



## XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2010 – 22 a 26 de novembro

São Paulo - SP - Brasil

### Óleo Vegetal em Transformadores de Carga – Uma Experiência da Copel Distribuição

<b>Evandro André Konopatzki</b>	<b>Pedro Roberto Carpenedo</b>	<b>Silas Gomes Batista Junior</b>
<b>COPEL</b>	<b>COPEL</b>	<b>COPEL</b>
evandro.konopatzki@copel.com	prcarpen@copel.com	silas@copel.com

#### Palavras-chave

Óleo Vegetal em Transformadores de carga  
Biorremediação (remediação biológica)  
Meio Ambiente

#### Resumo

O presente artigo fornece informações relativas à experiência da Copel Distribuição a respeito do uso de óleo vegetal nos transformadores de carga da região oeste do Paraná. O objetivo da pesquisa foi avaliar as qualificações técnicas do óleo vegetal verificando se este tipo de óleo pode ser utilizado em transformadores de carga.

Até o mês de dezembro de 2009 a Copel Distribuição já havia instalado 35 transformadores em sua rede elétrica de média tensão, sendo 18 na cidade de Foz do Iguaçu e 17 na cidade de Cascavel.

As vantagens apresentadas no uso deste óleo foram o impacto ambiental menor que os óleos convencionais.

#### 1. Introdução

Com a crescente exigência dos órgãos ambientais relacionada à impactos ambientais as concessionárias de energia elétrica têm buscado elementos ecologicamente corretos para seus equipamentos. Um dos elementos estudados é o efeito do óleo mineral na natureza e alternativas para minimização dos problemas causados no caso de vazamentos e poluição.

A Copel estuda o óleo mineral e a alternativa de substituição deste pelo óleo vegetal há mais de 5 anos. Entre 2008 e 2009 a Copel instalou 18 transformadores de características técnicas 500kVA 15kV-220/127V no centro da cidade de Foz do Iguaçu e 17 transformadores 112,5kVA 15kV/220-127V na região do lago (cidade de Cascavel), um “projeto verde” que tem mostrado vantagens ecológicas.

Dentre as vantagens ficam enfatizados o menor tempo de biorremediação e o maior ponto de combustão do óleo vegetal quando relacionado ao óleo mineral. O preço do óleo vegetal é superior ao do óleo mineral, mas isto está relacionado ao recente lançamento deste produto no mercado consumidor. Acredita-se que este valor se ajustará ao mercado.

## 2. Desenvolvimento

### 2.1. Características dos Óleos Mineral e Vegetal

O óleo mineral isolante (OMI) tem esta denominação por ser derivado do petróleo (destilado) e tem sido usado desde 1989 como meio isolante e refrigerante nos equipamentos elétricos como transformadores de potência e reguladores de tensão. Este óleo possui composição química principal a cadeia naftênica ou a cadeia parafínica. O envelhecimento do óleo ocorre na presença de umidade, oxigênio, cobre e calor. Sendo os valores já estabelecidos e normatizados pela NBR10.576 (e suas referências normativas).

Já o óleo vegetal (OVI) é novo na área elétrica. Apesar de alguns países desenvolvidos já o usarem há tempos, eles não foram tão assimilados por apresentarem custo de aquisição mais elevado que os OMI. Talvez por esta razão existam poucos fabricantes atuando neste mercado.

São dois os tipos de óleo vegetal isolante. o primeiro é o óleo sintético biodegradável, a base de ésteres (Envirotemp®FR3, Biotemp® e o Biovolt®) com as características de serem biodegradáveis, não-renováveis e temperaturas de combustão mais elevadas que os OMI. O segundo tipo de óleo vegetal é o natural à base de esteress, que se diferencia do anteriormente apresentado por ser renovável se considerada ser a planta originadora deste óleo uma oleaginosa envolvida no processo cíclico de liberação/dispersão de massa de carbono (os tipos de OVI natural conhecidos nacionalmente são soja, mamona, arroz e girassol).

A Copel fez experimentos com vários óleos minerais isolantes naturais não chegando a resultados conclusivos ou definitivos sobre a confiabilidade do uso destes óleos em transformadores devido apresentarem um ou mais itens a seguir fora de normatização:

- a) Presença de umidade excessiva;
- b) Índice de neutralização excessivo;
- c) Fator de perdas dielétricas a 25°C, 90°C e 100°C;
- d) Viscosidade excessiva a 40°C e a 100°C; e/ou
- e) Ponto de fluidez alto.

Uma recomendação resultante destes estudos é que podem ser realizados novos testes com aditivos e misturas a fim de adequar os óleos minerais naturais às normas atuais verificando sua viabilidade econômica.

