



Diagnóstico das condições operativas de disjuntores alimentadores de bancos de capacitores com a termografia infravermelha

Alexsandro Teixeira Gomes

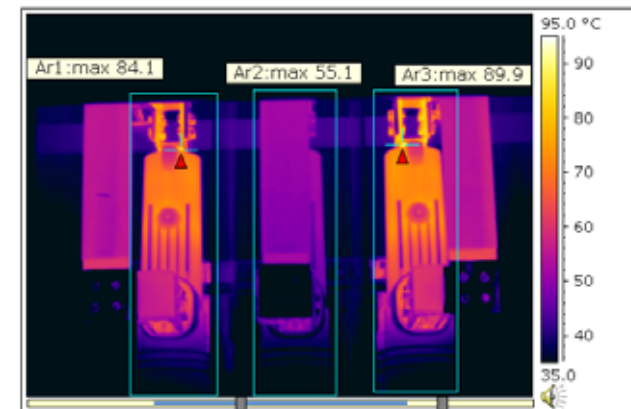
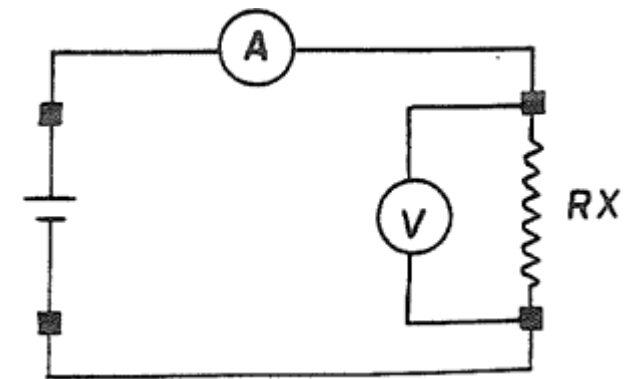
PN/MT – Gerência de Planejamento e Engenharia de Manutenção da Transmissão
CEMIG Geração e Transmissão S.A.

Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Objetivo



Apresentar a correlação entre a medição da resistência elétrica de contatos e a termografia infravermelha no diagnóstico das condições operativas de disjuntores alimentadores de bancos de capacitores, para estabelecimento de limites operacionais para esses equipamentos.



Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Chaveamento de bancos de capacitores



Atualmente na área de Transmissão da CEMIG os bancos de capacitores são chaveados em média de 1 a 2 vezes por dia, e a cada operação de energização estão associados fenômenos transitórios que envolvem correntes que podem atingir valores dezenas ou centenas de vezes superiores à corrente nominal do banco, e sobretensões que podem atingir valores de até 2 pu.

As correntes associadas ao fenômeno de energização apresentam ainda frequência de oscilação que dependem da configuração do sistema e podem atingir valores centenas de vezes superiores à frequência de operação do sistema em regime permanente.

A ação de desenergização dos bancos de capacitores também pode dar origem a fenômenos transitórios cujas sobretensões podem atingir até 3 pu, embora os equipamentos de manobra sejam especificados de forma que tais eventos não ocorram.

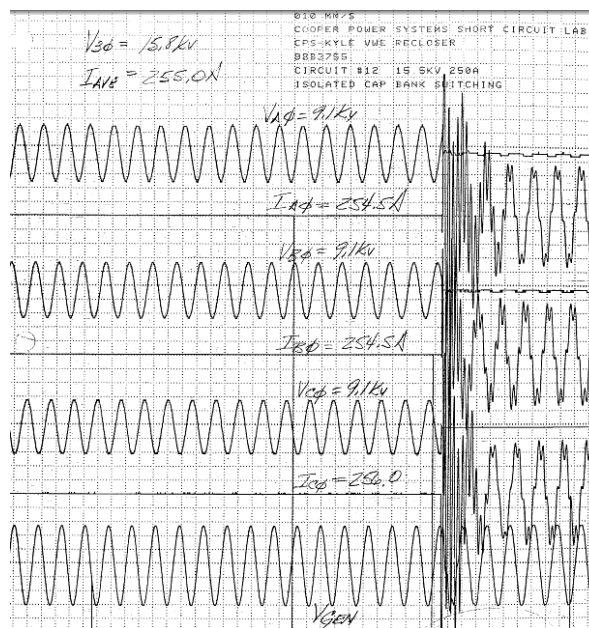
Esse tipo de chaveamento causa ao disjuntor um desgaste muito severo, e, dessa forma faz-se necessário um controle de manutenção eficiente e ao mesmo tempo econômico.

Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

ET disjuntores para chaveamento de bancos de capacitores



- Corrente nominal capacitativa.
- Corrente transitória nominal de energização (inrush).
- Frequência nominal corrente transitória de energização .
- Suportar o regime de trabalho.





Ensaio de campo em disjuntores:

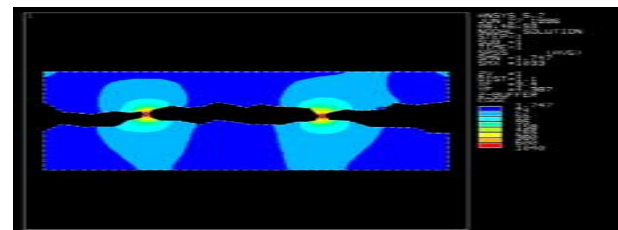
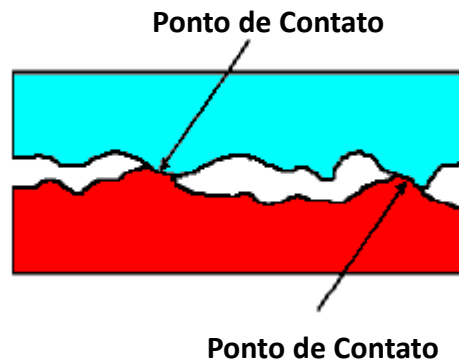
- Medição do Tempos de Operação.
- Análise do deslocamento/velocidade dos contatos móveis.
- Resistência elétrica (ôhmica) dos contatos.
- Resistência dinâmica dos contatos.
- Isolamento: CC e CA.
- Qualidade do gás SF6.
- Termografia.
- Etc.

Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Ensaio: Resistência Elétrica do Contatos:

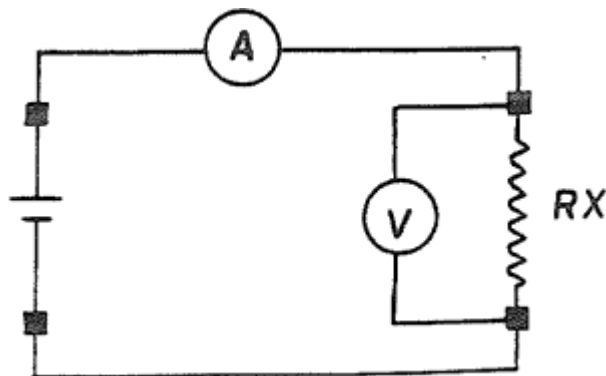


Resistência Elétrica de Contatos:



Medição da Resistência Elétrica de Contatos:

- Método da queda de tensão ($\mu\Omega$ e $m\Omega$).



