



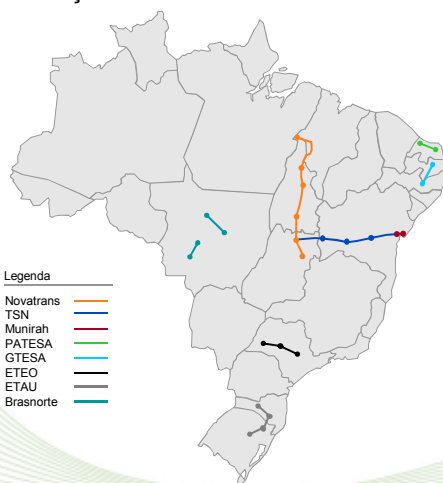
Resultados recentes da despolarização seletiva – Experiência da TAESA

Gabriel Mussi Moraes
Engenharia de Transmissão - TAESA

Visão Geral da Transmissora Aliança



A Transmissora Aliança é um dos maiores grupos de transmissão de energia elétrica do Brasil. A empresa é exclusivamente dedicada à construção, operação e manutenção de ativos de transmissão.



◆ Total de 3.712 km de linhas de transmissão (2.447 km em 500 kV, 502 km em 440 kV, 763 km em 230 kV) e 28 subestações, com presença em todas as regiões do país



Equipe técnica

- Elson Martins
- Gabriel Moraes
- Jose Aguirre
- Livia Soares
- Luis Solis
- Marcelo Marreca
- Paulo Botelho
- Paulo Cyriaco
- Paulo Gama
- Sérgio Teixeira



Transformadores e Reatores do Grupo TAESA

		Quantidade	Massa de Óleo total (kg)	Unidades originalmente com DBDS	Massa de Óleo originalmente com DBDS (kg)
Transformadores	500 kV	18	1.101.296	18	1.101.296
	230 kV	4	59.827	-	-
Total		22	1.161.122	18	1.101.296
Reatores	500 kV	82	1.383.237	50	862.396
	440 kV	8	129.667	8	129.667
Total		90	1.512.903	58	992.062
Total Geral		112	2.674.026	76	2.093.358

68%

78%



Breve histórico do problema na TAESA

- 1) Substituição do óleo contaminado por óleo mineral isolante não contaminado. Com a descoberta do problema mundialmente na época, os fornecedores de óleo mineral isolante sem DBDS não conseguiam atender a demanda de imediato e houve dificuldades de se obter óleo suficiente para substituir todas as unidades contaminadas.
- 2) Foram passivadas as demais unidades de imediato.
- 3) Preparado um cronograma para a substituição da bobina de todos os reatores severamente contaminados (66% já substituídos).



Breve histórico do problema na TAESA

- 4) Taesa adquire Unidade Móvel de Despolarização Seletiva (DMU) para a remoção do DBDS do óleo isolante dos equipamentos.
- 5) Em 21/07/2009, foi publicada a Resolução ANEEL 371/09, que estabeleceu a incidência de fatores k progressivos na Parcela Variável (PV) para a causa devida a Enxofre Corrosivo.

Fator multiplicador para desligamento programado - Kp				
Semestre 1	Semestre 2	Semestre 3	Semestre 4	Semestre 5 em diante
2	4	6	8	10

Fator multiplicador para outros desligamentos - Ko				
Semestre 1	Semestre 2	Semestre 3	Semestre 4	Semestre 5 em diante
30	60	90	120	150

Medidas para eliminação do DBDS

		Massa de Óleo originalmente com DBDS (kg)	Massa de óleo substituído (kg)	Total de Óleo a ser Despolarizado (kg)	Óleo já Despolarizado (kg)
Transformadores	500 kV	1.101.296	-	1.101.296	417.901
	230 kV	-	-	-	-
Total		1.101.296	0	1.101.296	417.901
Reatores	500 kV	862.396	826.394	53.169	53.169
	440 kV	129.667	129.667	48.625	0
Total		992.062	956.061	65.792	53.169
Total Geral		2.093.358	956.061	1.167.087	471.070 (40%)

68%

Despolarização Seletiva: equipamentos escolhidos

7 autotransformadores 500/230/13,8 kV, 200 MVA com carregamento de aproximadamente 30 % da nominal e média de 165 mg/kg de DBDS



Inspeção em Outubro 2005



Despolarização Seletiva: equipamentos escolhidos

4 transformadores 500/17,5 kV, 83,33 MVA com carregamento de aproximadamente 30 % da nominal e média de 150 mg/kg de DBDS

