada.

II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A. Procedimentos

a) Implantação de métodos de análise química dos preservativos utilizados no tratamento preventivo (CCA) e curativo (Boro/Flúor) da madeira. Esses métodos foram aplicados para a verificação do carregamento/penetração dos preservativos de postes novos e em serviço [11] e na classificação e tratamentos de resíduos de madeira tratada com CCA [10-11].

b) O estudo foi feito em três etapas denominadas de fases I, II e III. Nas primeiras duas fases, executadas entre 2002 até 2006, foram inspecionados cerca de 10.000 postes em serviço em 23 municípios nas três regiões administrativas (Metropolitana, Fronteiras e Centro-Vales; Tabela I) da área de concessão da AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S/A, no centro-oeste do Rio Grande do Sul [1, 12-13] em áreas rurais e urbanas (79%). Na fase III, postes de 20 municípios foram re-inspecionados durante os anos de 2008-2010. A Tabela II sumariza o sistema de inspeção, os critérios quantitativos de decaimento e a classificação proposta para o poste inspecionado, baseada numa escala numérica e de cores, bem como as ações propostas para cada situação [12-13].

Tabela I. Total de postes inspecionados na Fase 3 do projeto (2008-2010).

Região	Código	Total	Urb. %	Subst. %	Original Madeira	ID %
Metropolitana	ME	7.026	78	10	4.351	47
Fronteiras	FT	1.435	62	12	1.173	44
Centro-Vales	CV	2.081	95	13	1.563	35
Total		10.542	79	11	7.087	44

Original: postes que não foram substituídos (Subst.) desde a última inspeção (Fase 1 2002; Fase 2 2004-2006). ID: percentual de postes com placa de identificação metálica..

Postes encontrados sem a placa de identificação receberam nova identificação, mas não foram considerados estatisticamente neste trabalho. A placa de identificação estampa a data de fabricação do poste entre outros dados. A data de fabricação constitui-se um dado importante para a avaliação da rede. No procedimento de inspeção, foram observados os aspectos externo e interno da estrutura. Para verificação do estado de conservação interna o poste é sondado através de uma ferramenta inserida até o centro da estrutura, junto ao engastamento. Para tal, é realizada uma perfuração no local. No final do processo é colocado um preservante químico na perfuração para fechar o orifício com o propósito de evitar a entrada de microrganismos degradadores da madeira. Portanto, mesmo os postes classe 1 receberam esta proteção durante as inspeções realizadas.

Tabela II. Parâmetros para classificação dos postes inspecionados e procedimentos a serem adotados.

Inspeção		Classificação	Tomada de Decisões	
Interna	Externa	Poste	Estado do Poste	Procedimento
Mais de 100 mm de madeira sadia	Externo sem apodrecimento	1	Poste sadio	Nenhum
De 70 – 100 mm de madeira sadia	Máx. 10 mm de madeira podre	2	Início de apodrecimento	Retratar interno/externo
De 30 – 70 mm de madeira sadia	Máx. 20 mm de madeira podre	3	Apodrecimento avançado	Retratar interno/substituir
Menos de 30 mm de madeira sadia	Externo totalmente podre	4	Poste comprometido	Substituir

c) Validação, para condições locais, do equipamento Polux (CBS-CBT, França) para inspeção de postes de madeira em serviço em diferente estado de conservação. O equipamento foi desenvolvido na Suíça (EPFL) e seu princípio

básico está na medição da densidade e umidade interna da madeira, processo denominado de tecnologia higródensitométrica [15]. O resultado indica a segurança, que prevê como resultado a estimativa do módulo de flexão residual e a manutenção, cujo resultado reflete a atividade biológica do poste de madeira, determinando seu tempo de vida útil. O índice de segurança do poste é obtido através da diferença entre os limites estabelecidos pela norma Suíça e os resultados obtidos através da medição não destrutiva. Assim, o Polux estima uma nova inspeção a ser efetuada a cada 8 anos, 5 ou 3, ou orienta pela substituição imediata, quando o desempenho das propriedades mecânicas estão abaixo dos limites estabelecidos pela norma.

O procedimento para executar a medida consiste na fixação do equipamento ao poste, na linha do engastamento por duas razões essenciais: a) observando pelo ponto de vista mecânico, esta é a área mais vulnerável do poste e b) o ponto de maior esforço mecânico pela tração dos cabos, estruturas e, principalmente, pela ação do vento. Duas variáveis são registradas na medição com o aparelho, e apresentam o diagnóstico de manutenção e segurança, de acordo com a medição da densidade e umidade interna do poste analisado.



Figura 1. Vista da base e fotos ilustrativas do equipamento Polux em uso.