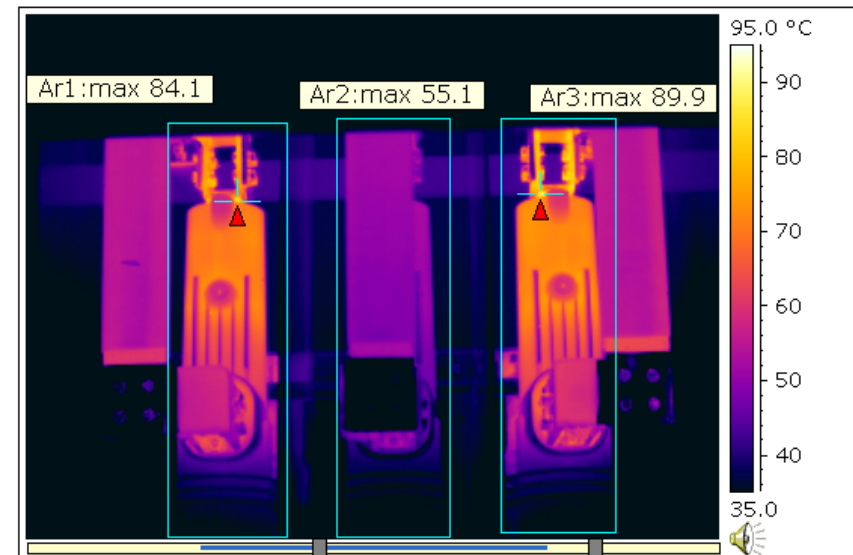
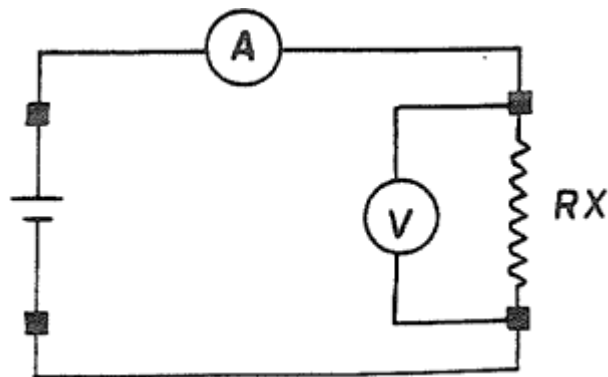
100A cc

Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Ensaio: Termo grafia



Por que?



Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A



Ainda que os bancos de capacitores e os equipamentos de manobra sejam projetados pelos fabricantes de forma a suportar as operações de chaveamento, tem-se verificado na CEMIG desempenho insatisfatório de certos equipamentos utilizados em subestações de transmissão.

Em particular serão apresentados casos em que disjuntores à SF6 de 17,5kV e 2000A de capacidade nominal tem apresentado durabilidade elétrica insuficiente quando submetidos a chaveamentos de bancos de capacitores de 28,8Mvar e 13,8kV em torno de 3.000 operações, que está abaixo do valor especificado pela CEMIG (5.000) e garantido pelo fabricante (5.000 - curva), apresentando aquecimento devido ao aumento da resistência de contato em função do desgaste nas operações.

Nesse trabalho será apresentado o uso da termografia infravermelha e da resistência elétrica de contatos para diagnóstico das condições operativas desses disjuntores.

Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A



Disjuntor:

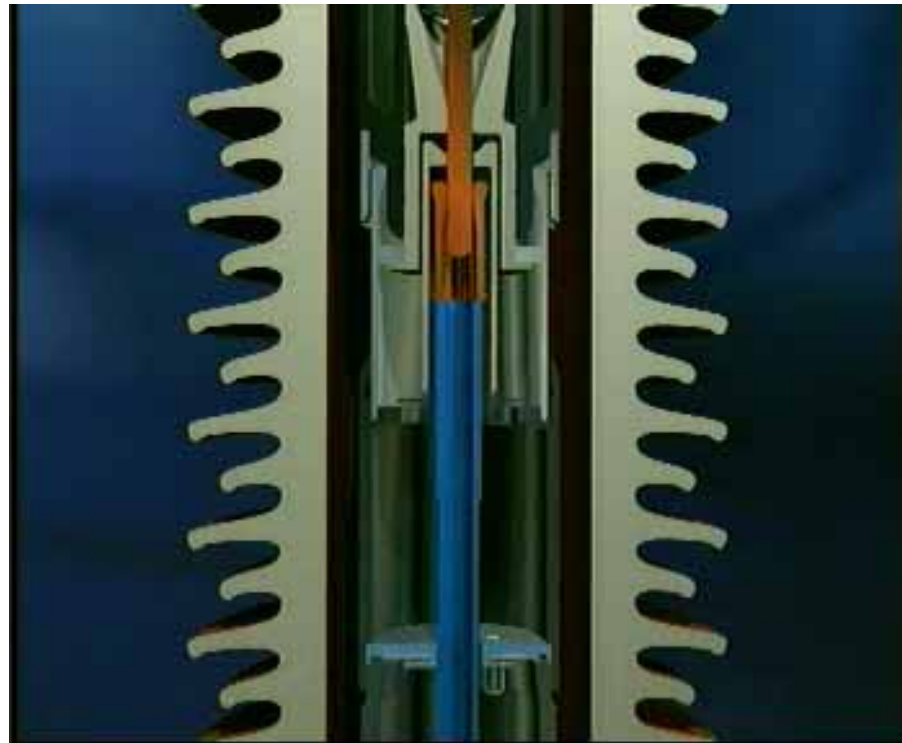


Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A



Funcionamento de uma câmara de extinção similar:

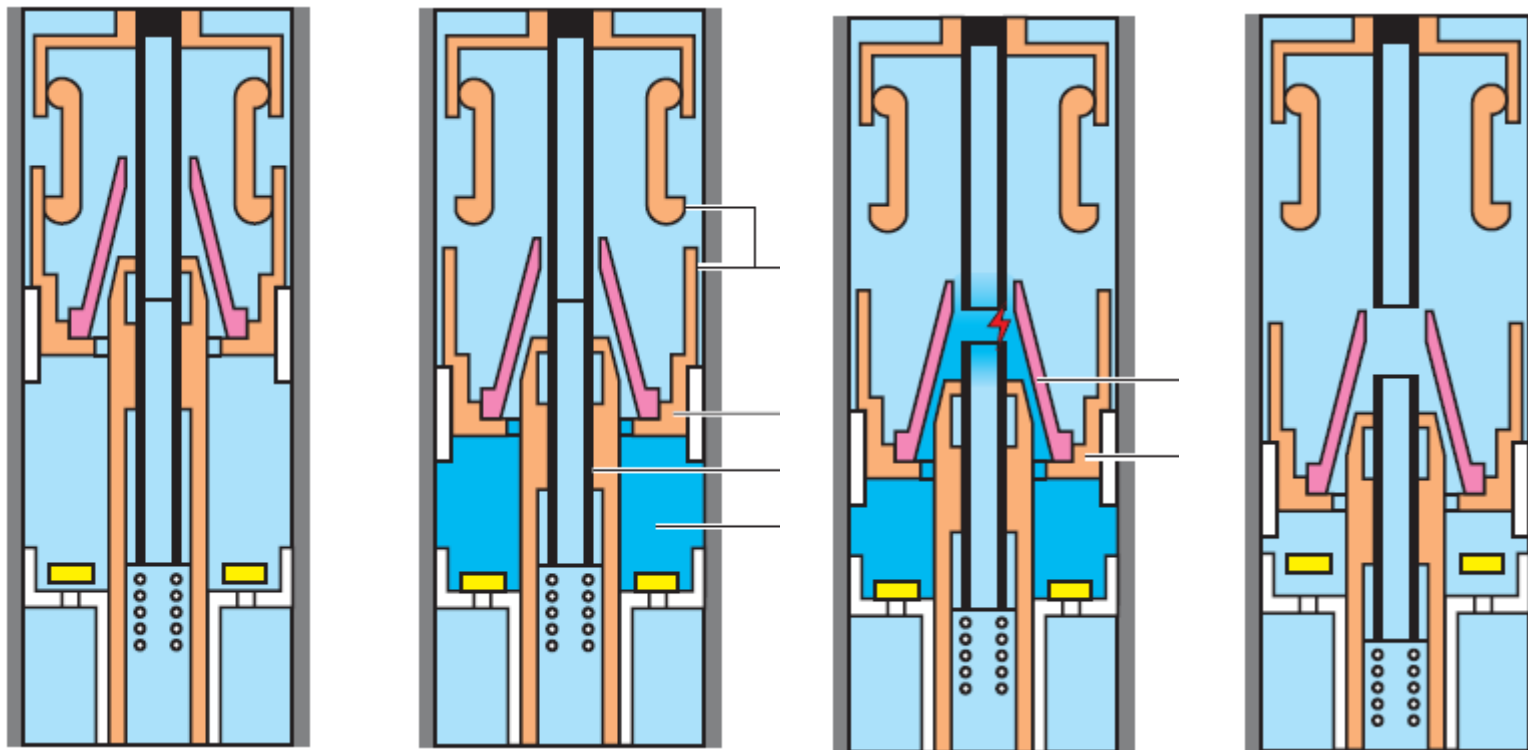


Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A



Funcionamento do disjuntor:



