



2º. SEMINÁRIO DE TERMOVISÃO DA ELETROSUL



TERMOGRAFIA DIGITAL SUPERFICIAL AÉREA

EXPERIÊNCIA NA SUBESTAÇÃO ISOLADA A GÁS SF₆ DA ITAIPU BINACIONAL

Adrian Osorio Paredes
aerop@itaipu.gov.py

Eleceu Barz
eleceu@itaipu.gov.br

NOVEMBRO 2010

FLORIANÓPOLIS - SC



2º. SEMINÁRIO DE TERMOVISÃO DA ELETROSUL

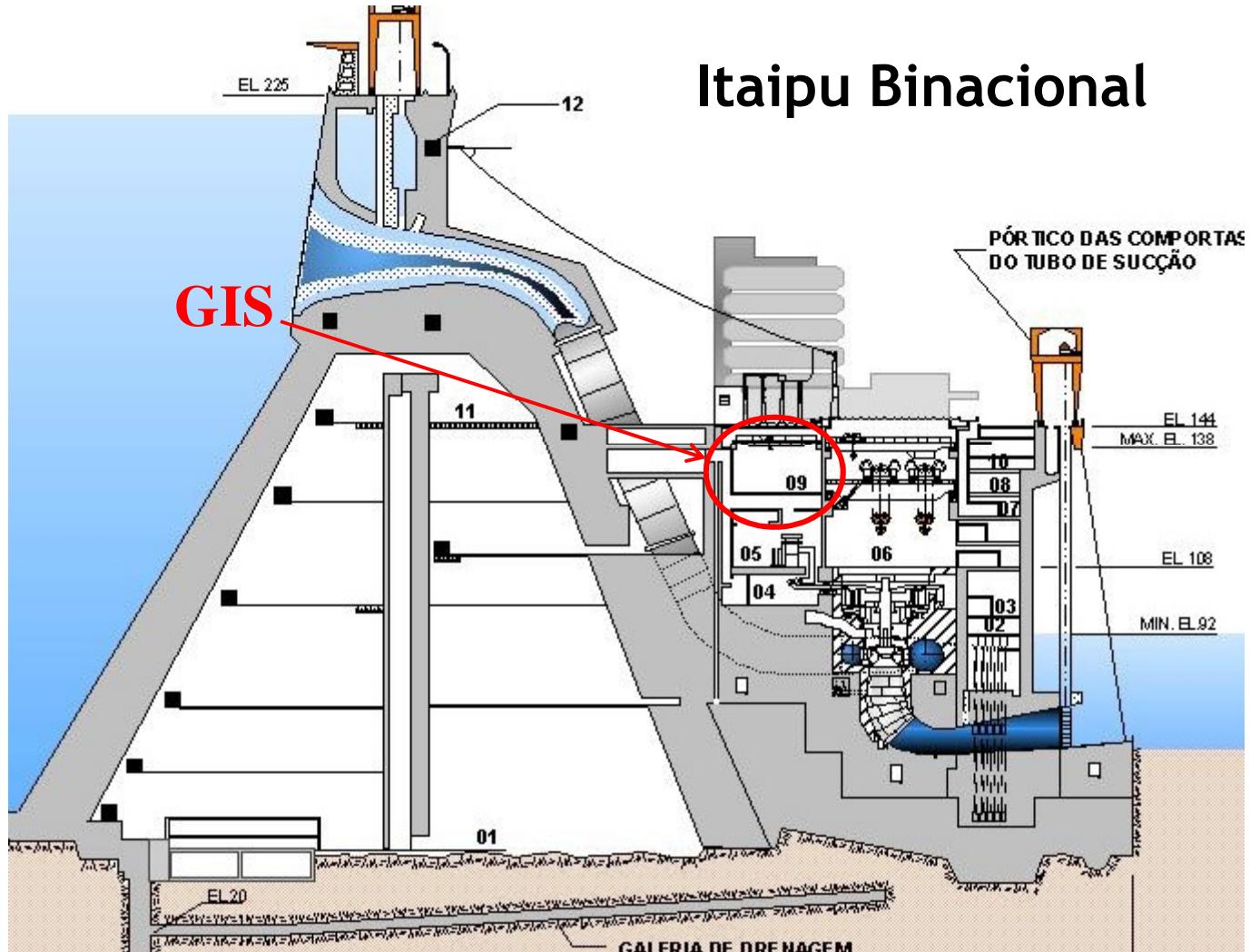