A densidade é medida por duas ponteiras (agulhas) de pequeno diâmetro (3mm), que penetram aproximadamente 40 mm dentro do poste. Essas ponteiras são conectadas a uma célula de carga, para medição da força de compressão F , quando da sua penetração no poste de madeira. O resultado é correlacionado à densidade da madeira encontrada no poste, representando o módulo de tensão de flexão residual. O teor de umidade (H%), por sua vez, é obtido quando as ponteiras no interior do poste medem a resistividade de madeira, que é atravessada por uma pequena corrente elétrica emitida entre as pontas. O tipo de preservante utilizado na madeira é uma variável que deve ser levada em consideração nos parâmetros do modelo matemático, tendo em vista suas características. Nesse estudo 464 postes de madeira foram inspecionados pelo equipamento em cidades da região metropolitana. Destes, 353 postes foram inspecionados concomitantemente utilizando as técnicas da inspeção tradicional e 35 postes foram submetidos a ensaios com ultrassom.

c) A inspeção com ultrassom foi e realizada com a parti-

pação do Prof. André Bartholomeu (Universidade São Francisco de Itatiba-SP), utilizando equipamento de emissão de ondas de ultrassom, marca Steinkamp BP-5, com dois transdutores de 45 kHz, com a função de emissor e receptor das ondas ultrassônicas. Os transdutores são ligados ao equipamento por meio de fios elétricos e são posicionados de forma que a onda eletromagnética atravesse a madeira no sentido radial do poste (Figura 2). De acordo com Bartholomeu [15], cada poste teve as medições realizadas a cada 20 cm desde a zona do engastamento até 1,40 m de altura, e antes de iniciar o teste utilizou-se um gel medicinal nas faces de contatos dos transdutores para melhorar a aderência com a madeira. Pressionando os sensores contra o poste, efetuou-se a leitura do tempo (t) de propagação da onda, medido em microssegundos (μs). Com o tempo e o diâmetro do poste calcula-se a velocidade de propagação da onda através da madeira.



Figura 2. Medição com ultrassom em poste de madeira em serviço.

d) Para a verificação da eficácia dos produtos de retratamento foram instaladas duas áreas controladas segundo metodologia padrão [14]. A primeira área controlada foi instalada em novembro de 2002 na localidade de Barreto, município de Triunfo-RS, durante a Fase I desse projeto [1, 11-12]. Nessa área foram instalados 40 mourões de eucalipto da espécie *Eucalyptus saligna* produzidos a partir de postes de 9 m com diâmetro de 20 cm e cortados num comprimento de 2 m a partir da base. Esses mourões foram enterrados a 1 m de profundidade, distanciados entre si a cada 2 metros, ficando o restante do seu comprimento exposto ao ar. Entre os 40 mourões testados 10 são de madeira *in natura*, sendo que em 5 não foi aplicado preservativo algum e nos outros foi aplicada a bandagem *Bioguard*. Os 30 postes restantes, inicialmente tratados em autoclave com o preservativo CCA, sofreram retratamento externo, usando o preservante *Bioguard*, e/ou interno, usando o *Polesaver*, ambos produtos fornecidos pela Preschem (Austrália). Os preservativos são hidrosolúveis e têm como base os produtos químicos Boro e Flúor. O *Bioguard* vem na forma de uma bandagem que é fixada na superfície do poste por meio de uma fita adesiva, sendo uma parte enterrada no solo e uma pequena porção do preservativo visualiza-se na parte inferior do poste junto à linha do solo (Figura 3a). Já o *Polesaver* é um bastonete aplicado, por meio de três furos feitos em ângulo de 45° no poste junto à linha de solo, no interior da madeira. São colocados de dois a três bastonetes em cada furo e logo após são tampados com um pequeno tampão plástico (Figura 3b).



Figura 3 – Aplicação dos preservativos: (a) externo na forma de bandagem Bioguard e (b) interno na forma de bastonetes Polesaver (Preschem, Austrália).

Os constituintes ativos nesses preservantes são Boro e Flúor que estão em concentrações de 124 g.kg^{-1} e 110 g.kg^{-1} , respectivamente. O produto tem solubilidade de 9,5% (a 20°C) e pH igual a 7,6 (em 10% de concentração). Não é corrosivo, sendo compatível com metais e plásticos, e bastante estável se estocado em local seco [8]. No contato com a umidade interna do poste este produto dissolve vagarosamente, liberando seus componentes ativos que impregnam na madeira na porção interna (bastonetes) e externa (bandagem) do poste. Os resultados da eficiência do retratamento foram verificados a partir do sexto mês e após foram feitas retiradas periódicas, seguindo os procedimentos previstos na norma australiana AS1605. A amostragem foi feita através de sete discos para cada peça, com 50 mm de espessura, iniciando-se 5 cm acima da linha do solo. Cada disco foi borrifado com um indicador colorimétrico para Boro (sol. Curcumin). Este indicador muda para a cor vermelha quando o nível de Boro se aproxima do limiar de toxicidade fúngica. Uma pequena seção também é removida do disco de madeira para análise química.