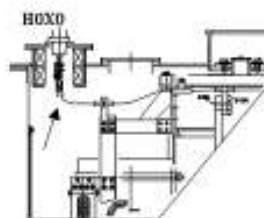


Inspeção em Junho 2009



Despolarização Seletiva: equipamentos escolhidos

7 autotransformadores 500/230/13,8 kV 100 MVA com carregamento de aproximadamente 40% da nominal e 160 mg/kg de DBDS



Inspeção em Outubro de 2005



Despolarização Seletiva: equipamentos escolhidos

3 reatores monofásicos de 440 kV, 33 Mvar de um total de 8 unidades com óleo já substituído e que se encontram hoje com aprox. 35 mg/kg de DBDS. As demais unidades encontram-se com aprox. 10 mg/kg

Os bancos de reatores são diariamente desligados para controle de tensão.



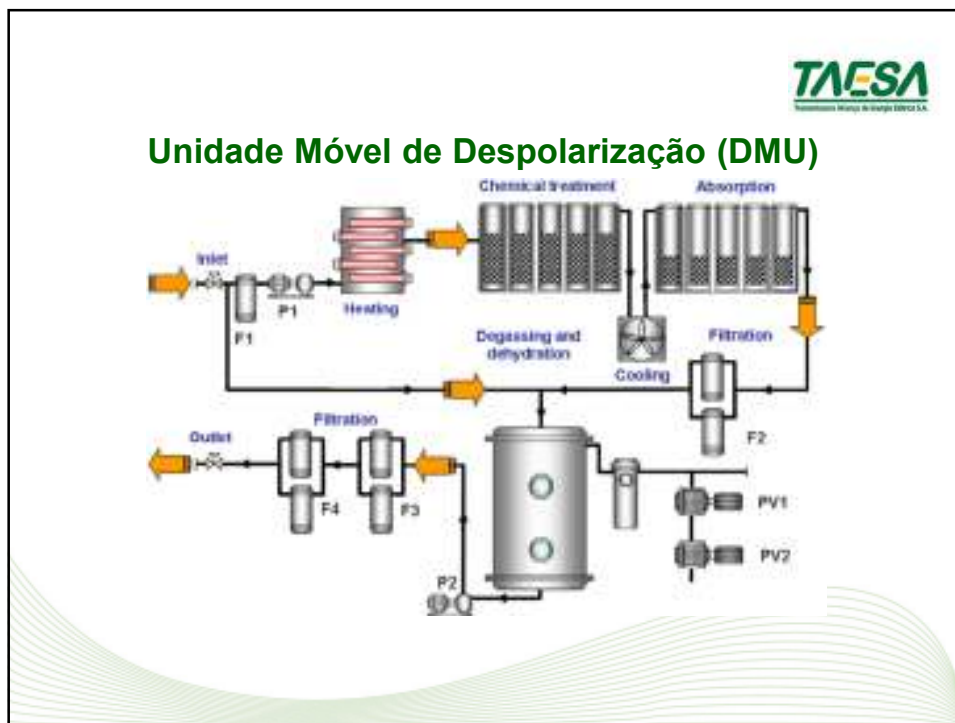
Inspeção em Novembro 2005



Projeto de P&D

Projeto de P&D – Aplicação do Processo de Despolarização Seletiva para Eliminação do Dibenzil Dissulfeto (DBDS) presente em Óleos de Reatores e Transformadores

- Avaliação do processo na remoção do DBDS / Testes e avaliação das diferentes formas de aplicação ;
- Variáveis influentes na aplicação e controle do processo;
- Avaliação das propriedades do óleo após a despolarização;
- Avaliação econômica e ambiental.

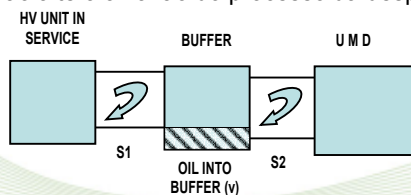




Tipos de aplicação da despolarização seletiva

Com o equipamento energizado:

- Aplicação do processo com o equipamento em serviço, sem prejudicar o desempenho do equipamento;
- Utiliza-se o buffer para manter a vazão da circulação do óleo entre equipamento e buffer constante e reduzida, evitando atuações da proteção do equipamento devido a rápida alteração do fluxo de óleo;
- Não altera a vazão do processo da despolarização.