ITAIPU BINACIONAL



NOVEMBRO 2010

FLORIANÓPOLIS - SC





NOVEMBRO 2010

FLORIANÓPOLIS - SC

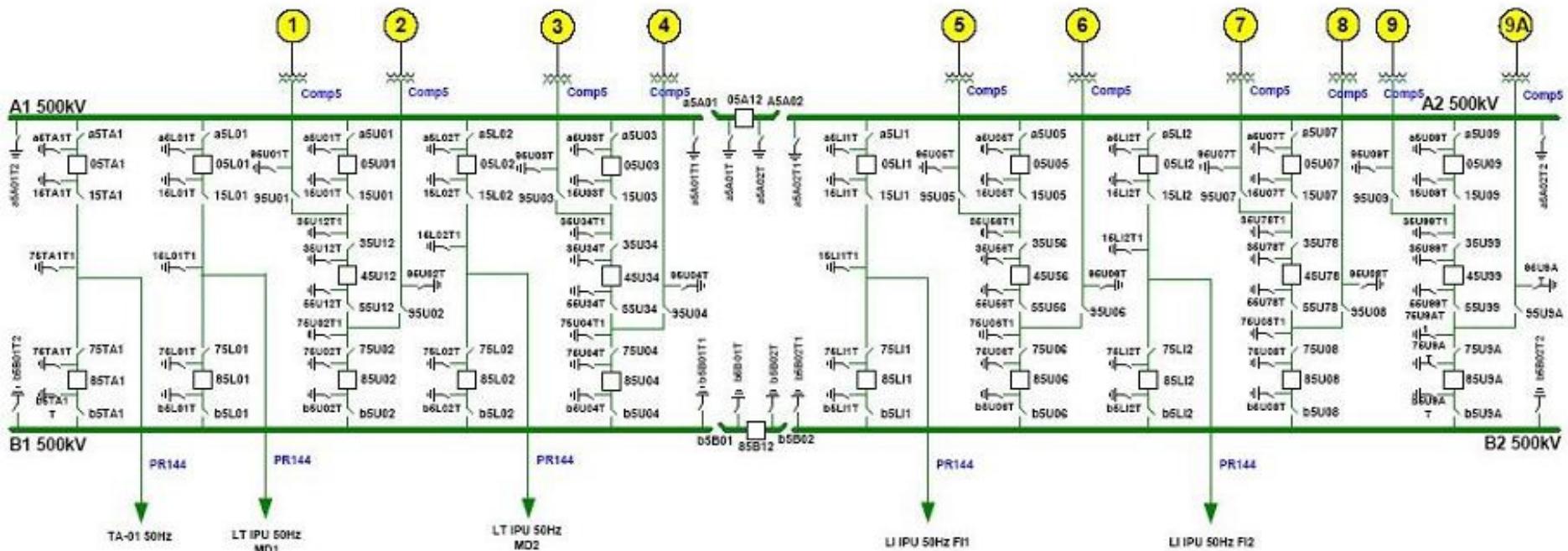


NOVEMBRO 2010

FLORIANÓPOLIS - SC

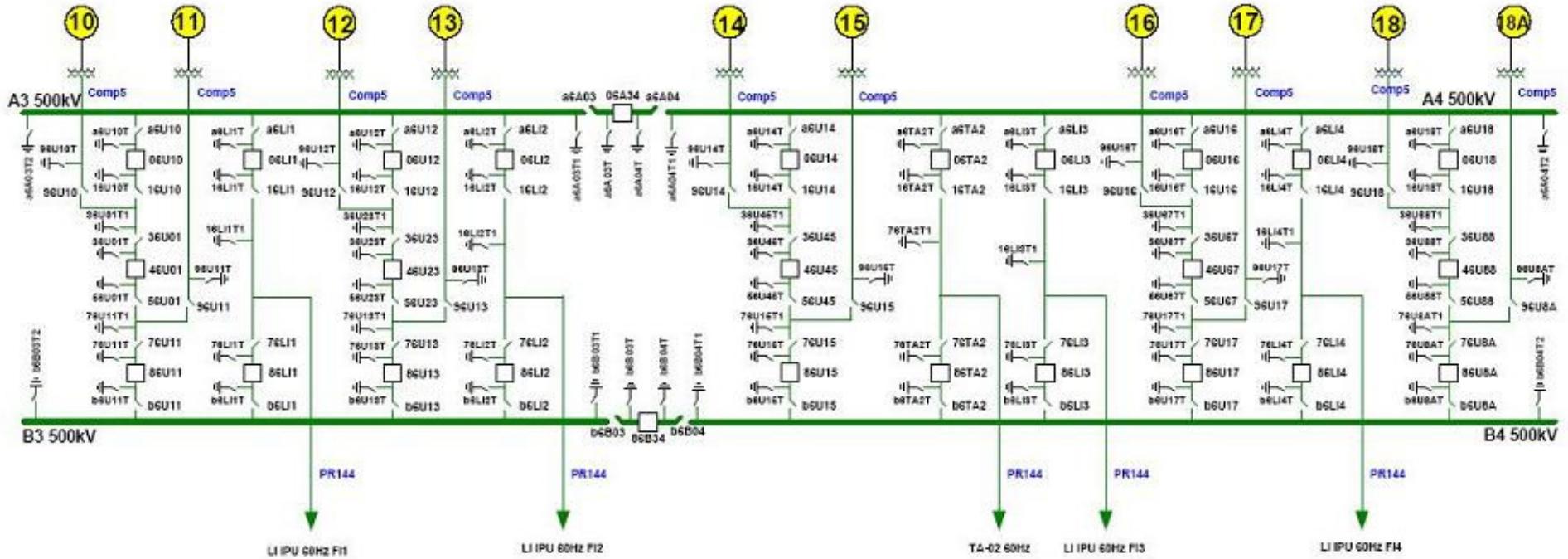
SUBESTAÇÃO ISOLADA A GÁS SF₆ (GIS)

Setor 50 Hz



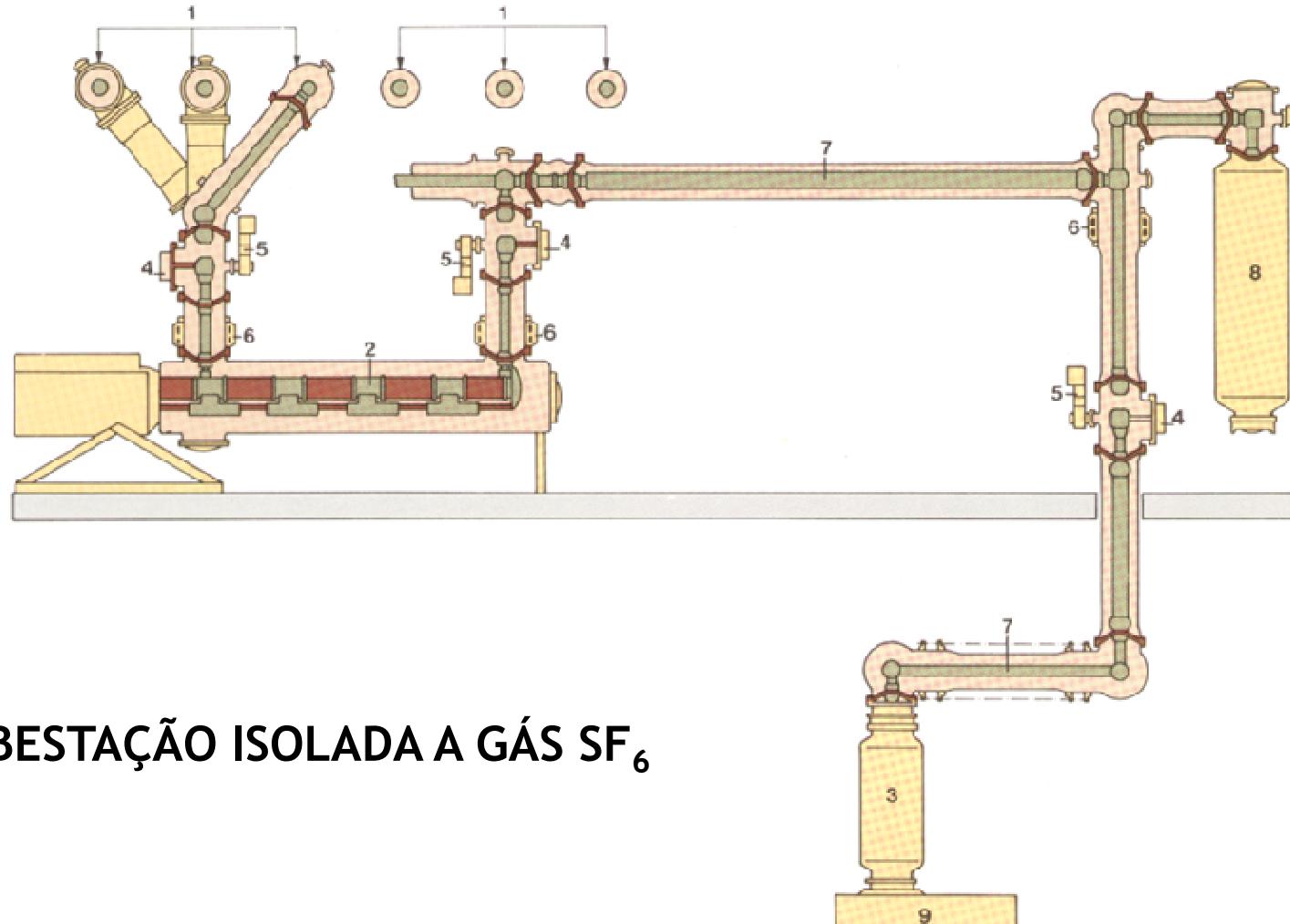
SUBESTAÇÃO ISOLADA A GÁS SF₆ (GIS)