Uma segunda área controlada foi implantada em área pertencente a Coordenação Operacional de Canoas na região de concessão da AES Sul em abril de 2005. Nessa área foram instalados 10 mourões de *Eucalyptus citrodora* e os procedimentos de instalação e coleta foram semelhantes ao da primeira área controlada. As diferenças entre as duas áreas concernem ao uso de um terceiro tipo de preservante, sob a forma de bastonete contendo somente Boro (124 g.kg^{-1}), e a preparação das amostras. Os mourões foram cortados ao longo de seu comprimento gerando duas partes iguais cada uma, com 1,6 m de comprimento. Em uma das partes foi realizada a análise colorimétrica para presença de boro utilizando o reagente curumim. Já na outra parte dos mourões com 1,60 m de comprimento foram retiradas 10 amostras com 50 mm de comprimento cada. Estas amostras foram divididas da seguinte forma: da linha do engastamento para cima foram divididas em 4 partes iguais (GL,+1,+2,+3) totalizando 200 mm de comprimento acima da linha de engastamento, e dessa linha para baixo foram divididas em 6 partes iguais (-1,-2,-3,-4,-5,-6) totalizando 300 mm de comprimento.

B. Resultados

Qualidade dos postes novos e Inspeção dos postes em serviço

O estudo da qualidade dos postes novos indicou problemas relacionados aos níveis de retenção do preservativo,

com valores menores que os indicados pela norma entre 40-75% dos postes testados em dois fornecedores avaliados. Esses resultados explicam em parte a diminuição observada do tempo de vida útil dos postes de madeira em serviço.

Os resultados das inspeções periódicas indicaram que a maioria dos postes em serviço (63%) apresenta-se em bom estado de conservação (Classes 1 e 2), entretanto é também expressiva a quantidade de postes necessitando substituição (19%, Classe 4). Observou-se também grande variabilidade entre as regiões inspecionadas (Figura 4). Na comparação com a inspeção anterior (Fase 2) observa-se uma redução do percentual de postes Classe 1 em todas as regiões com o aumento esperado de postes Classe 4 em especial na região metropolitana (+8%). Esses dados sugerem um ritmo acelerado de deterioração do estado de conservação dos postes de madeira. Cabe destacar ainda que a substituição dessas estruturas esta sendo feita num ritmo acelerado (11% em quatro anos, Tab. I) preferencialmente por postes de concreto.

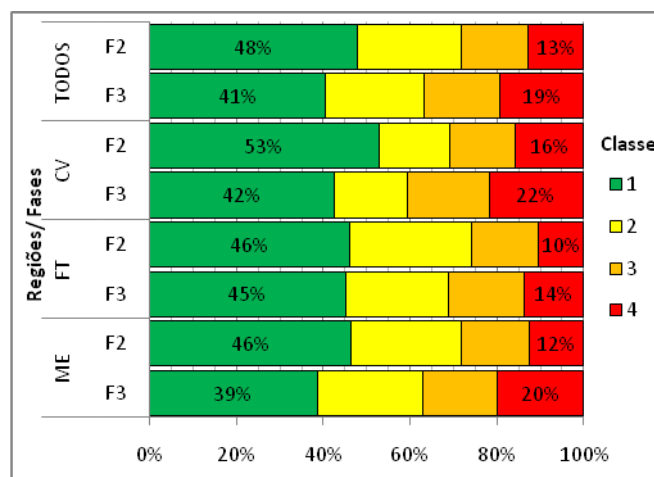


Figura 4 – Estado de conservação dos postes em serviço entre as inspeções da Fase 2 (F2) e Fase 3 (F3).

Para os postes que apresentavam placa de identificação (ID 44%, Tab. I) foi possível verificar o tempo de serviço na rede dos mesmos. Foram observados postes com até 30 anos (Fig. 5) e uma grande variação de idades entre os municípios inspecionados em função do tipo de preservativo (CCA ou Creosoto). A idade média global na Fase 3, estimada pelas distribuições acumuladas (Fig. 6), foi de 11 anos, com os postes tratados com Creosoto apresentando idades superiores (17 anos) aos de CCA (10 anos). A evolução dos perfis de idade (média 7,5 anos) em relação à Fase 2 (2004-2006) indicou um envelhecimento maior que o esperado, provavelmente pela maior taxa de renovação de postes de concreto em detrimento aos de madeira.