Já os óleos sintéticos biodegradáveis apresentaram resultados adequados aos testes anteriormente citados, bem como em outros testes realizados. A conclusão desta etapa foi a liberação para deste tipo de óleo para uso em campo e acompanhamento de desenvoltura do produto.

Uma vez aprovada esta experiência e verificada a possibilidade de uso destes óleos em campo, foram adquiridos 17 transformadores de distribuição de 112,5kVA/15kV adaptados com isolamento específico para óleo vegetal e instalados na região de manancial (Região do Lago) de Cascavel-PR com o óleo mineral isolante Biovolt A® (à base de milho) e Biovolt B® (à base de soja). A escolha dos óleos se deu pelo menor valor financeiro comercial e pela maior estabilidade frente à oxidação.

A tabela 1 mostra os limites para aceitação de OVI, conforme a norma ABNT NBR 15442

**Tabela 1 – Valores normatizados para OVI novo.**

	Método de Ensaio	Especificação NBR-156442
Índice de Neutralização (mg KOH / g óleo)	NBR-14248	< 0,06
Teor de Água (ppm m/m)	NBR-10710-B	< 200
Fator de perdas dielétricas a 100°C (%)	NBR-12133	< 4,0
Rigidez dielétrica (kV)	NBR-60156	> 30
Viscosidade a 40°C (cSt)	NBR-10441	< 50

<b>RANCIMAT a 130°C (h)</b>	*	*
<b>Enxofre corrosivo</b>	NBR-10505	NÃO CORROSIVO
<b>Teor de PCB (mg/kg)</b>	NBR-13882-B	NÃO DETECTÁVEL

Observação:

\* → dado não encontrado

## 2.2. Resultados Obtidos com Óleo Vegetal nos Transformadores em uso

Os transformadores foram instalados em Cascavel em agosto de 2008. Foram realizados ensaios em quatro transformadores contendo o OVI Biovolt A<sup>®</sup> nas datas: 18/09/2008, 06/10/2008, 30/10/2008 e 20/04/2009. Com relação aos transformadores contendo o OVI Biovolt B<sup>®</sup>, foram realizados 5 ensaios nas datas: 06/10/2008, 30/10/2008, 20/04/2009 e 23/04/2009.

A tabela 2, a seguir, apresenta os resultados médios dos ensaios físico-químicos realizados nestes equipamentos:

**Tabela 2 – Ensaios físico-químicos do OVI.**

Tipo de óleo	Óleo Biovolt A <sup>®</sup>			Óleo Biovolt B <sup>®</sup>		
	Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo
<b>Índice de Neutralização (mg KOH / g óleo)</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>Teor de Água (ppm m/m)</b>	65	97,25	131	73	92,25	127
<b>Fator de perdas dielétricas a 100°C (%)</b>	4	5,83	8,4	5,1	9,35	17
<b>Rigidez dielétrica (kV)</b>	44	46,5	48	49	50	51
<b>Viscosidade a 40°C (cSt)</b>	32,75	33,05	33,34	33,02	33,34	33,67
<b>RANCIMAT a 130°C (h)</b>	6,94	9,62	12,29	7,98	10,29	12,08
<b>Enxofre corrosivo</b>		Não <sup>1</sup>		NC	NC	NC
<b>Teor de PCB (mg/kg)</b>		< 2 <sup>1</sup>		NC	NC	NC

Observações:

<sup>1</sup> → Dados coletados de apenas um transformador.

NC → Não foram coletados dados.

Os dados da tabela 2 mostram que os óleos Biovolt A<sup>®</sup> e o óleo Biovolt B<sup>®</sup> apresentaram características físico-químicas muito parecidas, sendo que as diferenças apresentadas não descaracterizaram nenhum dos OVI.

Com relação ao item “fator de perdas dielétricas (a 100°C)” esteve acima do limite máximo de 4% sendo que apenas uma amostra manteve-se dentro do limite. A empresa determinou que este item deve ser acompanhado para monitoramento adequado de sua evolução. Além disso estudos relacionados aos efeitos deste item serão desenvolvidos pela empresa.

Em seguida foram realizados ensaios para verificação dos gases dissolvidos nas amostras de óleo coletadas nos dias 06/10/2008 e 20/04/2009. Os resultados médios dos 2 transformadores com o OVI Biovolt A<sup>®</sup> estão na tabela 3:

**Tabela 3 – Análise de gases dissolvidos nas amostras do OVI Biovolt A<sup>®</sup> (ppm)**

Hidrogênio	336	Dióxido de Carbono	908
Oxigênio	4608	Etileno	4
Nitrogênio	55796	Etano	6
Metano	2	Acetileno	N/D
Monóxido de Carbono	48		

A tabela 4 apresenta os dados dos gases dissolvidos nas 5 amostras do OVI Biovolt B<sup>®</sup> retirados dos transformadores em análise.