Setor 60 Hz



SUBESTAÇÃO ISOLADA A GÁS SF₆ - Características

- Dividida em duas subestações (50 e 60 Hz)
- Barra dupla e seccionada
- Utiliza o sistema de 1 ½ disjuntor
- 54 disjuntores 500 kV - In 4000 A - Icc 63 kA
- 128 seccionadoras
- 174 chaves de aterramento
- 414 Transformadores de corrente
- 24 Transformadores de potencial
- 7500 m de barramentos
- 110 toneladas de gás SF6



SUBESTAÇÃO ISOLADA A GÁS SF₆

CAUSAS DE FALHAS NA GIS

- Isoladores
 - Sujeira
 - Bolhas
- Gás
 - Umidade no gás
 - Gás contaminado
- Partículas metálicas
- Contatos
 - Defeito nos dedos de contato
 - Blindagens soltas ou desalinhadas
 - Vibração

TÉCNICAS DE PREVENÇÃO DE FALHAS UTILIZADAS NA GIS

- Detecção de descargas parciais
 - Método acústico
 - Método químico
 - Método elétrico - UHF (DMS)

- Técnicas complementares
 - Radiografia
 - Termografia

DIFICULDADES PARA A REALIZAÇÃO DE TERMOGRAFIA NA GIS

- A fonte de calor está localizada dentro do compartimento e a termografia é feita na superfície do equipamento;

- O SF₆ é isolante térmico;

- A carcaça do compartimento é de alumínio, bom dissipador de calor;

- A câmera termográfica precisa ter boa sensibilidade.



UTILIZAÇÃO DA TERMOGRAFIA NA GIS

- A termografia sempre teve utilização limitada em Subestações Isoladas a Gás SF₆ pelo fato de se medir apenas a temperatura superficial dos equipamento e não da parte ativa.
- Estava restrita a algumas situações específicas:
 - Conexões de aterramentos;
 - Pontos quentes em carcaças de TC's

FALHAS OCORRIDAS NA GIS POR PONTOS QUENTES

- ☐ Flahsover nos barramentos de saída de linhas - 4 eventos



FALHAS OCORRIDAS NA GIS POR PONTOS QUENTES



NOVEMBRO 2010

FLORIANÓPOLIS - SC

FALHAS OCORRIDAS NA GIS POR PONTOS QUENTES

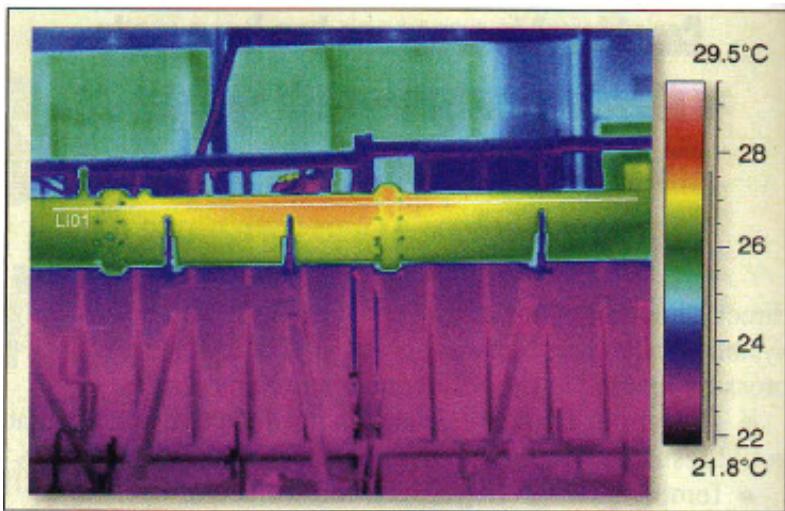
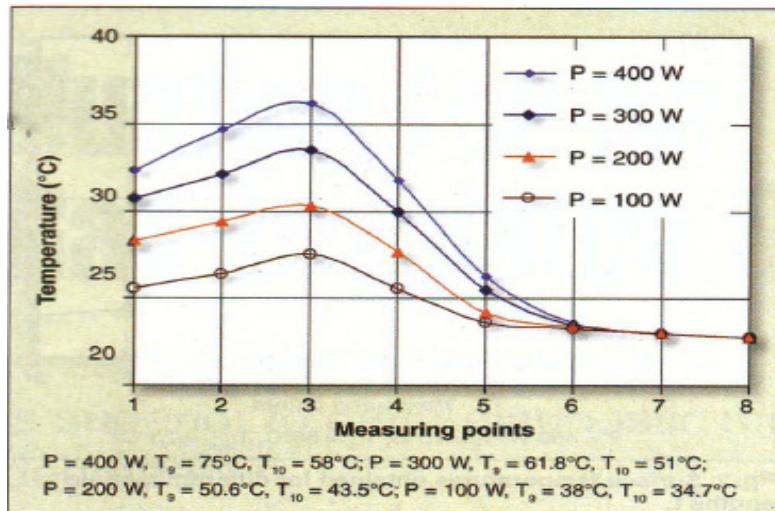


NOVEMBRO 2010

FLORIANÓPOLIS - SC

FATOS RELEVANTES

- Surgimento no mercado de uma nova geração de câmeras termográficas:
 - Maior sensibilidade
 - Fácil manuseio
- Artigo da Israel Electric Company (IEC) sobre ensaios realizados em suas instalações afirmando ser possível detectar pontos quentes em condutores de GIS



PARÂMETROS ESTABELECIDOS PARA O ENSAIO

- Medições de temperatura interna de uma fonte de calor conhecida e controlada, sob pressão de SF6 utilizando sensores RTD e para medições externas do invólucro e ambiente utilizando termopares;
- Medições termográficas da superfície do compartimento pressurizado com gás SF6 sob ensaio (Flir T400) para comparação;
- Simulações de várias potências utilizando um VARIAC com tempo de espera para estabilizações de temperaturas para posteriormente realizar as medições termográficas;
- Com base nos resultados obtidos, estabelecer recomendações a respeito dos níveis de criticidade a serem considerados para diferenciais de temperatura objetivando evitar futuros defeitos/falhas.