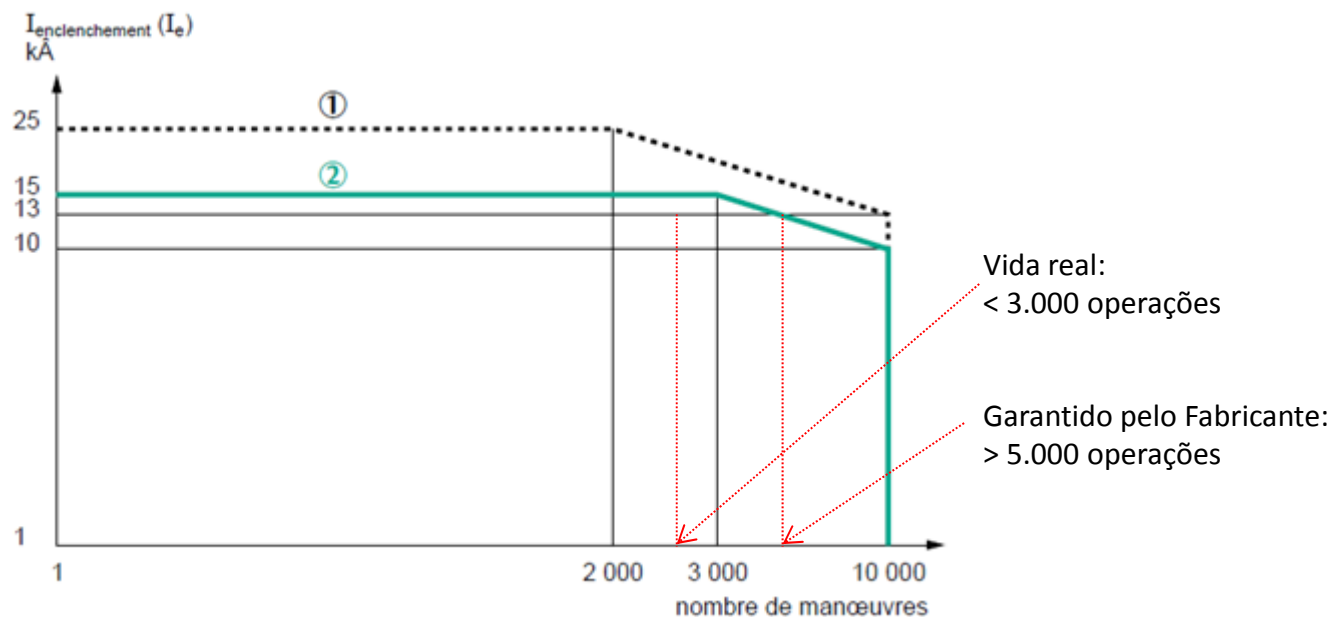
Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A



Característica do disjuntor:

Tensão Nom. (kV)	Corrente Nom. (A)	Corr. Inter. Simét. (kA)
24,0	2000	40



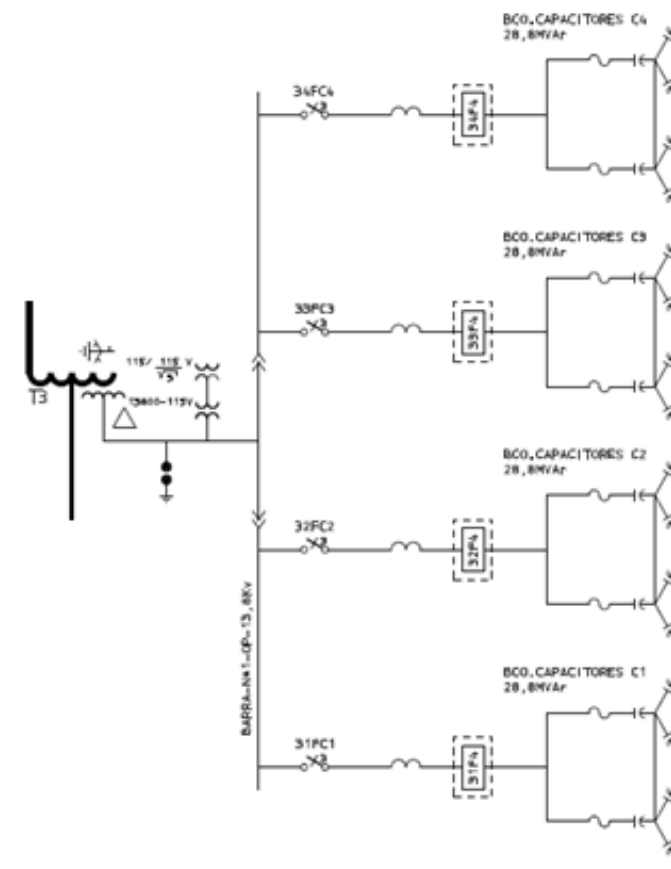
Requisito de durabilidade elétrica do fabricante

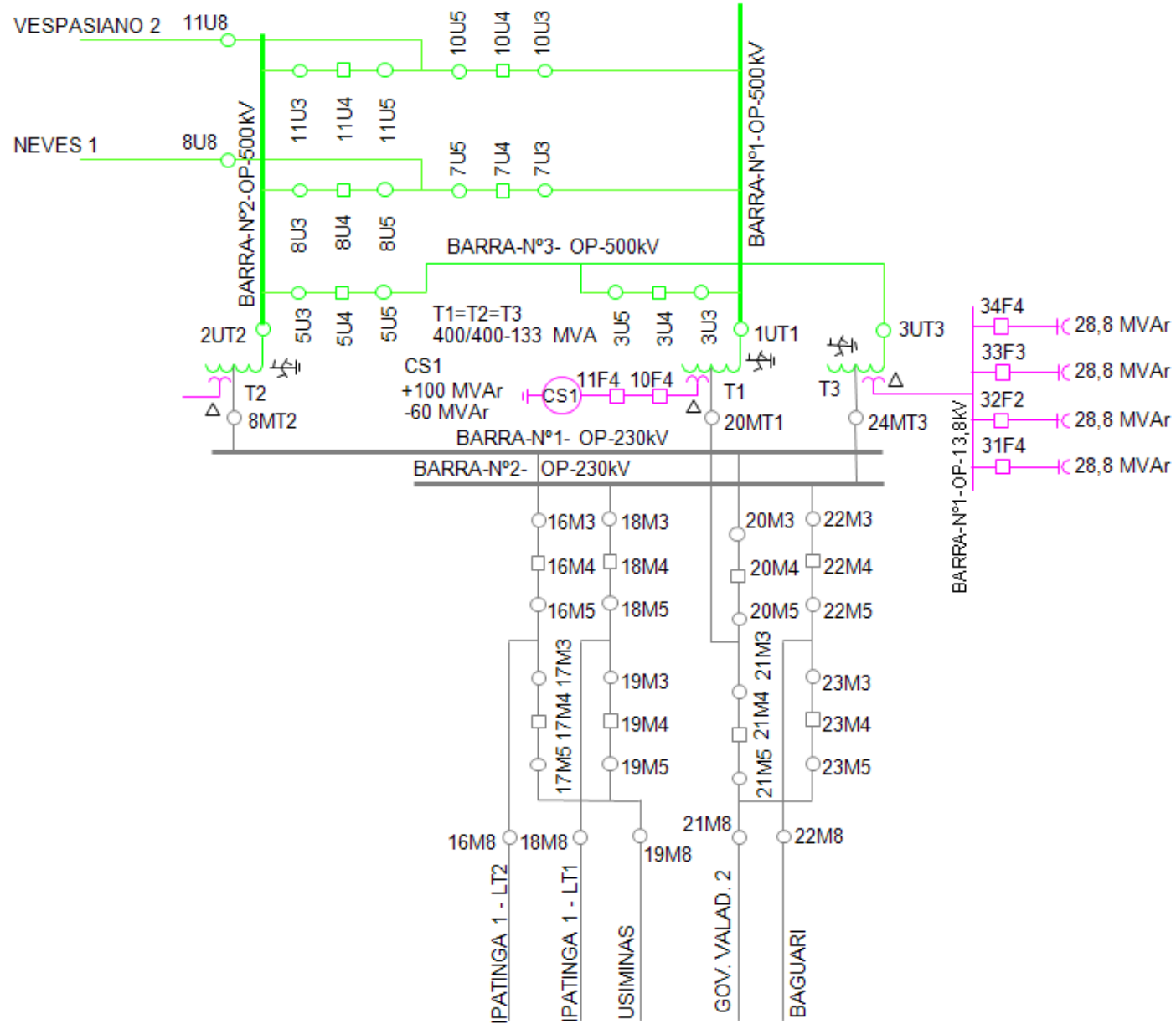
Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A



Subestação Mesquita: 4 Bancos de Capacitores de 28,8Mvar (1200A), conectados via indutância fixa de $150\mu\text{H}$ em um barramento de 13,8 kV, autotransformador de 300MVA, 500/230-13,8kV, cuja corrente de curto circuito no terciário é 43.916 A. 115,2MVAR Conectados no terciário do transformador.





