

9/5/2019

# Sistema de Extração de Agentes Corrosivos Atmosféricos em Ambientes Confinados de Subestações Elétricas.

**Domenico Capulli** – [capulliconsultoria@hotmail.com](mailto:capulliconsultoria@hotmail.com)

Capmetal Tecnologia Ambiental

**Cintia Oliveira** – [cintiaeq@gmail.com](mailto:cintiaeq@gmail.com)

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Química

**Lívia Araújo** – [liviaaraujo28@gmail.com](mailto:liviaaraujo28@gmail.com)

Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Instituto de Química

10° Coteq- Salvador – BA

15/05/2009

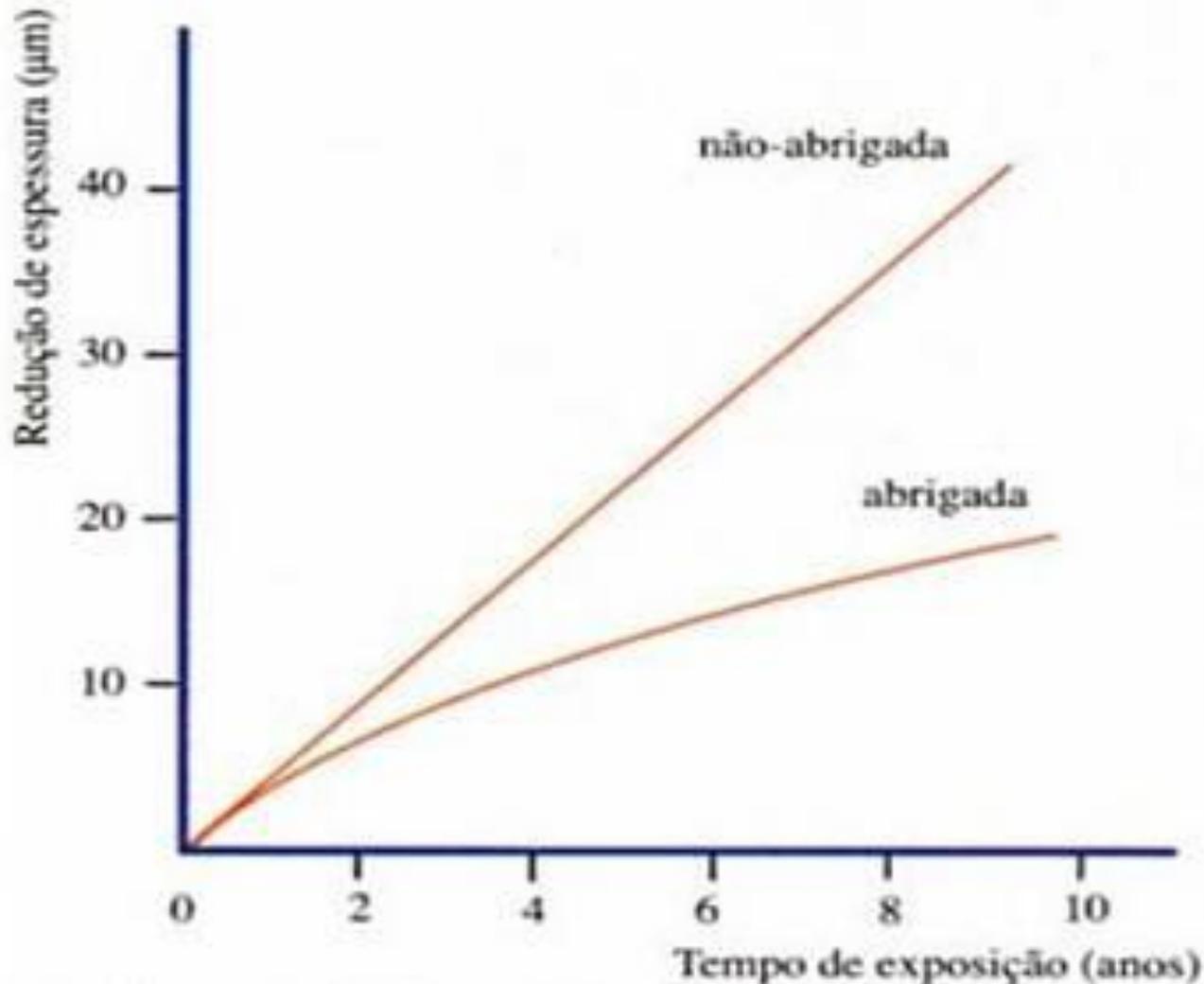
Poluição @ Corrosão

Agride @ Destroi

Seres Vivos @ Estruturas

- ◎ **A corrosão como fenômeno químico exerce um fascínio intrigante pela complexidade das potentes trocas iônicas capazes de destruir as mais tenazes ligas metálicas formuladas pelo homem, 1/5 da produção mundial de aço é destinado a repor perdas causadas pela corrosão representando, só nos EUA, 3% do PIB todos os anos, algo em torno de US\$ 400 bilhões, no Brasil, os gastos podem chegar a cerca de US\$ 10 bilhões, grande parte na indústria petrolífera.**