PREPARAÇÃO PARA O ENSAIO

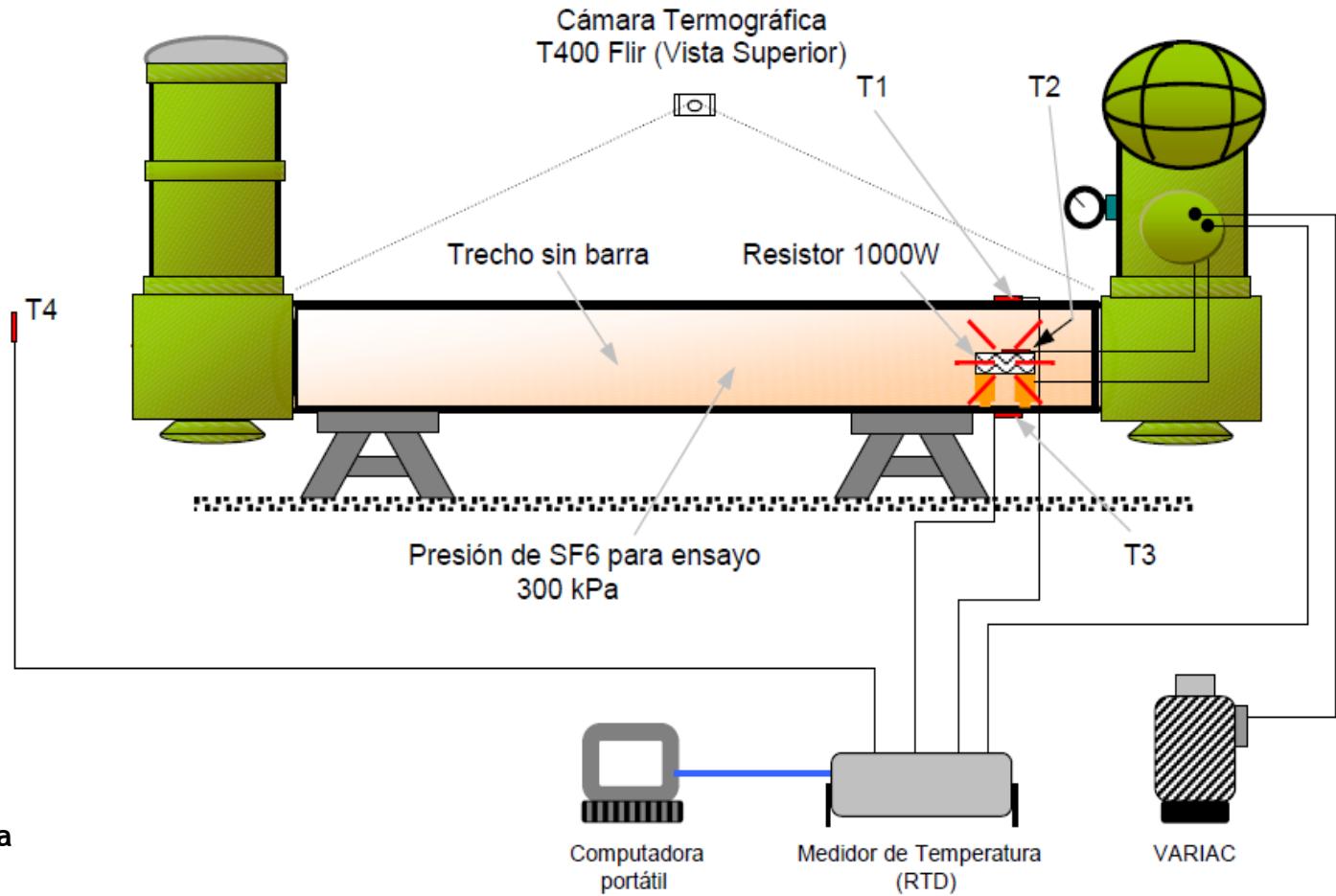


NOVEMBRO 2010

FLORIANÓPOLIS - SC

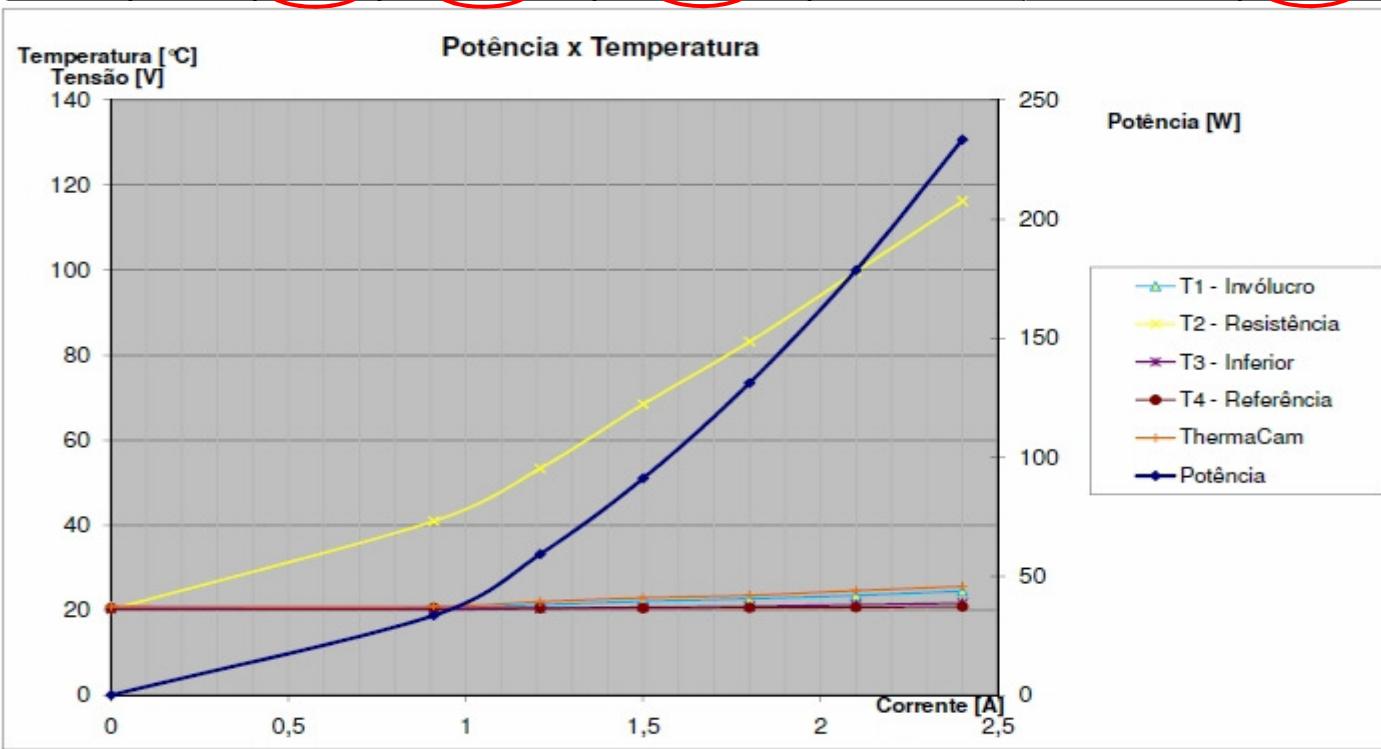
Ensaio 1 - Trecho horizontal sem condutor