13,8kV

MESQUITA - MQT



Nº: PO/PL-27
Revisão: 2

DATA:
25/09/09

ELABORAÇÃO:
Michelle

CONFERÊNCIA:
Gomes

APROVAÇÃO:
Clóvis Edson Alves

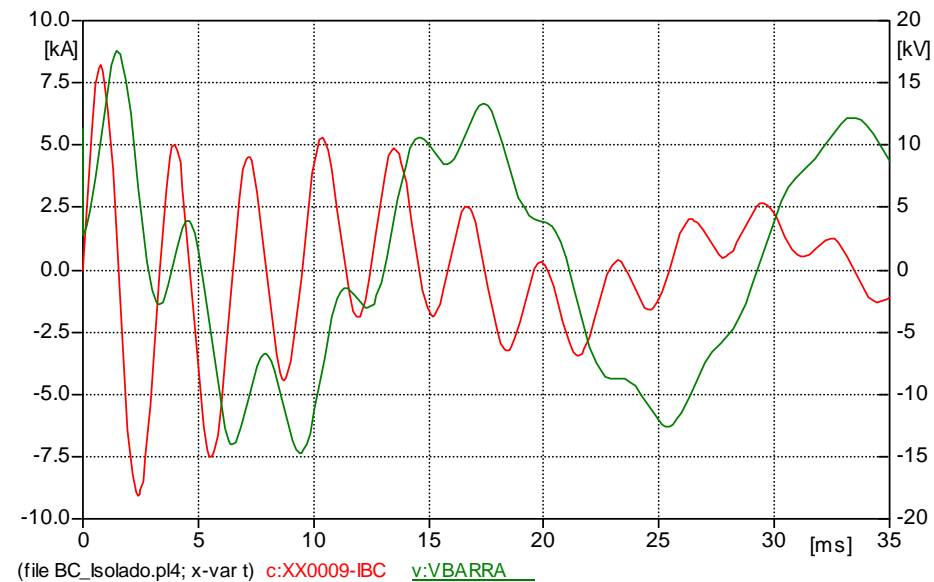
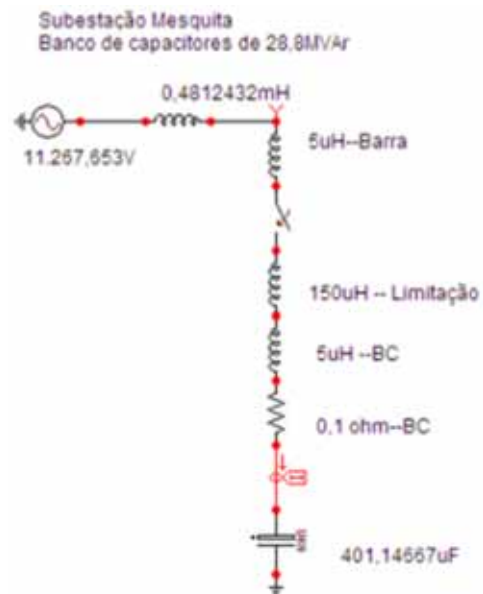
Página 1-2

Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A



Subestação Mesquita: **Energização dos bancos de capacitores de 28,8 Mvar** em 13,8 kV **isolado**; Subestação Mesquita CEMIG, com reator fixo, tensão máxima e carga inicial zero; **corrente de inrush: 9.051,6 A**, frequência natural: 314,78 Hz e **corrente de regime: 1.200 A**.

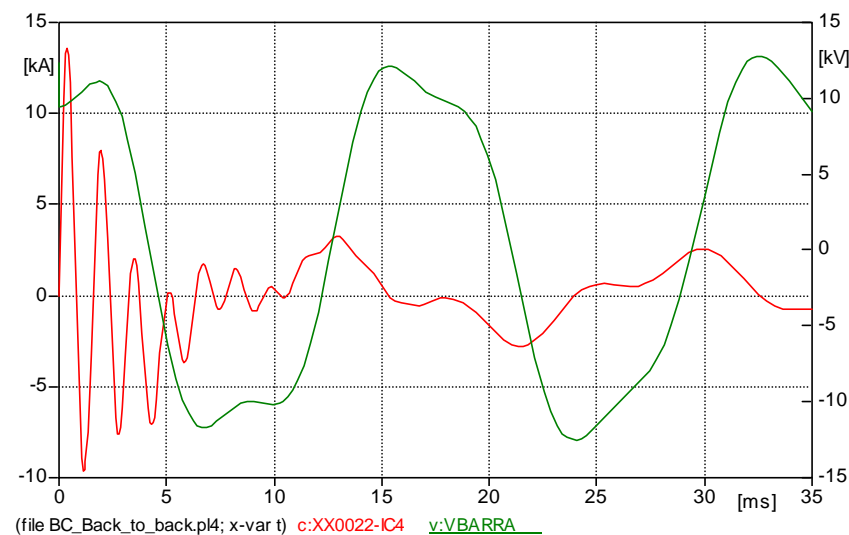
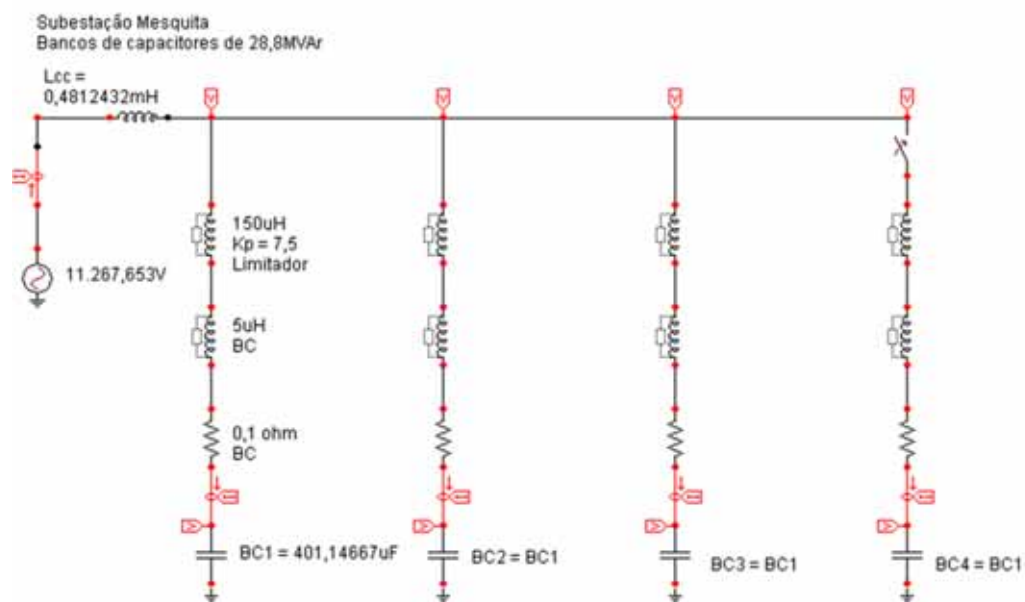


Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A

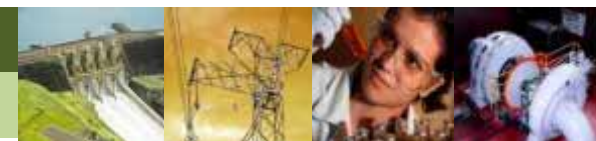


Subestação Mesquita: **Energização do bancos de capacitores de 28,8 Mvar em 13,8 kV em back-to-back**; Subestação Mesquita CEMIG, com reator fixo, tensão máxima e carga inicial zero; **corrente de inrush: 13.614 A**, frequência natural: 634,37 Hz e **corrente de regime: 1.200 A**.



Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A



MS/QL - Jatobá 19 e 20/12/2006

Corrente do Ensaio: 2000A - Monofásico

Ensaio na Fase B - Polo número: Z11085

Localização	Horário	11:00	ΔT	11:30	ΔT	12:00	ΔT	12:30	ΔT	13:00	ΔT	13:30	ΔT	14:00	ΔT	14:30	ΔT	15:00	ΔT
Polo Fase B Conexão Superior	80	56		93,3	69,3	92,4	68,4	93	69	93,3	68,8	94,3	69,7	94,7	69,8	94,9	70	95,2	70,2
Polo Fase B Conexão Inferior	71	47		86,7	62,7	90	66	93	69	97	72,5	99,5	74,9	102,3	77,4	104,1	79,2	105,7	80,2
Superfície Externa Polo Fase B	65	41		71,1	47,1	71,6	47,6	72,4	48,4	73	48,5	73,7	49,1	74	49,1				
Temperatura Ambiente	24			24		24		24		24,5		24,6		24,9		24,9		25	

Resistência de Contato à Frio antes do Aquecimento

893 μΩ

Resistência de Contato à Quente após Aquecimento

44 μΩ

Medida Realizada com 100Acc

Resistência de Contato à Frio após do Aquecimento

54 μΩ

Resistência de Contato à Frio após 10 manobras

8 μΩ

SE Mesquita, disjuntor 31F4, ensaio de elevação de temperatura* em 20/12/2006

Ensaio na Fase A - Polo número: Z11083

Localização	Horário	16:00	ΔT	16:30	ΔT	17:00	ΔT	17:30	ΔT	18:00	ΔT
Polo Fase A Conexão Superior	57,7	31,9		63,5	37,7	62,3	36	64,9	38,1	64,8	38,1
Polo Fase A Conexão Inferior	57,9	57,9		63,4	37,6	63,4	37,1	63,2	36,4	63,4	36,7
Superfície Externa Polo Fase A	41,2	15,4		48	22,2	48,2	21,9	48,9	22,1	49,2	22,5
Temperatura Ambiente	25,8			25,8		26,3		26,8		26,7	

Resistência de Contato à Frio antes do Aquecimento

17 μΩ

Resistência de Contato à Quente após Aquecimento

15 μΩ

Medida Realizada com 100Acc

Resistência de Contato à Frio após do Aquecimento

14 μΩ

Resistência de Contato à Frio após 10 manobras

2 μΩ

*IEC 60694 Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards

Ensaio na Fase C - Polo número: Z11087

Localização	Horário	10:40	ΔT	11:10	ΔT	11:40	ΔT	12:10	ΔT	12:40	ΔT	13:10	ΔT
Polo Fase C Conexão Superior	88	62,2		86,5	60,6	85,4	59,4	84,9	58,9	84,1	58,1	83,6	57,5
Polo Fase C Conexão Inferior	78,8	78,8		78,6	52,7	78,2	52,2	78	52	77,3	51,3	77,3	51,2
Superfície Externa Polo Fase C	66	40,2		65,1	39,2	64,9	38,9	64,5	38,5	64,2	38,2	63,7	37,6
Temperatura Ambiente	25,8			25,9		26		26		26		26,1	

Resistência de Contato à Frio antes do Aquecimento

430 μΩ

Resistência de Contato à Quente após Aquecimento

47 μΩ

Medida Realizada com 100Acc

Resistência de Contato à Frio após do Aquecimento

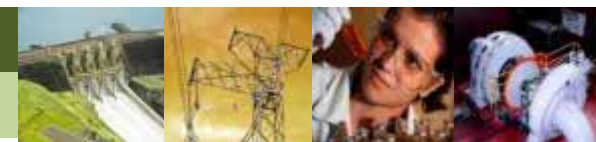
não realiz.

Resistência de Contato à Quente após 10 manobras

99 μΩ

Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A



NBR IEC 60694 Especificações comuns para normas de equipamentos de manobra de alta-tensão e mecanismos de comando

Tabela 3 — Limites de temperatura e elevação de temperatura para diferentes partes, materiais e dielétricos de equipamentos de manobra de alta-tensão e mecanismo de comando

Natureza da parte, do material e do dielétrico (Ver pontos 1, 2, 3) (ver nota)	Valor máximo	
	Temperatura °C	Elevação de temperatura para uma temperatura ambiente não excedendo 40°C K
1 Contatos (ver ponto 4)		
Cobre nu ou liga de cobre nu		
- no ar	75	35
- no SF ₆ (ver ponto 5)	105	65
- no óleo	80	40
Prateados ou niquelados (ver ponto 6)		
- no ar	105	65
- no SF ₆ (ver ponto 5)	105	65
- no óleo	90	50
Estanhados (ver ponto 6)		
- no ar	90	50
- no SF ₆ (ver ponto 5)	90	50
- no óleo	90	50

Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A



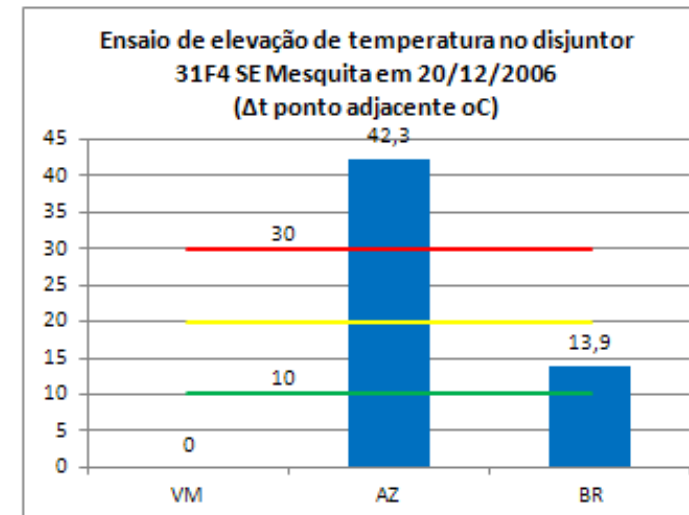
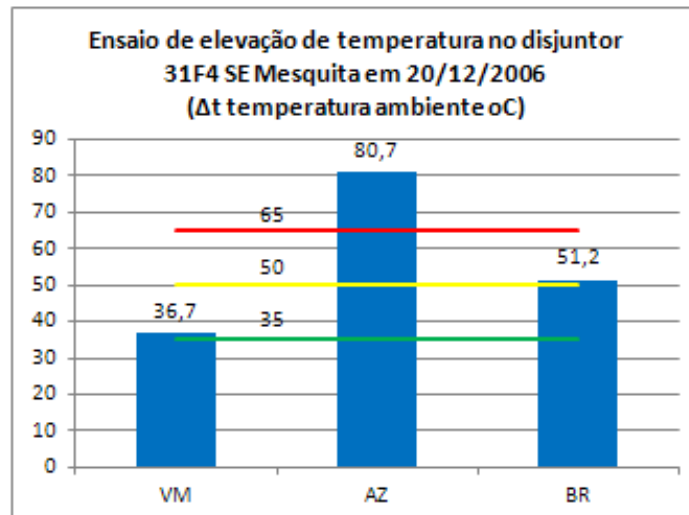
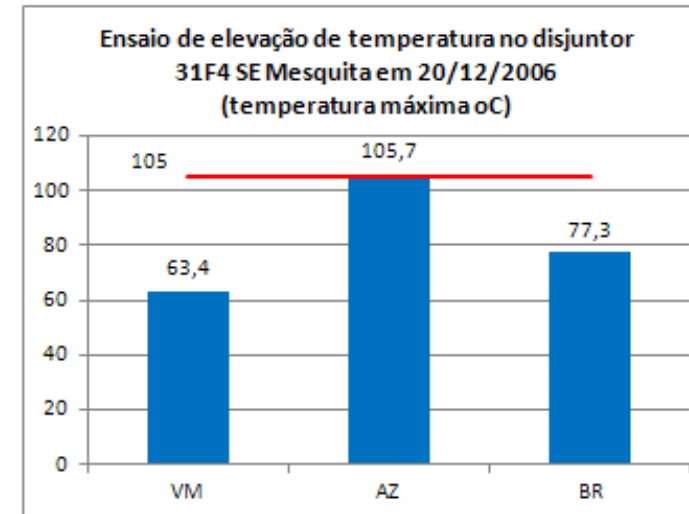
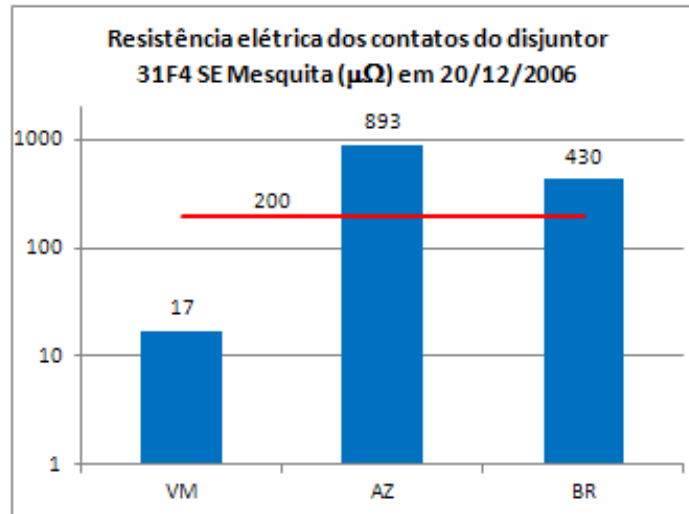
NBR IEC 60694 Especificações comuns para normas de equipamentos de manobra de alta-tensão e mecanismos de comando