Tipos de aplicação da despolarização seletiva

Com equipamento desenergizado:

- Não há necessidade de utilização do buffer;
- A maior velocidade de circulação do óleo para o equipamento, agiliza a homogeneização do óleo despolimerizado.
- Apesar do equipamento em tratamento estar fora de serviço, o mesmo pode retornar a operação em caso de contingências, garantindo a segurança operativa do SIN.



Montagem da Unidade Móvel de Despolarização na SE Sapeaçu (Bahia) no reator de 500 kV



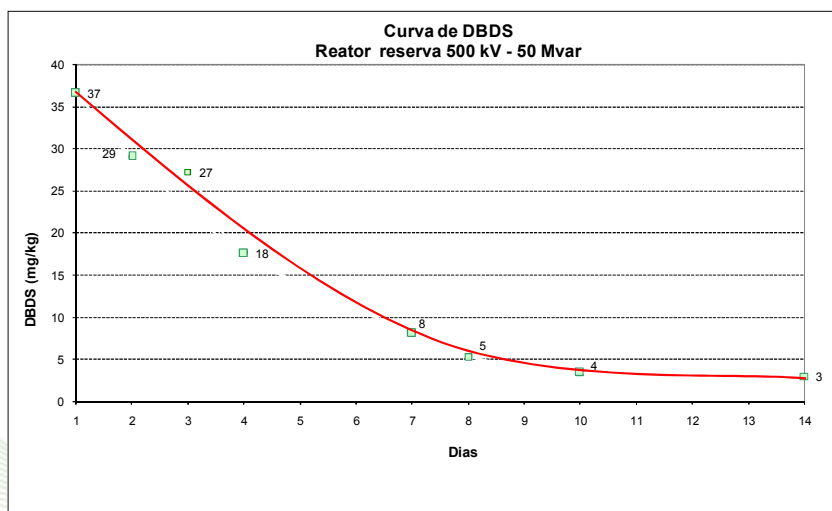
1) Histórico do reator reserva 500 kV - 50 Mvar

- Energização em Maio/05 após substituição da bobina, em fábrica e reenchido com óleo novo. O óleo foi aprovado no ensaio estendido (único ensaio empregado na época para definir o grau de contaminação por enxofre corrosivo antes da divulgação do DBDS em óleos isolantes corrosivos que ocorreu em Julho 2006).

- Em Março/2009 foi realizado novo ensaio em laboratório onde se detectou 37 mg/kg de DBDS neste reator.



Redução do DBDS pelo processo de despolarização – reator (14 dias, desenergizado com buffer)

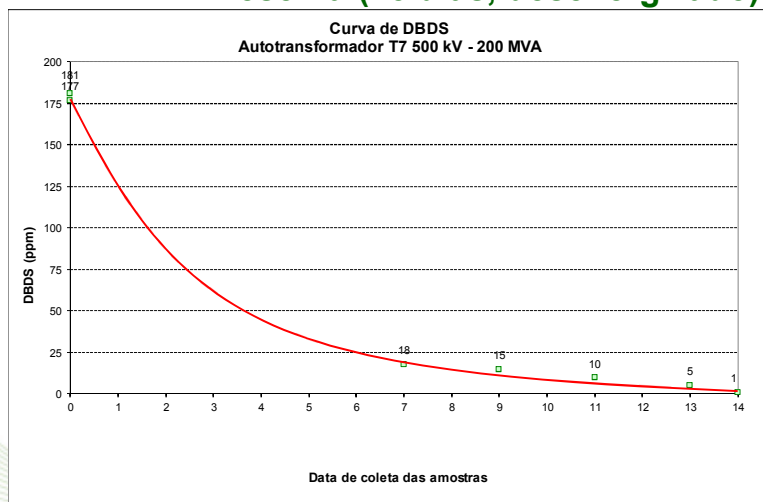


Principais resultados das análises do óleo do reator 500 kV, 50 Mvar

	Unidade	Norma	Ensaio Antes Despolarização	Ensaio Depois Despolarização	Cerca de um ano depois
Data da amostragem			26/6/2009	21/07/2009	23/09/2010
Densidade a 20 °C	kg/dm ³	NBR 7148	0,8846	0,8863	0,888
Rigidez Dielétrica	kV	NBR 6869	75	-	43
Fator de potência a 100 °C	---	NBR 12133	0,41	0,45	0,13
Teor de água	mg/kg	NBR 10710	6	6	6
Tensão Interfacial	mN/m	NBR 6234	46,6	43,4	47
2-FAL	mg/kg	NBR 15349	ND	ND	ND
Índice de Neutralização	mg KOH/g	NBR 14248	0,01	0,01	0,01
Estabilidade à oxidação (500 h):					
- Residual	%	IEC 60296	0,01	0,01	0,0005
- Total acidez	mg KOH/g	IEC 60296	0,01	0,01	0,02
Enxofre Corrosivo	-	NBR10505	Não corrosivo	Não corrosivo	Não corrosivo
Aditivos Antioxidantes (DBPC)	%	NBR 12134	0,24	0,23	0,18
Aditivos Passivadores (BTA)	mg/kg	IEC 60666	ND	ND	ND
DBDS	mg/kg	Cromatografia	37	3	5,38
Teor de PCB	mg/kg	NBR 13882	<2,0	<2,0	<2,0