- T1 - RTD na superfície superior
- T2 - RTD sobre a resistência
- T3 - RTD na superfície inferior
- T4 - Termopar - Temp. ambiente



Obs: Pressão de ensaio = 300 Kpa

MEDIÇÕES REALIZADAS - Ensaio 1 (pressão = 300 Kpa / somente resistência)							
Tensão	Corrente	Potência	T1 - Invólucro	T2 - Resistência	T3 - Inferior	T4 - Referência	ThermaCam
0	0	0	20,8	20,2	20,2	20,5	20,9
36,9	0,91	34	20,8	41	20,2	20,5	20,9
49,1	1,21	59	21,3	53,4	20,4	20,5	22
61,2	1,5	91	22,1	68,5	20,7	20,5	22,9
73,4	1,8	131	22,7	83,2	20,9	20,6	23,5
85,8	2,1	179	23,5	99,7	21,3	20,7	24,6
98,1	2,4	233	24,5	116,3	21,7	20,9	25,6



Ensaio 1 - Imagens termográficas

**P = 0 W
T1 = 20,8°C
T2 = 20,2°C
TC = 20,9°C**



**P = 59 W
T1 = 21,2°C
T2 = 53,4°C
TC = 22,0°C**



**P = 131 W
T1 = 22,7°C
T2 = 83,2°C
TC = 23,5°C**

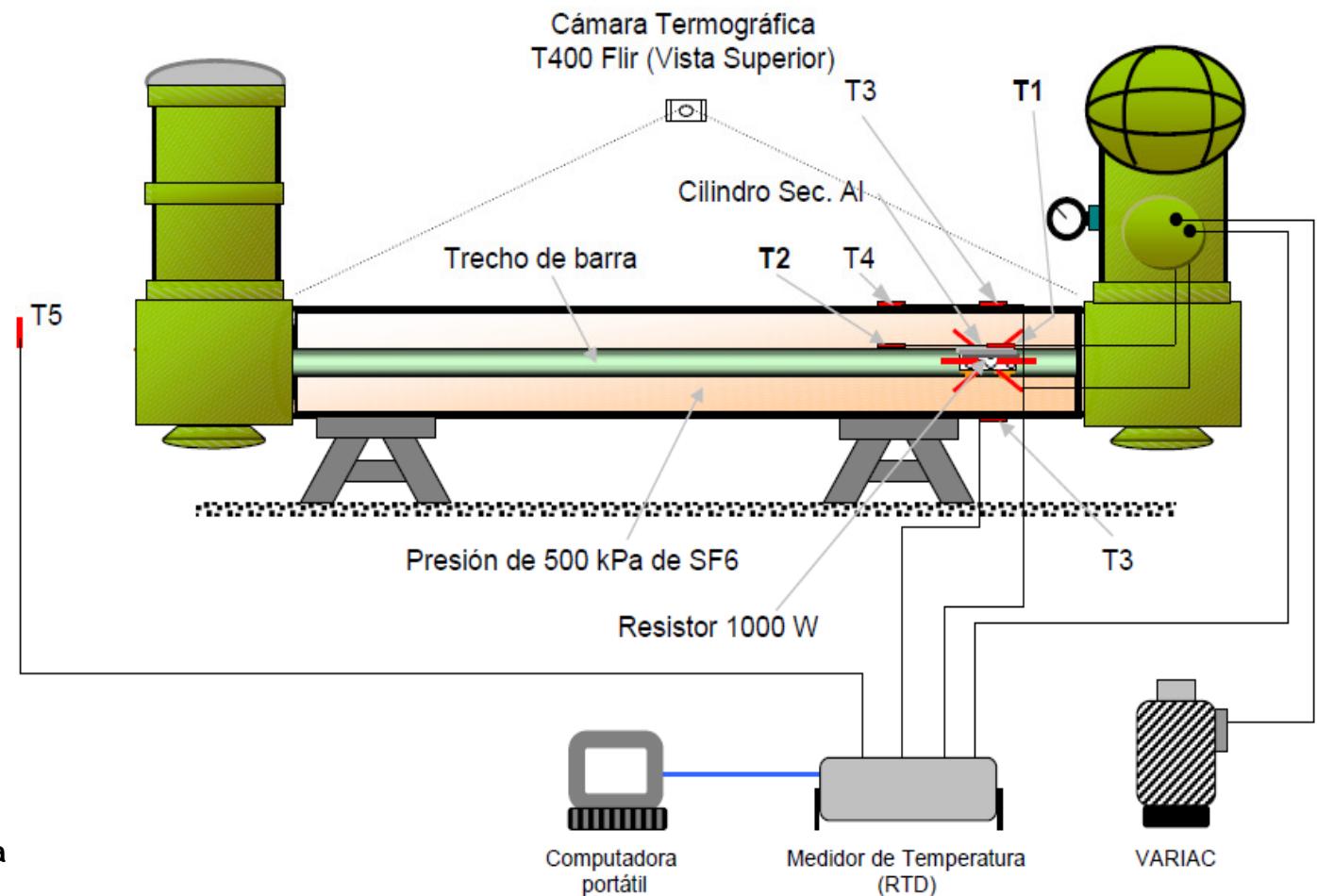


**P = 233 W
T1 = 24,5°C
T2 = 116,3°C
TC = 25,6°C**



Ensaio 2 - Trecho horizontal com condutor

- T1 - Sobre a resistência
- T2 - No condutor a 50 cm
- T3 - Superfície superior
- T4 - Superfície sup. 50 cm
- T5 - Temp. ambiente