Na Figura 7 é mostrada a influencia do tipo de tratamento preservativo no estado de conservação dos postes de madeira e diferentes faixas de idade. Como esperado, observa-se uma diminuição de postes Classe 1, e aumento dos postes classe 4, com a idade dos postes.

No que concerne a influencia do tratamento verifica-se proteção similar do CCA e Creosoto em postes na faixa de idade de 11 a 15 anos.

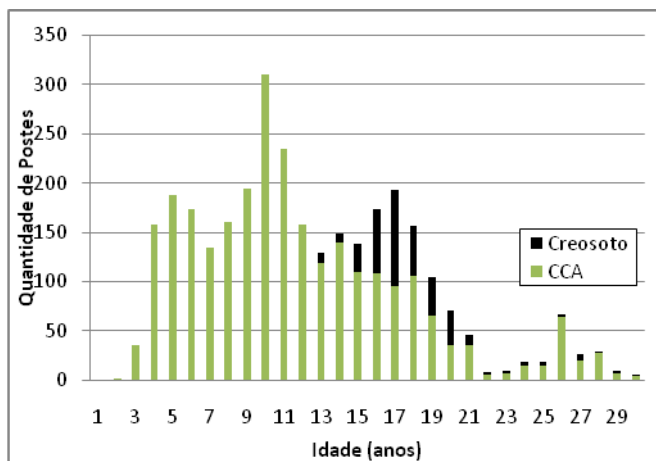


Figura 5. Distribuição de frequências das idades dos postes em serviço na rede na Fase 3 para postes tratados com CCA e Creosoto.

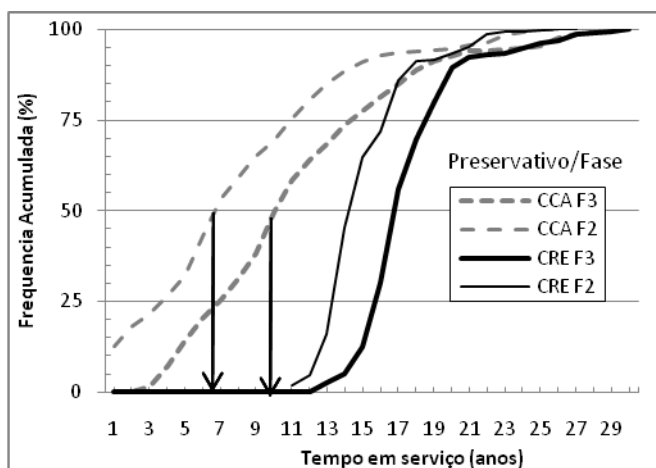


Figura 6. Distribuição acumulada de idades dos postes em serviço na rede na Fase 3 para postes tratados com CCA e Creosoto.

Comportamento inverso foi observado para postes com mais de 15 anos, para os quais o Creosoto parece ser mais eficiente. Esses resultados foram atribuídos a uma maior toxicidade do Creosoto e conseqüentemente uma melhor ação anti-fúngica. Cabe lembrar que o tempo mínimo de vida útil de um poste de madeira tratada deve ser de 15 anos segundo a NBR 8456 [3].

A Figura 8 apresenta a comparação entre as inspeções tradicional e instrumental realizadas em postes em serviço. Verifica-se que a calibração original do equipamento Polux é discordante da inspeção tradicional principalmente na identificação de postes em bom estado de conservação (Classe 1). Foram feitas adaptações no modelo matemático às características do eucalipto brasileiro, e os resultados obtidos indicaram um ajuste mais preciso entre os métodos de inspeção. Cabe destacar que a avaliação instrumental é indicada como um procedimento complementar ao do inspetor, visando reduzir a subjetividade e aumentar o grau de segurança da rede.

A comparação entre o Polux e a análise por ultrassom indicaram boa correlação ($R^2 > 0,9$) quando foram comparados os resultados dos Módulos de Ruptura a Flexão (MORf) estimados pelos dois métodos, para os 35 postes analisados concomitantemente. Esse resultado preliminar indica o grau de assertividade de ambos os métodos.

Retratamento

Seis meses após o início dos testes na Área Controlada de Barreto, foi retirado o mourão nº 31, tratado internamente com o preservativo Polesaver, de onde foram cortados 7 discos com 50 mm de espessura e aos quais foi borrifado um indicador colorimétrico para verificação da difusão do Boro na peça de madeira (AS1605). Os discos de madeira foram fotografados conforme mostra a Figura 9, e o perfil de distribuições dos níveis de boro foi estimado conforme mostrada na Figura 10.