Tabela 3 — Limites de temperatura e elevação de temperatura para diferentes partes, materiais e dielétricos de equipamentos de manobra de alta-tensão e mecanismo de comando

Natureza da parte, do material e do dielétrico (Ver pontos 1, 2, 3) (ver nota)	Valor máximo	
	Temperatura °C	Elevação de temperatura para uma temperatura ambiente não excedendo 40°C K
2 Conexões, aparafusadas ou equivalente (ver ponto 4)		
Cobre nu, liga de cobre nu ou liga de alumínio nu		
- no ar	90	50
- no SF ₆ (ver ponto 5)	115	75
- no óleo	100	60
Prateadas ou niqueladas (ver ponto 6)		
- no ar	115	75
- no SF ₆ (ver ponto 5)	115	75
- no óleo	100	60
Estanhadas		
- no ar	105	65
- no SF ₆ (ver ponto 5)	105	65
- no óleo	100	60

Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A

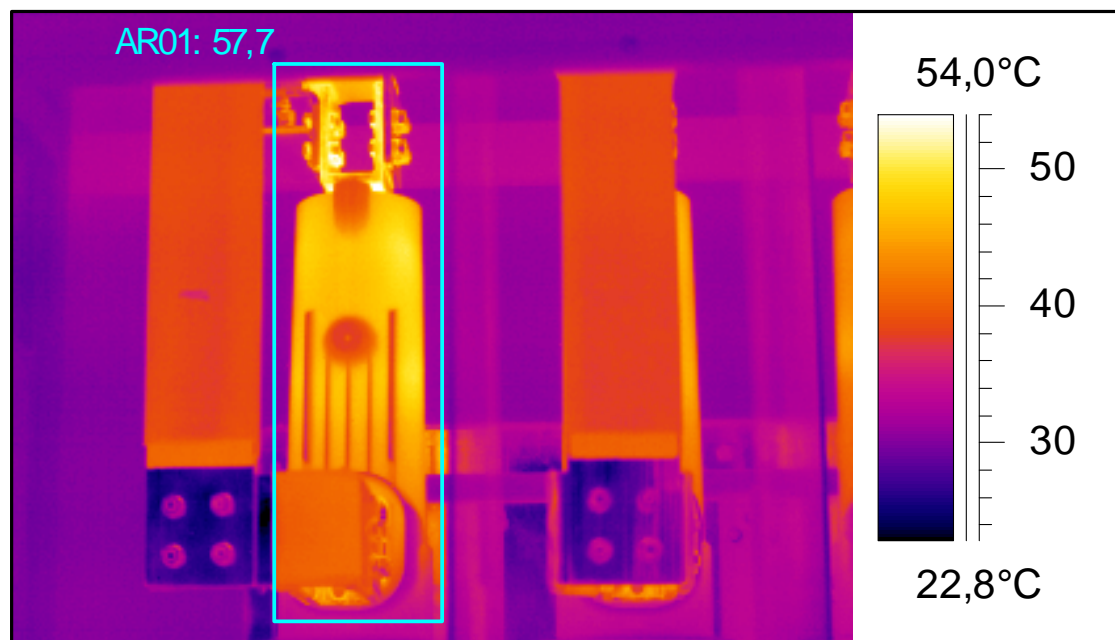


Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A

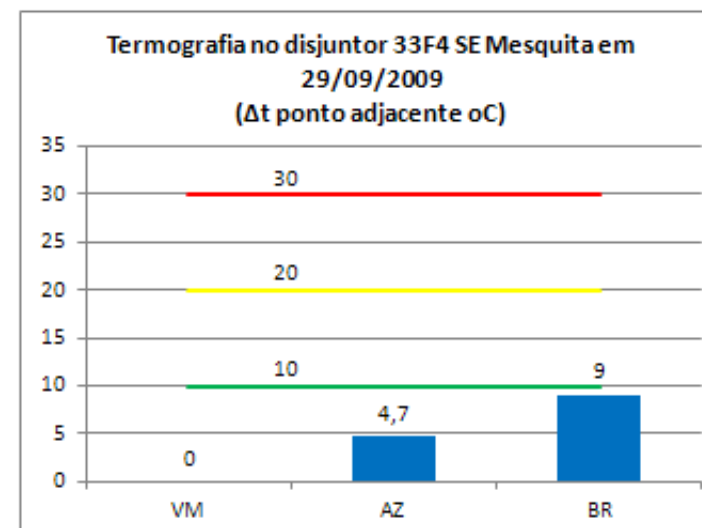
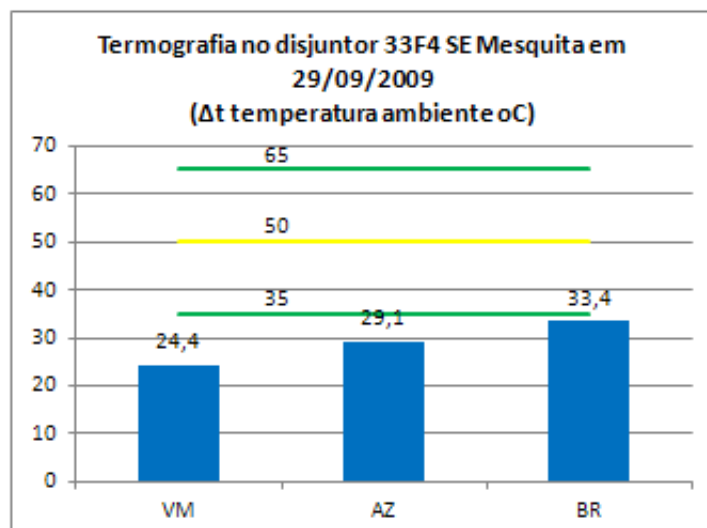
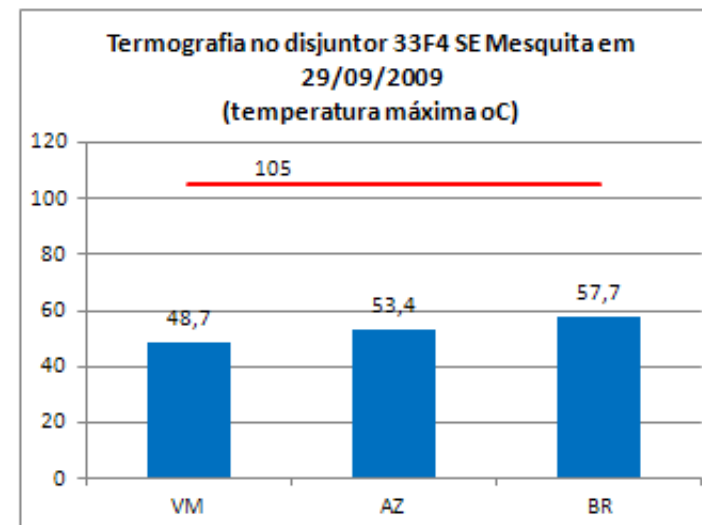
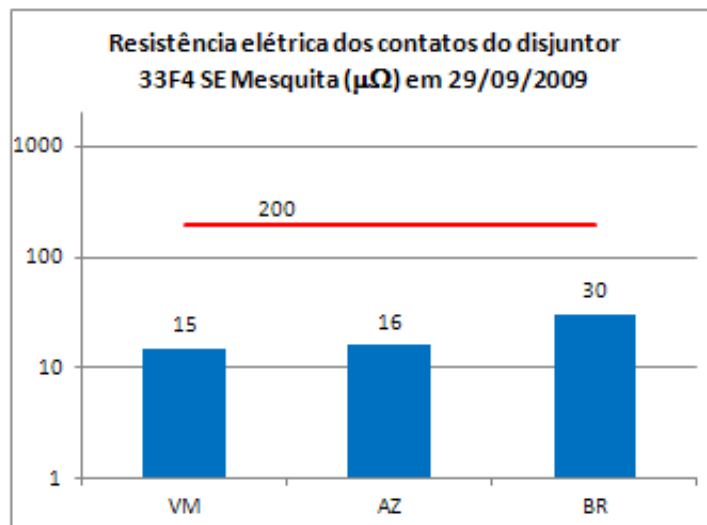