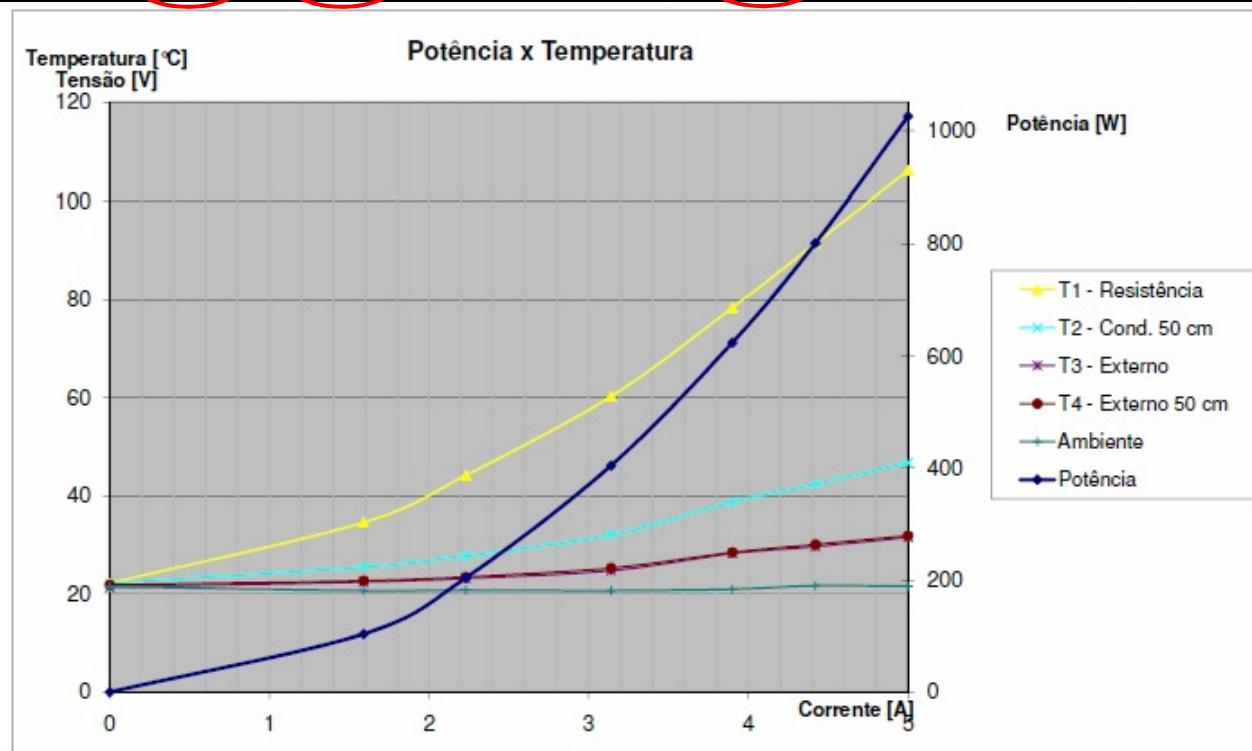


Obs: Pressão de ensaio = 500 Kpa

Ensaio 2 - Trecho horizontal com condutor

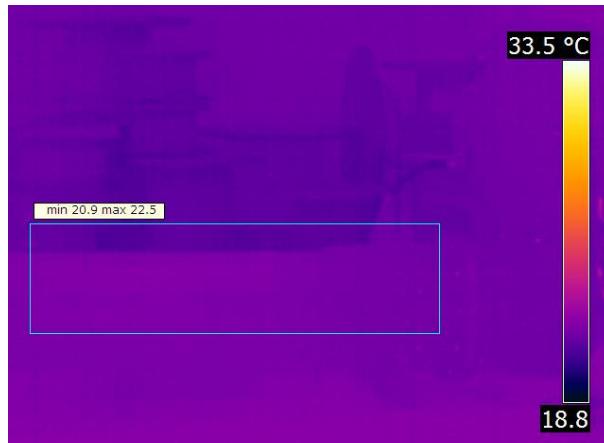


MEDIÇÕES REALIZADAS - Ensaio 2 (pressão = 500 Kpa / somente resistência)									
Tensão	Corrente	Potência	T1 - Resistência	T2 - Cond. 50 cm	T3 - Externo	T4 - Externo 50 cm	Ambiente	ThermaCam	
0	0	0	22,2	22,2	21,4	21,9	21,5	22,5	
66,3	1,59	104	34,6	25,5	22,5	22,7	20,7	23,6	
93,5	2,23	204	44,2	27,8	23,2	23,5	20,8	24,2	
130,6	3,14	404	60,3	32,1	24,8	25,3	20,7	26,3	
161,2	3,9	624	78,4	38,8	28,3	28,5	21	29,2	
186	4,42	801	91,5	42,4	29,7	30,1	21,7	31,2	
211	5	1025	106,2	46,8	31,6	31,9	21,6	33,5	



Ensaio 2 - Imagens termográficas

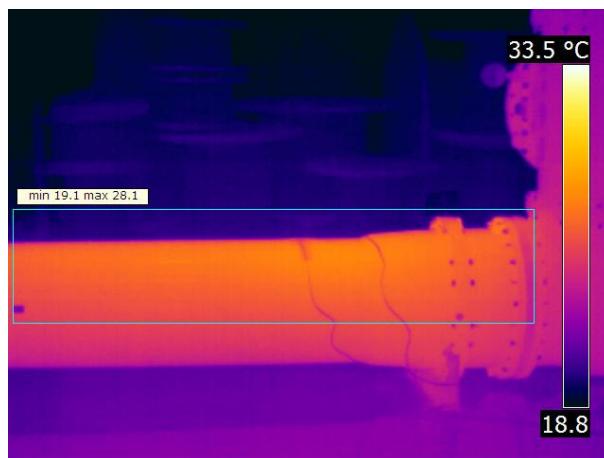
P = 0 W
T1 = 22,2°C
T3 = 21,4°C
TC = 22,5°C