Redução do DBDS pelo processo de despolarização – ATR T7 reserva (15 dias, desenergizado)

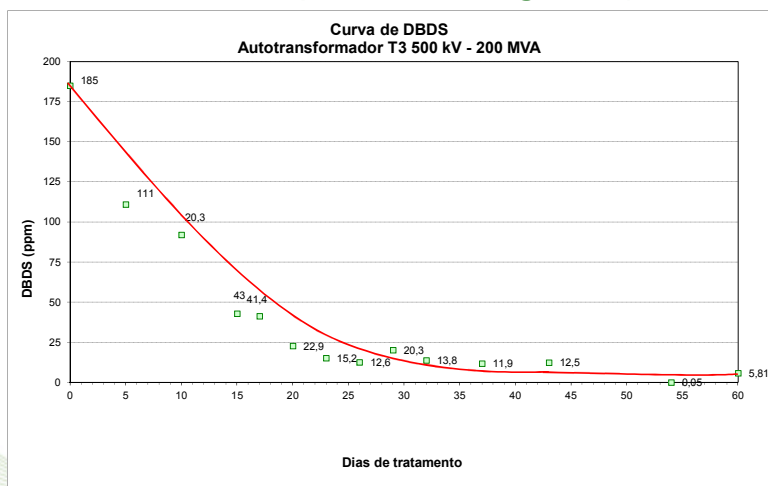


Principais resultados das análises do óleo do ATR T7 500 kV, 200 MVA

	Unidade	Resultado	Limite Anter. Despolarização	Limite Super. Despolarização	Limite de em. mecânica
DBDS (ppm)		181	100	100	100
Temperatura 70 °C	Índice	100	0,00	0,00	0,00
Excesso (ppm)	µV	100	0	0	0
Temp. de partida a 100 °C	---	100	0,00	0,00	0,00
Temp. de início	mg/kg	100	0	0	0
Temperatura final	mg/kg	100	0	0	0
DBDS	mg/kg	100	0,00	0,00	0,00
Índice de Neutralização	mg KOH/g	100	0,00	0,00	0,00
Temperatura de partida (100 °C)	---	100	0,00	0,00	0,00
Resíduo	g	100	0,00	0,00	0,00
Temp. de início	mg/kg	100	0,00	0,00	0,00
Temperatura	---	100	Não Concluído	Não Concluído	Não Concluído
Ácido Acético (mg/kg)	g	100	0,00	0,00	0,00
Ácidos Fosforados (PTA)	mg/kg	100	0	0	0
DBDS	mg/kg	100	0,00	0,00	0,00
Temperatura	mg/kg	100	0,00	0,00	0,00



Redução do DBDS pelo processo de despolarização – ATR T3 (60 dias, energizado)