SE Mesquita, Disjuntor 33F4, Situação normal, 29/09/2009



Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A

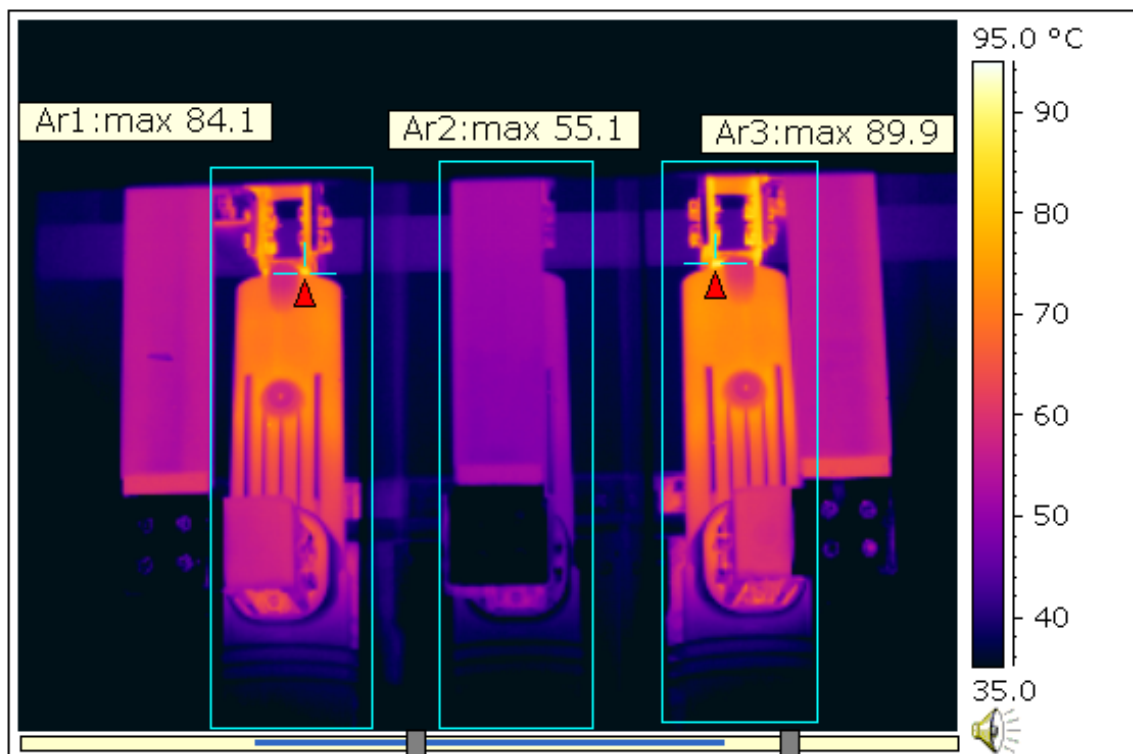


Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A

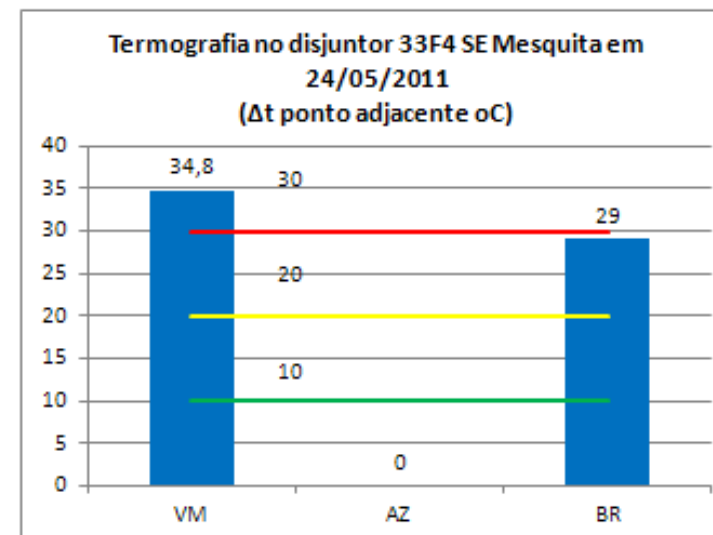
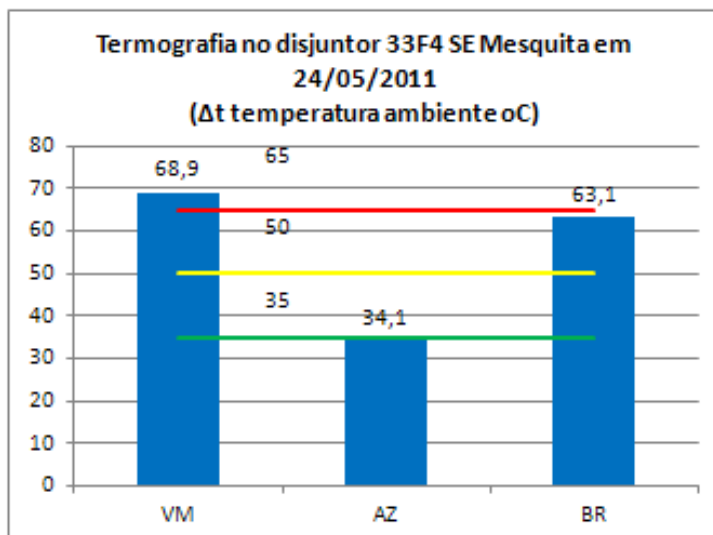
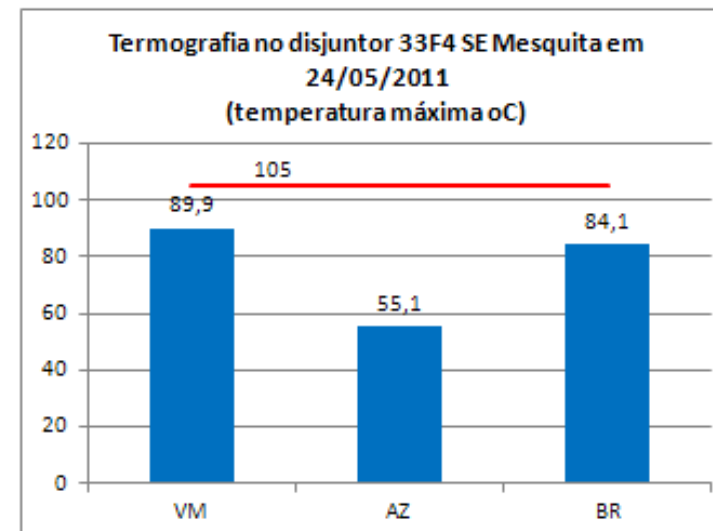
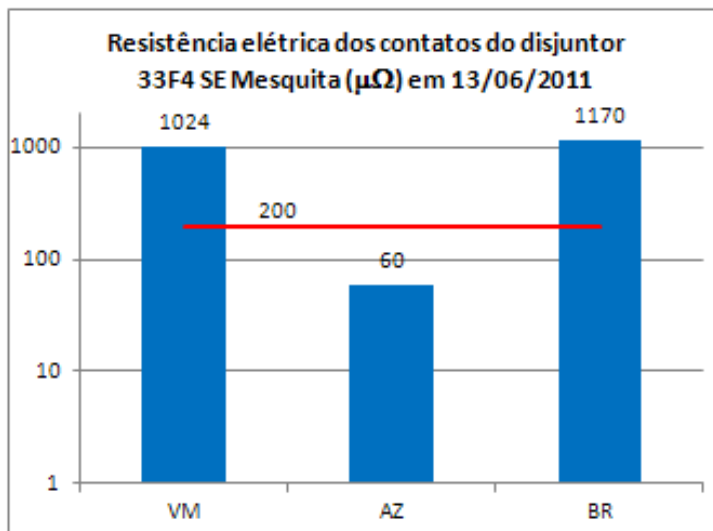