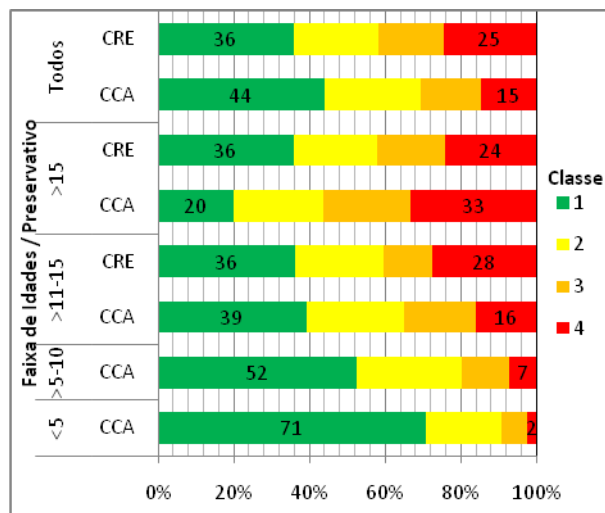


Figura 7. Influência do tipo de tratamento preservativo (CCA e Creosoto) no estado de conservação (Classe) em diferentes faixas de tempo em serviço (idade) dos postes de madeira inspecionados em F3 (com placa de identificação e não substituídos).

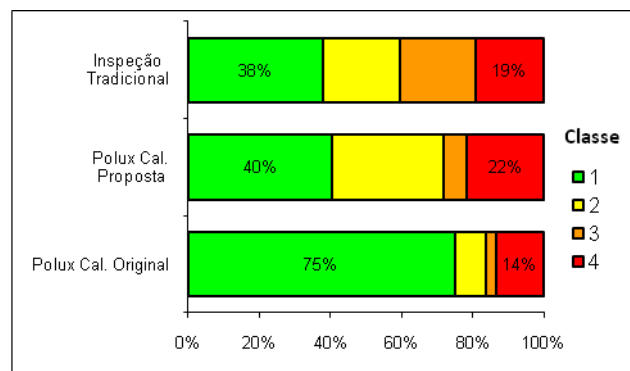


Figura 8 – Comparação entre as inspeções tradicional e instrumental Polux com calibrações original e proposta.

Verifica-se que nas amostras -1, -2 e -3 localizadas desde a linha do solo até 150 mm abaixo desta linha, houve difusão do Boro em uma porção que varia entre 70% e 80% das peças. Trata-se de uma faixa considerada como crítica para o ataque de agentes decompositores e que desta forma estaria sendo protegida com o produto. Nas amostras -4 e -5 o percentual de difusão cai para 40% e 10%, respectivamente, indicando uma gradativa redução da concentração de preservativo nestas porções, reduzindo-se também a sua proteção contra decomposição.



Figura 9 – Exemplo da análise colorimétrica para identificar a presença do Boro em madeira tratada internamente (Polesaver).

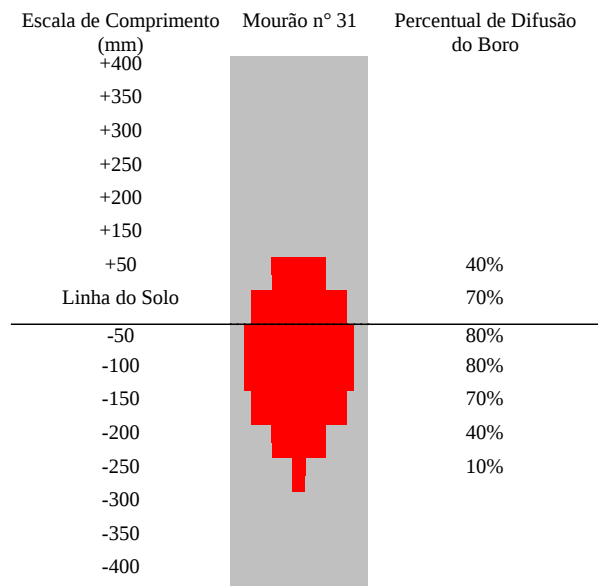


Figura 10 – Perfil de difusão do Boro (análise colorimétrica) em um mourão tratado internamente com Polesaver retirado da área de testes após seis meses.

Os estudos publicados pela empresa australiana [8] indicam a obtenção de uma concentração mínima de 300 ppm (mg/kg) de Boro que corresponde a um nível adequado de fungitoxidade.