Principais resultados das análises do óleo do ATR T3 500 kV, 200 MVA

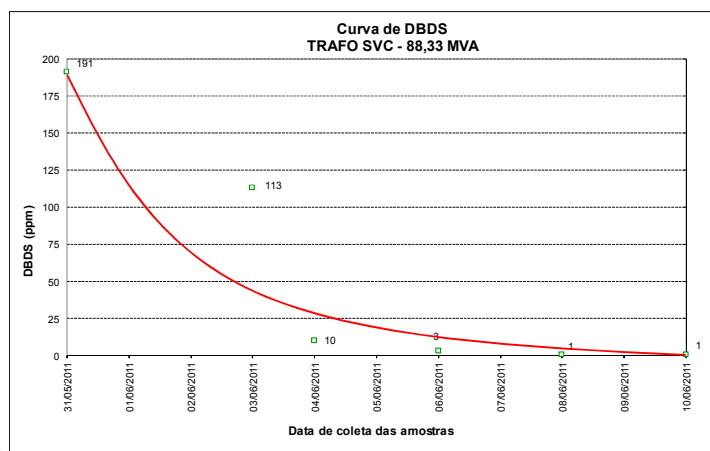
	Unidade	Norma	Ensaio Antes Despolarização	Ensaio Depois Despolarização
Data da amostragem			26/06/2010	05/11/2010
Densidade a 20 °C	kg/dm ³	NBR 7148	0,8847	0,895
Rigidez Dielétrica	kV	NBR 6869	60	70
Fator de potência a 100 °C	---	NBR 12133	0,09	0,16
Teor de água	mg/kg	NBR 10710	8	7
Tensão Interfacial	mN/m	NBR 6234	36	47
2-FAL	mg/kg	NBR 15349	ND	ND
Índice de Neutralização	mg KOH/g	NBR 14248	0,01	0,01
Estabilidade à oxidação (500 h):				
- Residual	%	IEC 60296	-	0,0004
- Total acidez	mg KOH/g	IEC 60296	-	0,03
Enxofre Corrosivo IEC 62535	-	NBR10505	Não Corrosivo	Não Corrosivo
Aditivos Antioxidantes (DBPC)	%	NBR 12134	ND	0,28
Aditivos Passivadores (BTA)	mg/kg	IEC 60666	99,3	ND
DBDS	mg/kg	Cromatografia	185	5,8
Teor de PCB	mg/kg	NBR 13882	< 2,0	< 2,0



Redução do DBDS pelo processo de despolarização – tratamento em tanque



Redução do DBDS pelo processo de despolarização – tratamento em tanque (10 dias, desenergizado)





Principais resultados das análises do óleo do Trafo 500 kV, 83,33 MVA, tratado em tanque

	Unidade	Norma	Ensaio Antes Despolarização	Ensaio Depois Despolarização
Data da amostragem			31/05/2011	10/06/2011
Densidade a 20 °C	kg/dm ³	NBR 7148	0,8861	0,8895
Rigidez Dielétrica	kV	NBR 6869	16	56
Fator de potência a 100 °C	---	NBR 12133	0,29	0,18
Teor de água	mg/kg	NBR 10710	61	17
Tensão Interfacial	mN/m	NBR 6234	42	52
2-FAL	mg/kg	NBR 15349	ND	ND
Índice de Neutralização	mg KOH/g	NBR 14248	0,01	0,01
Estabilidade à oxidação (500 h):				
- Residual	%	IEC 60296	0,02	0,13
- Total acidez	mg KOH/g	IEC 60296	0,01	0,21
Enxofre Corrosivo IEC 62535	-	NBR 10505	Não Corrosivo	Não Corrosivo
Aditivos Antioxidantes (DBPC)	%	NBR 12134	ND	0,28
Aditivos Passivadores (BTA)	mg/kg	IEC 60666	18,6	ND
DBDS	mg/kg	Cromatografia	191	<0,5
Teor de PCB	mg/kg	NBR 13882	<2,0	<2,0



Despolarização seletiva x outros processos

- **Passivação:**

Vantagens:

- possui baixo custo e é de fácil aplicação.
- Neutraliza a formação do sulfeto de cobre (Cu₂S)

Desvantagens:

- Não remove o DBDS do óleo isolante;
- Histórico de ocorrência de falhas em equipamentos já passivados;
- Na TAESA, por exemplo, 9 reatores falharam após passivação;



Despolarização seletiva x outros processos

- **Passivação (continuação):**

Desvantagens (continuação):

- Indisponibiliza o equipamento (custos com PV). Pode gerar PV também por indisponibilidade do equipamento reserva (caso seja remunerado) – risco operativo;
- Necessidade de re-passivação do óleo após certo período de tempo.



Despolarização seletiva x outros processos

- **Substituição do óleo:**

Vantagens:

- elimina o risco da formação do sulfeto de cobre (Cu_2S), já que o óleo novo não possui DBDS.

Desvantagens:

- Custo elevado;
- Indisponibiliza o equipamento (custos com PV). Pode gerar PV também por indisponibilidade do equipamento reserva (caso seja remunerado) – risco operativo.
- Risco de contaminação por armazenamento impróprio do óleo (*cross contamination*);



Comparação da despolarização seletiva com os demais processos

- **Despolarização seletiva:**

Vantagens:

- É o método que provoca menor indisponibilidade do equipamento;
- Não indisponibiliza a unidade reserva e, portanto, possui menor risco operativo;
- Elimina a formação do sulfeto de cobre (Cu_2S), pois remove o DBDS do óleo isolante;



Comparação da despolarização seletiva com os demais processos

- **Despolarização seletiva (continuação):**

Desvantagens:

- Nenhuma desvantagem observada.