P = 202 W
T1 = 44,2°C
T3 = 23,2°C
TC = 24,2°C



P = 624 W
T1 = 78,4°C
T3 = 28,3°C
TC = 29,2°C

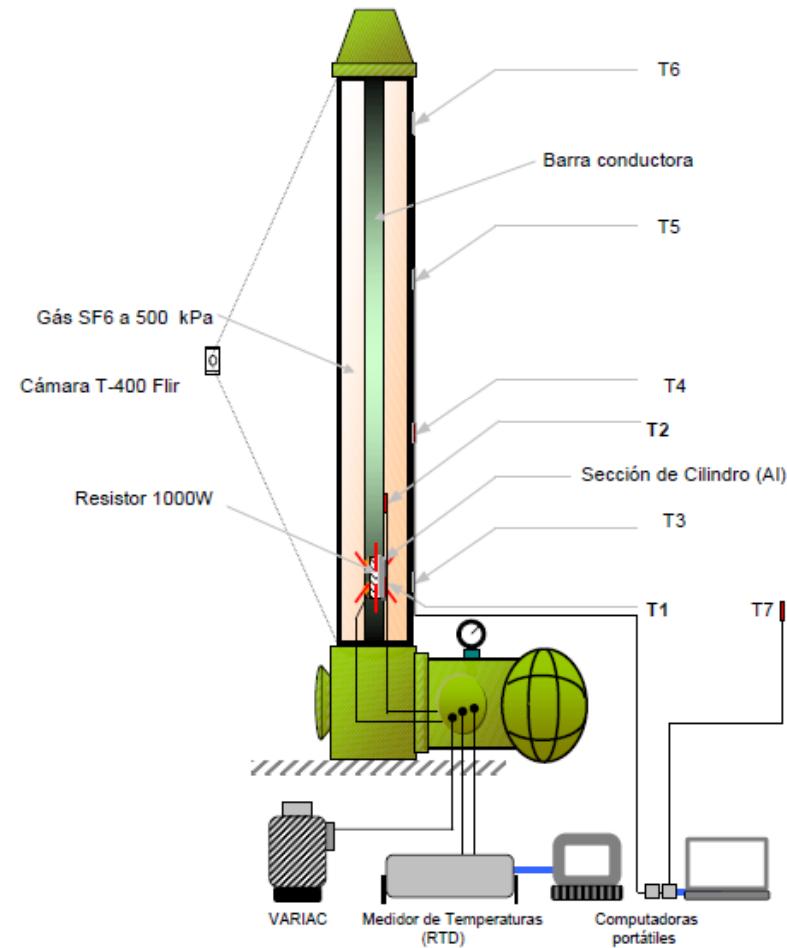


P = 1025 W
T1 = 106,2°C
T3 = 31,6°C
TC = 33,5°C



Ensaio 3 - Trecho Vertical com Condutor

- T1 - Sobre a resistência**
- T2 - No condutor a 50 cm**
- T3 - Superfície superior**
- T4 - Superfície sup. 1 m**
- T5 - Superfície sup. 2 m**
- T6 - Superfície sup. 3 m**
- T7 - Temp. ambiente**



Obs: Pressão de ensaio = 500 Kpa

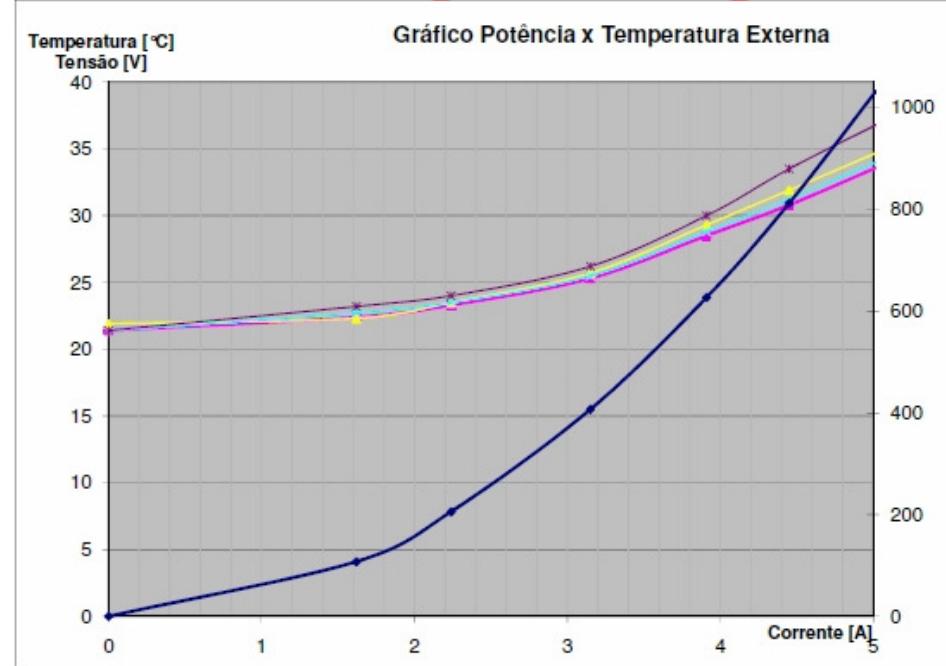
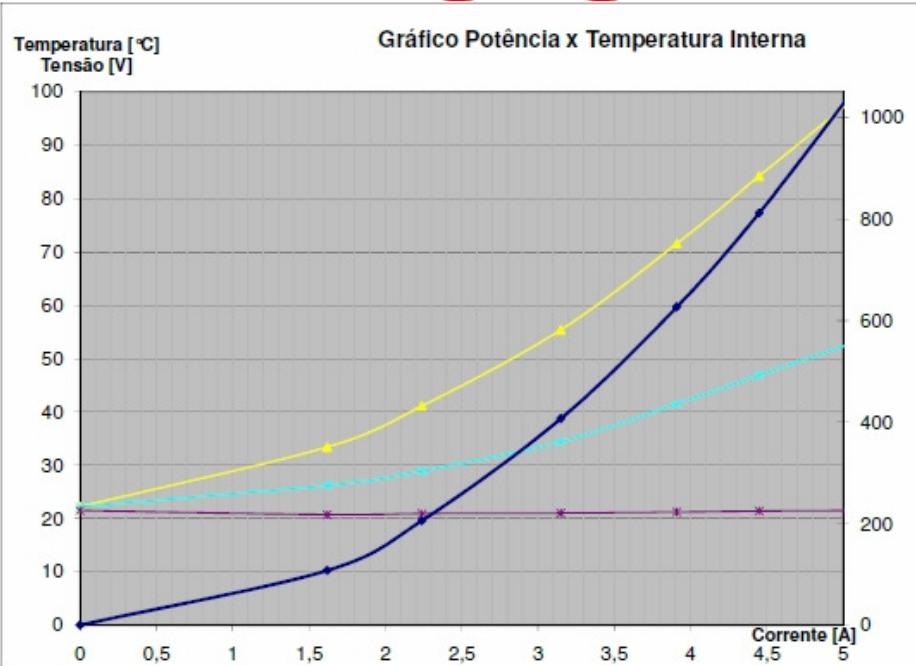
Ensaio 3 - Trecho Vertical com Condutor