SE Mesquita, Disjuntor 33F4, Anomalia, 24/05 e 13/06/2011



Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A



Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A



SE Mesquita, Disjuntor 33F4, Anomalia, 24/05 e 13/06/2011

Inspeção no disjuntor:



Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A



SE Mesquita, Disjuntor 33F4, Anomalia, 24/05 e 13/06/2011

Inspeção no disjuntor:



Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A



SE Mesquita, Disjuntor 33F4, Anomalia, 24/05 e 13/06/2011

Inspeção no disjuntor:



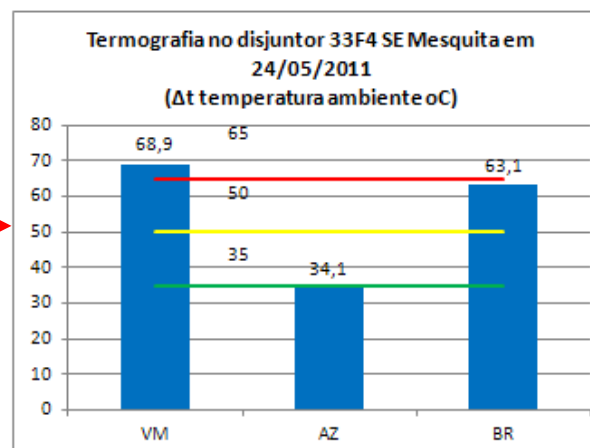
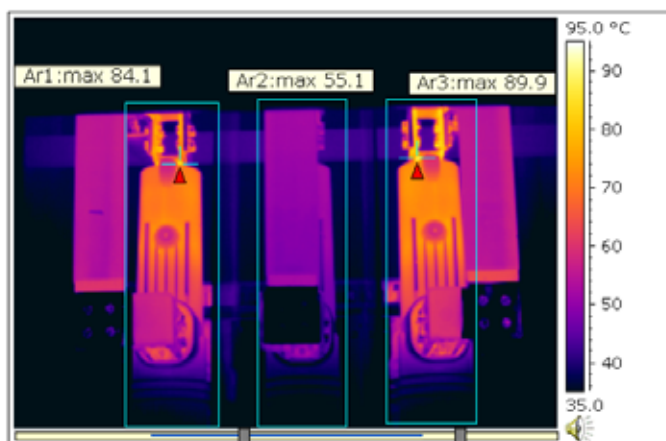
O aumento da resistência de contato é devido principalmente a impregnação dos resíduos da decomposição do gás SF6 nos contatos do disjuntor.

Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A



Conclusões:



A termografia infravermelha se mostrou bastante eficaz no diagnóstico das condições operativas de disjuntores alimentadores dos bancos de capacitores.

Os limites operacionais estabelecidos para elevação de temperatura em relação à temperatura ambiente se alinharam com segurança aos requisitos operacionais de projeto dos disjuntores (norma):

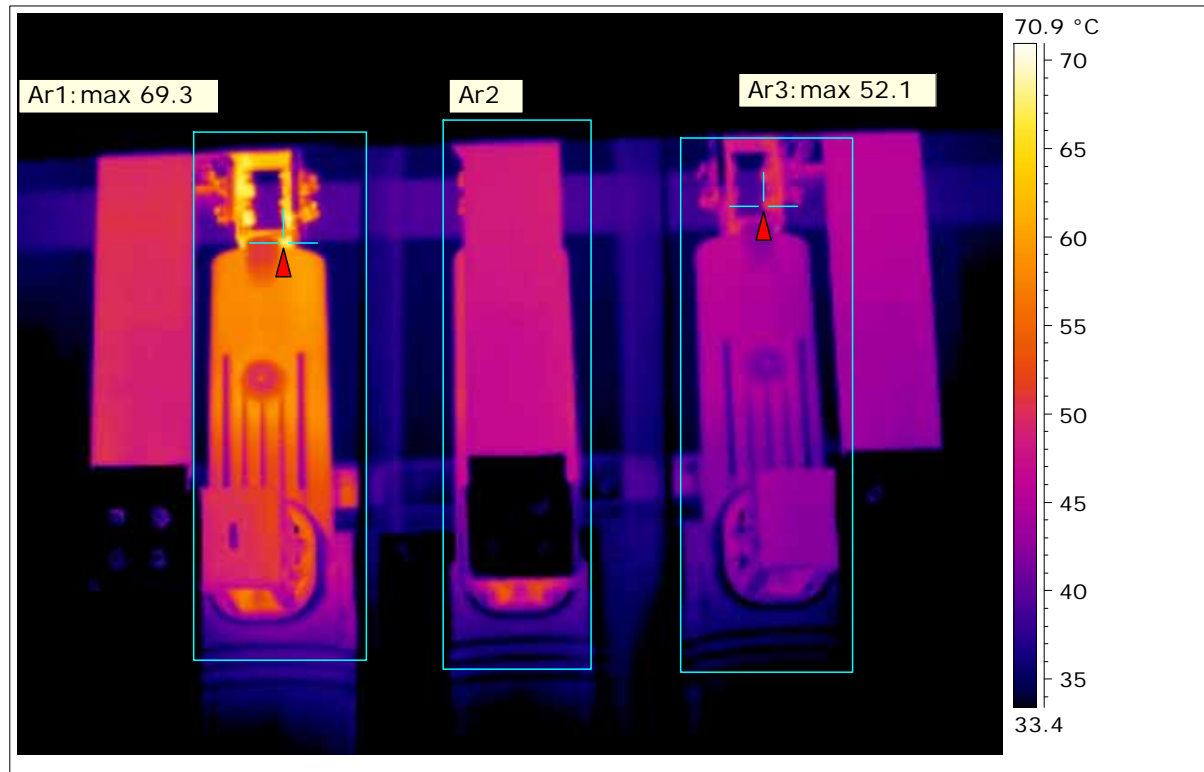
- $\Delta t \leq 35\text{oC} \rightarrow$ Condição normal de operação.
- $35\text{oC} < \Delta t \leq 50\text{oC} \rightarrow$ Criticidade Nível 1.
- $50\text{oC} < \Delta t \leq 65\text{oC} \rightarrow$ Criticidade Nível 2.
- $\Delta t > 65\text{oC} \rightarrow$ Fim de vida da câmara de extinção/disjuntor.

Diagnóstico das condições operativas de disjuntores

Estudo de caso: Disjuntor de 17,5kV e 2000A



Termograma estudo





Obrigado!

Alexsandro Teixeira Gomes

alexsandro.teixeira@cemig.com.br

(31)-3506.4428 - (31)-8675.6188

CEMIG Geração e Transmissão S.A.

PN/MT – Gerência de Planejamento e Engenharia de Manutenção da Transmissão
av. Barbacena, 1200 - 13º andar - ala B2, Santo Agostinho, Belo Horizonte - MG, CEP 30.190-131