**Tabela 4 – Análise de gases dissolvidos nas amostras do OVI Biovolt B<sup>®</sup> (ppm)**

Hidrogênio	33,4	Dióxido de Carbono	1007
Oxigênio	2434	Etileno	4
Nitrogênio	56359	Etano	13
Metano	3	Acetileno	N/D
Monóxido de Carbono	56		

Os dados das tabelas 3 e 4 mostram que os dois óleos apresentam mesmas características gasosas, onde as taxas de gases ficaram pouco acima dos valores conhecidos nos ensaios realizados em óleos minerais (conforme dados armazenados e expertise da empresa). Porém estes teores de gases não apresentam riscos de deterioração aparente dos transformadores.

Cabe avaliação e monitoramento contínuo para verificação da evolução dos teores existentes.

A tabela 5 apresenta os resultados dos ensaios elétricos feitos realizados nos transformadores com o Megger. Os ensaios foram realizados no dia 04/08/2008 com a temperatura ambiente de 21°C e umidade relativa do ar de 64% tomados 5 transformadores contendo o OVI Biovolt A<sup>®</sup>.

Também foram realizados ensaios no dia 30/09/2008 com a temperatura ambiente de 22°C e umidade relativa do ar de 62%. Este contemplou 6 transformadores contendo o OVI Biovolt A<sup>®</sup> e 5 transformadores com o óleo Biovolt B<sup>®</sup>.

**Tabela 5 – Ensaios Elétricos (Megger) nos Transformadores com OVI**

	H-M (2,5kV)			H-X (2,5kV)			X-M (5kV)		
	Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo
<b>Biovolt A<sup>®</sup></b>	6000	8333	10000	15000	17916	20000	2500	3330	4000
<b>Biovolt B<sup>®</sup></b>	4500	6000	8000	15000	15555	20000	2000	2666	4000

Os resultados mostraram que o OVI atende às especificações de Megger nos mesmos padrões dos óleos minerais conhecidos.

A tabela 6 apresenta os resultados dos ensaios elétricos feitos realizados nos transformadores com o Fator de Potência.

**Tabela 6 – Ensaios Elétricos (Fator de Potência) nos Transformadores com OVI**

FATOR DE POTÊNCIA									
Data	Tipo óleo	T amb. (°C)	Umidade rel. (%)	H-M-X <sup>G</sup>		H-M-X <sup>UST</sup>		H-M-H <sup>G</sup>	
				(Medido)	(Corrigido)	(Medido)	(Corrigido)	(Medido)	(Corrigido)
30/09/08	Biovolt A <sup>®</sup>	22	62	0,51	0,44	0,51	0,44	0,51	0,44
30/09/08	Biovolt A <sup>®</sup>	22	61	0,52	0,41	0,51	0,40	0,57	0,45
30/09/08	Biovolt A <sup>®</sup>	23	61	0,52	0,41	0,50	0,40	0,59	0,47
30/09/08	Biovolt B <sup>®</sup>	22	61	0,75	0,62	0,71	0,59	0,82	0,68
30/09/08	Biovolt B <sup>®</sup>	22	62	0,77	0,61	0,67	0,53	0,87	0,69
30/09/08	Biovolt A <sup>®</sup>	22	62	0,50	0,48	1,04	1,00	0,66	0,63
30/09/08	Biovolt B <sup>®</sup>	22	62	0,74	0,67	0,67	0,61	0,78	0,71
30/09/08	Biovolt B <sup>®</sup>	22	62	0,70	0,61	0,59	0,51	0,79	0,69

FATOR DE POTÊNCIA									
Data	Tipo óleo	T amb. (°C)	Umidade rel. (%)	H-M-X <sup>G</sup>		H-M-XUST		H-M-H <sup>G</sup>	
				(Medido)	(Corrigido)	(Medido)	(Corrigido)	(Medido)	(Corrigido)
30/09/08	Biovolt A <sup>®</sup>	22	61	0,60	0,47	0,60	0,47	0,68	0,54
30/09/08	Biovolt A <sup>®</sup>	22	60	0,79	0,62	0,70	0,55	0,78	0,62
04/08/08	Biovolt B <sup>®</sup>	21	65	0,56	0,54	0,59	0,57	0,86	0,83
04/08/08	Biovolt B <sup>®</sup>	21	64	0,87	0,84	0,64	0,61	1,20	1,15
04/08/08	Biovolt B <sup>®</sup>	21	64	0,48	0,46	0,48	0,43	0,69	0,66
04/08/08	Biovolt B <sup>®</sup>	21	64	0,67	0,64	0,64	0,61	0,94	0,90
04/08/08	Biovolt B <sup>®</sup>	21	64	0,47	0,45	0,53	0,51	0,74	0,71

Os dados do Fator de Potência mostraram que os óleos vegetais apresentam características parecidas às dos óleos minerais.