Os resultados quantitativos obtidos nas quatro amostragens efetuadas nessa área controlada após 6, 18 e 31 e 36 meses da instalação do experimento, indicaram variações significativas nas concentrações tanto de Boro quanto de Flúor ao longo tempo. Valores de duas a cinco vezes maiores do Boro (2000-800 ppm) em relação ao Flúor (400 ppm) foram medidos, variações semelhantes as reportadas por outros estudos [9, 15-16]. As menores concentrações de Flúor na madeira devem estar relacionadas a menor fixação desse elemento comparado ao Boro, uma vez que as concentrações iniciais desses compostos no preservativo são semelhantes (124 mg B/kg e 110 mg F/kg). Outro aspecto a ser considerado diz respeito a menor precisão na determinação de Flúor em amostras de madeira, que podem eventualmente explicar em parte os resultados obtidos.

Na Figura 11 são mostrados alguns perfis de concentração Boro e Flúor ao longo do tempo em alguns mourões analisados, amostrados em 18, 31 e 36 meses após o início dos testes.

Esperava-se que as concentrações elevadas de Boro e Flúor fossem verificadas no Alburno (região mais externa) nos mourões retratados com *Bioguard*.

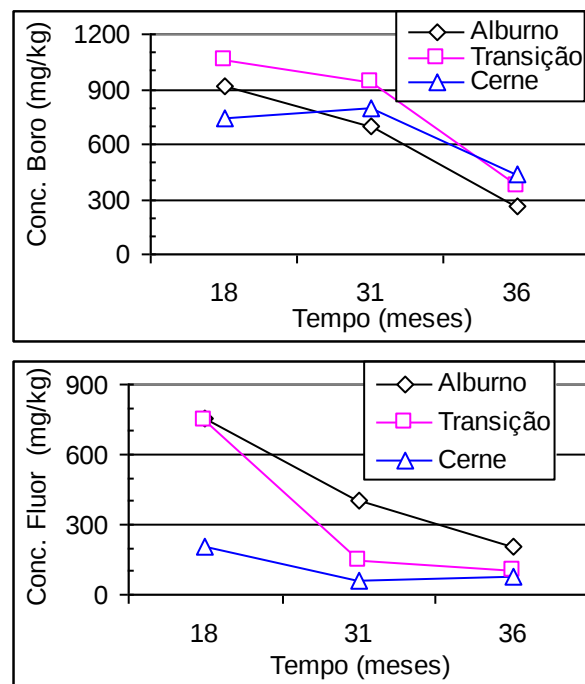


Figura 11 – Perfil de concentrações de Boro e Flúor em discos -2 (-50 a -100 mm abaixo da linha do solo) de mourões área controlada de Barreto tratados com CCA e retratados externamente.

Entretanto, as concentrações elevadas foram verificadas na primeira amostragem (18 meses) na região de transição desses mourões o que indica a difusão do produto da Bandagem para o interior da madeira. Já as concentrações no cerne são semelhantes às encontradas no teste em que foi utilizado somente o retratamento interno (não mostrado) o que descarta problemas com o *Polesaver*. Uma possível causa para a baixa retenção de Boro no alburno pode estar relacionada a problemas de fixação da bandagem ao mourão e/ou a infiltração de água e conseqüente perda do produto por migração no solo adjacente. Os menores teores de Flúor observados também corroboram com a hipótese de perda do material da Bandagem.

Em geral os resultados indicam níveis acima do mínimo recomendado (300 ppm) até 36 meses após a aplicação do produto. Em alguns casos verificou-se queda na concentração de Boro (60%) e Flúor (20%) após 31 meses do início dos testes. Para esses mourões, a presença simultânea de Boro e Flúor mesmo em baixas concentrações pode manter a ação preservante, porém a mesma não deve se estender por um período mais longo indicando a necessidade de um novo retratamento.

Em função das concentrações elevadas de Boro observadas acima da linha do solo em algumas análises qualitativas colorimétricas, indicando possível migração do produto para regiões da madeira acima da linha do solo, testes quantitativos detalhados foram realizados. As concentrações mais elevadas de Boro (400 mg/kg) e Flúor (200 mg/kg) foram observadas nos discos de regiões acima da linha do solo (+150 e +250 mm) com as áreas que necessitam proteção (0 – 200 mm) ficando com teores de preservantes (B 50-100 mg/kg; F <25-50 mg/kg) abaixo do mínimo recomendado. Esses resultados pode estar relacionados a infiltração de água pela parte superior não protegida dos mourões, através

de fissuras e rachaduras fazendo com que os níveis de umidade da madeira acima da linha de solo sejam superiores aos valores abaixo dessa linha. Essa umidade externa vinda pelo ar (chuva) poderia fazer com que o preservativo hidrossolúvel migrasse preferencialmente para áreas superiores do mourão deixando as áreas inferiores empobrecidas nos agentes ativos. Resultados de literatura [9, 16-17] confirmam a migração do Boro para regiões acima da linha do solo. Nos postes em serviço tal efeito não deve ocorrer de forma significativa devido a maior altura da estrutura quando comparado aos mourões utilizados.