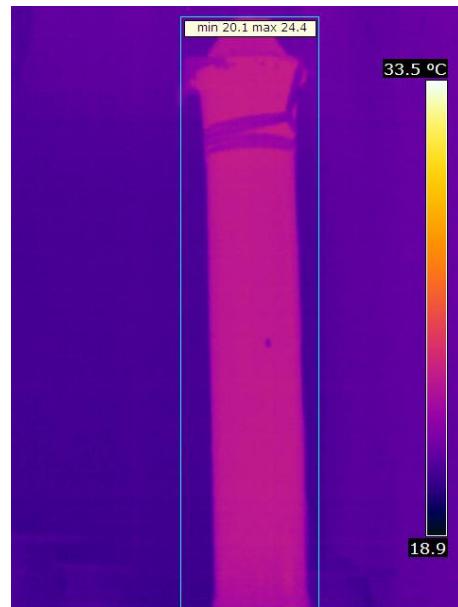
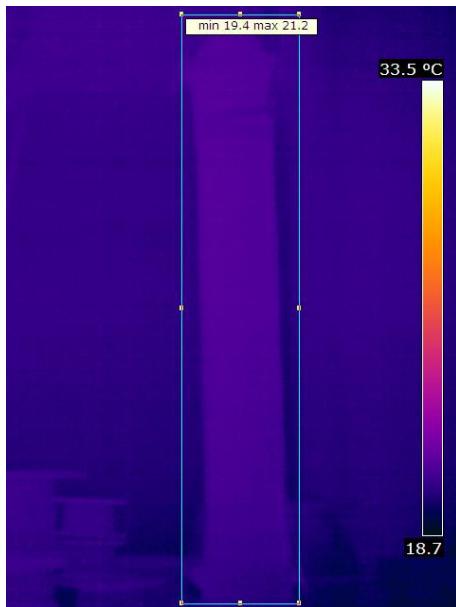
NOVEMBRO 2010

FLORIANÓPOLIS - SC

MEDIÇÕES REALIZADAS - Ensaio 3 (pressão = 500 Kpa)										
Tensão	Corrente	Potência	T1 - Resist	T2 - Cond. 50	T3 - Ext. 1	T4 - Ext. 2	T5 - Ext. 3	T6 - Ext. 4	Ambiente	ThermaCam
0	0	0	22,2	22,2	21,4	21,9	21,4	21,4	21,5	22
68,4	1,62	108	33,4	26,2	22,4	22,3	22,7	23,2	20,7	23,9
93,9	2,24	206	41,1	28,9	23,3	23,5	23,5	24	20,9	24,6
131,5	3,15	407	55,4	34,4	25,3	25,7	25,5	26,2	21	26,6
164,1	3,91	627	71,6	41,5	28,5	29,3	28,8	30	21,2	31,7
186,7	4,45	812	84,2	46,9	30,8	31,9	31,2	33,5	21,4	33,6
211,2	5,02	1033	97,5	52,5	33,6	34,7	34	36,8	21,5	37,2



Ensaio 3 - Imagens Termográficas



P = 0 W
T1 = 22,2°C
T3 = 21,4°C
T4 = 21,9°C
T5 = 21,4°C
T6 = 21,4°C
TC = 22,5°C

P = 206 W
T1 = 41,1°C
T3 = 23,3°C
T4 = 23,3°C
T5 = 23,5°C
T6 = 24,0°C
TC = 24,6°C

P = 627 W
T1 = 71,6°C
T3 = 28,5°C
T4 = 29,3°C
T5 = 29,8°C
T6 = 30,0°C
TC = 31,7°C

P = 1033 W
T1 = 97,5°C
T3 = 33,6°C
T4 = 34,7°C
T5 = 34,0°C
T6 = 36,8°C
TC = 37,2°C

CONCLUSÕES

- Os resultados obtidos nos ensaios são coerentes com o estudo da empresa israelense (IEC - Israel Electric Company) e servirão de base para a realização de manutenção preditiva na GIS, de acordo com os Níveis de Criticidade estabelecidos;
- As medidas termográficas são confiáveis, com valores muito próximos das obtidas com RTD's, desde que os ajustes de emissividade dos materiais estejam corretamente configurados na câmera;
- O calor tende a se concentrar na parte superior do compartimento;
- A temperatura ambiente afeta a temperatura da superfície do compartimento. Da mesma forma o Δt varia também, mas em menor intensidade, fator que deve ser levado em consideração na análise dos resultados obtidos na termografia;

CONCLUSÕES

- É fundamental registrar a corrente no barramento durante a medição, pois tem influência direta no valor da temperatura da superfície;
- Com base no valor de $11 \mu\Omega/m$, consideramos aceitável uma potência dissipada máxima de 100 W para trechos novos e 200 W para trechos com certa idade operacional;
- Deve-se levar em consideração que a potência dissipada em calor é elevada pelo quadrado da corrente ($P = R * I^2$). Isso significa que um determinado equipamento pode estar num nível aceitável para um valor de corrente, mas atingir um nível crítico com o aumento desta corrente.

TABELA DA CRITICIDADE	
NORMAL	$0 < \Delta T \leq 2$
OBSERVAÇÃO	$2 < \Delta T \leq 4$
PROGRAMAR (30 dias)	$4 < \Delta T \leq 8$
PROGRAMAR URGENTE / RESTRIÇÃO OPERACIONAL	$8 < \Delta T \leq 10$
DESLIGAR	$\Delta T > 10$

RESULTADOS PRÁTICOS

- Criação de uma Planilha de Inspeção e Controle (PIC) que estabelece uma periodicidade de três meses para medições termográficas na GIS, obedecendo os seguintes critérios:
 - A varredura da subestação deverá ser realizada na parte superior dos barramentos, utilizando a ponte rolante;
 - A PIC deve estabelecer os ajustes corretos da câmera termográfica, bem como a posição do operador ao registrar as imagens, objetivando a padronização;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AVITAL Doron; BRANDENBURSKY Vladimir; FARBER Alexander. Hunting For Hot Spot In Gas-Insulated Switchgear. **Transmission & Distribution World**, Israel, p. 42-48, May 2005;

- Informe Técnico 002-2010, Ensaio de Referência para Medições de Temperatura Utilizando Termografia na Mini GIS. Código Itaipu 6380-50-19597-E, 2010.