A tabela 7 apresenta os resultados do ensaio de Dielétrico (Hy-Pot).

**Tabela 7 – Ensaio Elétrico (Hy-Pot) nos Transformadores com OVI**

DIELÉTRICO – HY-POT ( $\mu A$ )							
Data	Tipo óleo	T amb. (°C)	Umidade rel. (%)	5 kV	10 kV	15kV	20 kV
30/09/08	Biovolt A <sup>®</sup>	20	63	0,60	0,90	1,20	2,30
30/09/08	Biovolt A <sup>®</sup>	19	63	0,60	1,30	2,80	6,50
30/09/08	Biovolt A <sup>®</sup>	20	63	0,70	1,00	3,00	6,60
30/09/08	Biovolt B <sup>®</sup>	20	63	1,00	1,70	3,40	6,00
30/09/08	Biovolt B <sup>®</sup>	19	62	0,90	1,50	2,90	6,00
30/09/08	Biovolt A <sup>®</sup>	19	62	0,70	1,40	3,20	7,30
30/09/08	Biovolt B <sup>®</sup>	19	63	1,00	1,40	2,00	3,80
30/09/08	Biovolt B <sup>®</sup>	19	63	0,80	1,40	1,80	3,80
30/09/08	Biovolt A <sup>®</sup>	20	63	0,80	1,50	2,60	5,60
30/09/08	Biovolt A <sup>®</sup>	21	51	12,00	1,70	2,80	5,90
04/08/08	Biovolt B <sup>®</sup>	21	65	1,20	2,00	2,40	4,10
04/08/08	Biovolt B <sup>®</sup>	21	64	1,50	2,50	4,30	7,00
04/08/08	Biovolt B <sup>®</sup>	21	64	0,90	1,10	1,50	2,70
04/08/08	Biovolt B <sup>®</sup>	21	64	1,50	2,20	2,80	3,60
04/08/08	Biovolt B <sup>®</sup>	21	64	1,50	2,30	3,60	5,50

Os resultados mostraram normalidade neste ensaio. O comportamento dos OVI é similar ao comportamento dos óleos minerais.

### 3. Conclusões

Dos óleos analisados o Biovolt A<sup>®</sup> (milho) apresenta o maior período de indução (maior estabilidade à oxidação) por apresentar maior teor de ácidos graxos insaturados, quando comparado ao Biovolt B<sup>®</sup> (soja).

Os óleos vegetais isolantes analisados atenderam aos requisitos normatizados para óleos novos e não implicaram alterações na recepção dos equipamentos quando entregues pelo fabricante (por parte da empresa), uma vez que os equipamentos tiveram os ensaios de recepção dentro dos padrões aceitáveis pela empresa (ensaio físico-químicos e de gases dissolvidos).

Os ensaios de óleo realizados nos transformadores em uso mostraram que não houve variações significativas. Os resultados dos ensaios Megger, Hy-Pot e fator de potência foram satisfatórios. Desta forma os transformadores permaneceram em uso e mais ensaios serão programados.

#### **4. Referências bibliográficas e/ou bibliografia**

- EMSLEY, A. M. *Polymer Degradation and Stability* 44, 343-349, 1994.
- HEYWOOD, R. J., EMSLEY, A. M., ALI, M. *IEEE Proceedings-Science Meas. Technology* 147, 86-90, 2000.
- LEVY, N. M., BERG, E. F., NACHAVALGER, E. E. *Comunicação técnica COPEL* n0 10, 1-6, 1993.
- MACALPINE, J. M. K., ZHANG, C. H. *Electric Power Systems Research* 57, 173-179, 2001.
- NBR 6869: 1989 – Líquidos Isolantes Elétricos – Determinação da Rigidez Dielétrica.
- NBR 10710-B: 2006 – Isolantes Elétricos – Determinação de Teor de Água
- SHAFIZADEH, F., LAI, Y. Z. *Journal Organic Chemistry* 37, 278-284, 1972.
- SCHEIRS, J., CAMINO, G., TUMIATTI, W., AVIDANO, M. *Die Angewandte Makromolekulare Chemie* 259, 19-24, 1998.
- UNSWORTH, J., MITCHELL, F. *IEEE Transactions on Electrical Insulation* 25, 737-746, 1990.