Na Figura 5 são mostradas imagens de um mourão retratado com *Bioguard* e outro sem qualquer tratamento ou retratamento. Apesar das limitações do retratamento externo ficou evidenciado que sua presença protege a madeira não tratada do decaimento natural.



Figura 12 – Imagens de dois mourões com (esquerda) e sem (direita) retratamento externo (*Bioguard*) retirados da Área controlada de Barreto no final do experimento (nov/2005).

Na área controlada de Canoas foi feita uma amostragem com a retirada do mourão 9 (retratamento interno com *Polesaver*) e realização de análises colorimétricas preliminares em outubro de 2005 (6 meses após o início do experimento). Este análise preliminar indicou a migração do Boro para regiões acima da linha do solo como se tinha verificado nos testes da Área Controlada de Barreto. Como o mourão em questão foi protegido com cobertura metálica a infiltração de água externa não deve ser significativa. Dessa forma essa migração deve ser influenciada por outros parâmetros. Quarenta meses após o início do experimento todos os mourões restantes foram retirados do solo uma das seções longitudinais foi analisada quanto à presença de Boro pelo teste colorimétrico.

Foram obtidas imagens (não mostradas) onde se observou a presença de Boro (coloração vermelha) em todos os mourões retratados (>300 ppm), enquanto os mourões não retratados (1 e 2) apresentaram coloração amarelada indicando a ausência de Boro. Para a maioria dos mourões retratados verificou-se a migração do preservante acima da linha solo, confirmando os resultados anteriores.

Cabe destacar que todos os mourões retratados apresentam concentrações de Boro acima do nível mínimo e nenhum apresentou apodrecimento. Observa-se também uma melhor distribuição de Boro nos mourões tratados com CCA e retratados interna e externamente (mourões 3 e 4). O mourão 5, que não foi tratado com CCA e foi retratado só externamente (*Bioguard*), foi o que apresentou a menor difusão e

coloração menos intensa indicando concentrações mais baixas de Boro. Esse comportamento já havia sido verificado na área de Barreto, o que reforça a possível interação sinérgica entre os preservantes preventivo (CCA) e curativo (Boro/Flúor) utilizados. O preservante contendo só Boro, usado no retratamento interno dos mourões 6, 7 e 8; apresentou comportamento semelhante ao produto contendo Boro e Flúor (*Polesaver*). Análises quantitativas desses elementos estão sendo realizadas e irão dar mais subsídios para a comparação do desempenho dos preservantes.

Os resultados referentes a eficiência do retratamento interno de postes em serviço são mostrados na Figura 7. Nessa figura é comparada a evolução do estado de conservação de postes classificados como Classe 2 nas Fases I e II, e reinspeccionados na Fase III após um período de 5 e 7 anos, respectivamente.

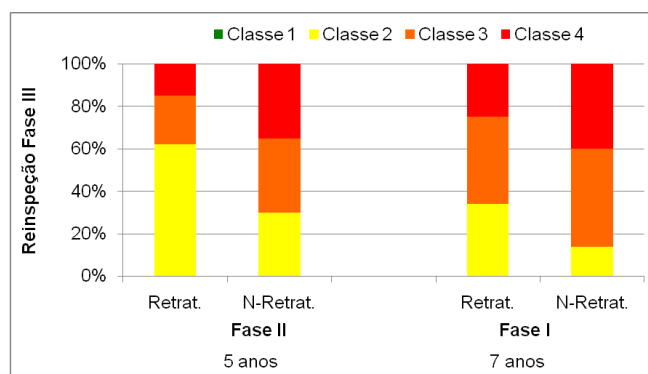


Figura 13 - Evolução do estado de conservação dos postes Classe 2, retratados e não retratados, nas Fases I e II e reinspeccionados na Fase III do projeto.

Verifica-se que os postes retratados internamente com *Polesaver* apresentam um melhor estado de conservação com um percentual cerca de duas vezes maior de postes que permanecem na Classe 2 no momento da reinspeção. Observa-se também um número significativamente menor de postes Classe 3 entre os postes retratados na Fase II.

Cabe ainda destacar a menor quantidade de postes retratados classe 4, porém a diferença percentual com os postes não retratados é menos significativa. Esses resultados podem estar relacionados a diversos fatores: menor eficiência dos preservantes, estado de decaimento mais avançado que o indicado na primeira inspeção, condições ambientais mais agressivas (umidade, insetos, etc...) entre outros.