Substituição de bobina + despolarização seletiva

- Esta alternativa proporciona segurança total contra falhas devido ao enxofre corrosivo;
- A despolarização do óleo ao invés de sua substituição acarreta em ganhos econômicos e ambientais.
- Ideal para os casos onde a bobina se encontra severamente contaminada



Resultados do P&D

Avaliação do processo na remoção do DBDS / Testes das diferentes formas de aplicação

- O processo de Despolarização Seletiva apresentou a garantia da remoção do DBDS.
- Todas as formas de aplicação do processo se mostraram eficientes: com o equipamento energizado, desenergizado ou ainda em óleo isolante contaminado estocado em tanque;
- O tempo do tratamento varia com o tipo de aplicação.



Resultados do P&D

Variáveis influentes na aplicação e controle do processo

- Em todos os casos ficou claro que a queda do DBDS Vs tempo de duração e a velocidade de circulação do óleo são variáveis influentes no processo.
- Na primeira fase dos tratamentos (quando o teor de DBDS é mais elevado) há uma queda bastante acentuada (na maioria dos casos de 30 – 20 ppm). Na segunda fase do tratamento (quando a maior parte do DBDS já foi removida) a característica geral é uma queda mais lenta e menos acentuada do DBDS.
- Foi também observado que o teor de DBDS em cerca de 5 – 10 ppm ao final do tratamento permanece praticamente constante ao longo do tempo.



Resultados do P&D

Avaliação das propriedades do óleo após a despolarização:

- Foi comprovado que o óleo mineral isolante – tratado pelo processo de despolarização seletiva não apresenta nenhuma alteração negativa nas suas propriedades após a despolarização. No entanto, é necessário ser aditivado com outro antioxidante. Neste caso, foi utilizado o DBPC.



Resultados do P&D

Avaliação econômica e ambiental

- De fato, a troca do óleo especialmente quando falamos de milhares de toneladas de óleo, produz um grande volume de resíduo a ser descartado, enquanto o processo de despolarização seletiva se destaca devido à sua particularidade de poder ser realizado em circuito fechado e contínuo, sem precisar do esvaziamento, nem mesmo parcial do equipamento, permitindo a recuperação do óleo sem ter que substituí-lo.
- Também, a simples aplicação de passivadores (BTA) pode causar problemas ambientais no futuro e, ao final de sua vida útil, deve-se descartar os resíduos deste óleo aditivado por outras espécies químicas (BTA).



Resultados do P&D

Avaliação econômica e ambiental

- Avaliação econômica comparativa com a substituição do óleo indicou que o processo de Despolarização Seletiva apresenta menor custo global.
- No caso da TAESA (~1.100 toneladas de óleo contaminado) estão sendo economizados cerca de R\$4.000.000,00 se comparados com a opção de substituição do óleo (sem considerar ainda os custos com descarte e multa por indisponibilidade).
- Não foi realizada nenhuma comparação econômica com a passivação do óleo (com BTA) porque essa solução só pode ser considerada como primeira medida para frear os efeitos negativos do DBDS no cobre, mas não eliminá-lo.

Considerações finais



- A despolarização seletiva é um processo de fácil aplicação em subestações de EAT;
- É o processo que oferece menor indisponibilidade de equipamento;
- É a opção que gera menos riscos operativos: em caso de emergência há a possibilidade de disponibilização imediata do equipamento (tratamento desenergizado);
- Em comparação com as outras soluções praticadas para o problema do DBDS no óleo (passivação do óleo e substituição do óleo) é possível dizer que o processo representa hoje a Melhor Técnica Disponível e também a Melhor Prática Ambiental.

Considerações finais



- Reduz e estabiliza o valor final de DBDS em níveis inferiores a 10 mg/kg, atendendo à recomendação do CIGRE (WGA2-32 Report 378, April 2009), após a reenergização do equipamento;
- Remove o passivador adicionado ao óleo;
- Preservação do meio ambiente, por ser processo de ciclo fechado (transformador/máquina) sem esvaziamento e manuseio de grande quantidade de óleo. No nosso caso, 1.167.000kg de óleo;
- Exclui a possibilidade de mistura ou contaminação do óleo no momento da execução da troca, uma vez que o óleo não é retirado do equipamento;
- Opção com melhor custo benefício.

MUITO OBRIGADO!

Gabriel Moraes (gabriel.moraes@taesa.com.br)