A análise geral desses resultados preliminares do retratamento de postes em serviço indica uma diminuição na taxa de apodrecimento de postes e conseqüentemente um aumento no tempo de vida útil dessas estruturas. Um estudo mais detalhado (inspeção instrumental, análises químicas e mecânicas da madeira) e abrangente (reinspeção de 10.000 postes) está em andamento, e permitirá o desenvolvimento de um estudo de viabilidade mais conclusivo sobre a utilização desses preservantes em larga escala.

III. CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu estabelecer o estado de conservação, e a sua evolução temporal, dos postes de madeira

em serviço na rede da empresa. Os resultados preliminares do retratamento de postes em serviço indicam uma diminuição no apodrecimento da madeira no período avaliado (5-7 anos). Nesse contexto a utilização do retratamento interno, com preservantes difusíveis a base de Boro/Flúor, pode ser uma alternativa viável para o aumento da vida útil de postes de madeira nas redes de transmissão e distribuição de energia elétrica. Os problemas de confiabilidade e durabilidade da madeira parecem estar associados principalmente a falhas na fabricação dessas estruturas. Comprovou-se que os procedimentos de controle de qualidade e inspeção dos postes de madeira podem garantir o uso adequado e sustentável dos mesmos. Entretanto, a avaliação da pertinência de sua substituição por outros materiais deve ser feita englobando uma análise mais ampla do ciclo de vida dessas estruturas, em especial dos custos, e oportunidades, de resíduos gerados.

IV. AGRADECIMENTOS

A equipe do projeto agradece a AES Sul e as equipes de campo da empresa

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Pires, "Otimização de processos de tratamento e re-tratamento de postes de madeira utilizados em linhas de distribuição de energia elétrica Fase II", Relatório Final do Projeto AES Sul - PUCRS, Porto Alegre, 2006.
- [2] ANEEL. Notas Técnicas 107, 108 e 320, SRE. 2009.
- [3] ABNT *Postes de Eucalipto Preservados para Redes de Distribuição Elétrica*, NBR-8456, Rio de Janeiro, 1984.
- [4] E.S. Lepage. Manual de Preservação de Madeiras: Vol. I e II. São Paulo, IPT – Divisão de Madeiras, 1986.
- [5] MORRELL, J. J. Wood Pole Maintenance Manual, Forest Research Laboratory, Oregon State University: Corvallis, 1996.
- [6] LELIS, Antônio T. Biodeterioração de Madeiras em Edificações. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas -IPT, 2001.
- [7] MONTANA QUÍMICA. Divisão Osmose. Madeira Tratada – Informativo Técnico, São Paulo, Fev. 2001.
- [8] PRESCHER, Inservice Evaluation Report on Diffusion of Polesaver Rods. Austrália, Relatório Interno, Janeiro 2000.
- [9] NORTON, J & STEPHENS, L., Polesaver rod and Bioguard bandage pole stub trial – Stage 5 and Stage 6, Research Report, Queensland Government, Australia, April 2005.
- [10] ABNT *Classificação de resíduos*, NBR-10004, Rio de Janeiro, 1984.
- [11] H. S. Santos, "Otimização de métodos analíticos para a determinação de preservantes de madeira", Dissertação, Engenharia e Tecnologia de Materiais, PUCRS, 2010
- [12] F.L.R. Vidor, M. Pires, B.A. Dedavid, P. Montani, A. Gabiatti, "Inspection of wooden poles in electrical power distribution networks in southern Brazil" *IEEE Transactions on Power Delivery*, IEEE Trans.Power Deliv., vol.25, n.1, pp. 479-484, 2010.
- [13] F. L. R. Vidor. "Avaliação da vida útil de Postes de Madeira em Serviço em redes de distribuição de energia elétrica", Exame da Qualificação Doutorado, Engenharia e Tecnologia de Materiais, PUCRS, 2010.
- [14] AUSTRALIAN STANDARD 1605 – 1974 "Sampling and Analysis of Wood Preservatives and Wood Preservative Treated Timber", 2000.
- [15] BENOIT Y. Vieillissement et fiabilité des parcs de poteaux bois des réseaux de lignes aériennes: L'intérêt du contrôle non destructif, Thèse pour l'obtention du grade de docteur ès sciences. - Lausanne : EPFL, 2004
- [16] ESKOM, Twelve month dry area evaluation report on Preschem's Polesaver rod remedial treatment at Kimberley South Africa, ESKOM Distribution Technology South Africa, Report SCSREAAE6, May 2002.
- [17] TURNER, P and WESSELS, C.B., Thirty-six moth evaluation report on Preschem boron-fluoride pole remedial treatment at Futulu-lu, Report ENV-D-C-2001-012, CSIR, Australia, July 2001.