# Microclimas Naturais de Atmosferas Salinizadas provocam Corrosão



Comportamento típico verificado em atmosferas MARIIHAS

Fonte: C7 - Manual de Corrosão

# Abordaremos as opções de **Tomada de Ar Externo(T.A.E.)** para

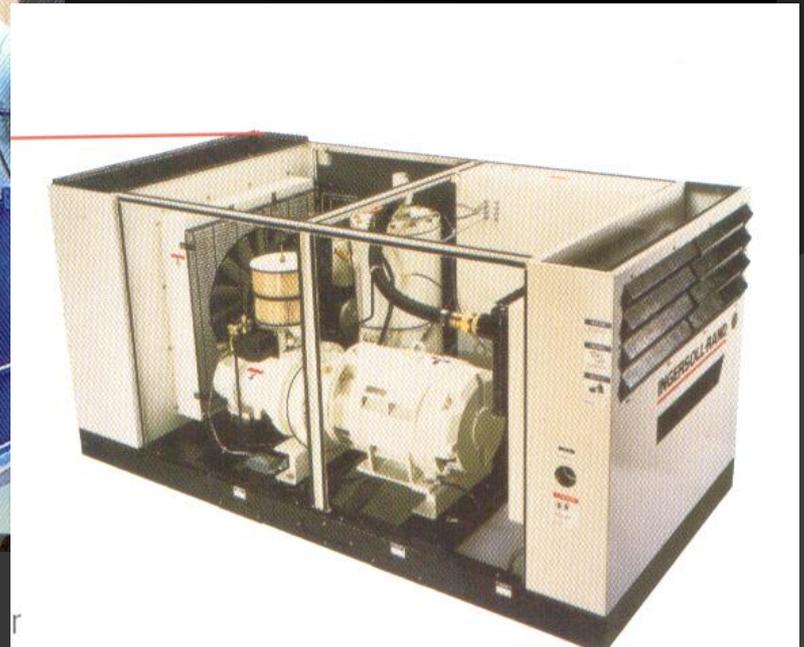
- ◎ Sistemas de Climatização,
- ◎ Alimentação Comburente em Turbo-compressores,
- ◎ Pressurização e Resfriamento de Subestações Elétricas,
- ◎ Central de Ar Comprimido que componham a infraestrutura de Utilidades em plantas industriais cuja atmosfera reinante seja quimicamente agressiva á ligas metálicas comprometendo á :

Confiabilidade e Segurança Operacional;

Preservação do Valor Patrimonial de Ativos;

Manutenção Operacional com ciclos curtos.

Ambientes confinados com equipamentos dissipadores de calor e/ou que se utilizam de ar como insumo



# Poluentes Partículas-Gases-Vapores

## Contaminantes Típicos em Unidades Petroquímicas :

- ⊙ **Cloreto de sódio** dissolvido na atmosfera marinha,
- ⊙ Particulados de **coque, enxofre e fuligem** (negro de fumo)
- ⊙ Vapores de **hidrocarbonetos** em refinarias, bases de transferências de combustíveis e plantas de gaseificação,
- ⊙ **Ácido Sulfúrico e Nítrico** em unidades de geração de energia,
- ⊙ **Gás sulfídrico** em unidades de resíduos e pântanos,
- ⊙ **Cloro** em Plantas Petroquímicas e de Papel e Celulose dentre outros

**Aspecto externo a seguir mostra,, corrosão por pite em aço inoxidável AISI304 de dentro do duto para fora em Copacabana no Rio de Janeiro.**



Para impedir o ingresso de poluentes agressivos nestes ambientes confinados tais como Subestação de potência, salas de painéis, poço de cabos, salas de baterias, casa de bombas, sala de compressores, etc temos que projetar **Enclausuramento e Pressurização**, ambientes confinados **redução de 66% nas taxas de corrosão entre uma instalação abrigada e instalação ao tempo**

Como conseqüência torna-se imperativa a necessidade de remoção do calor sensível dissipado pelas perdas do fluxo de elétrons nos circuitos de transformadores, motores, capacitores e variadores de frequência; a renovação do ar interno passa a ser uma exigência funcional.

Rompimento de dielétrico em placas de circuitos eletrônicos pela presença de particulados de ferro em Mineradora-MA.

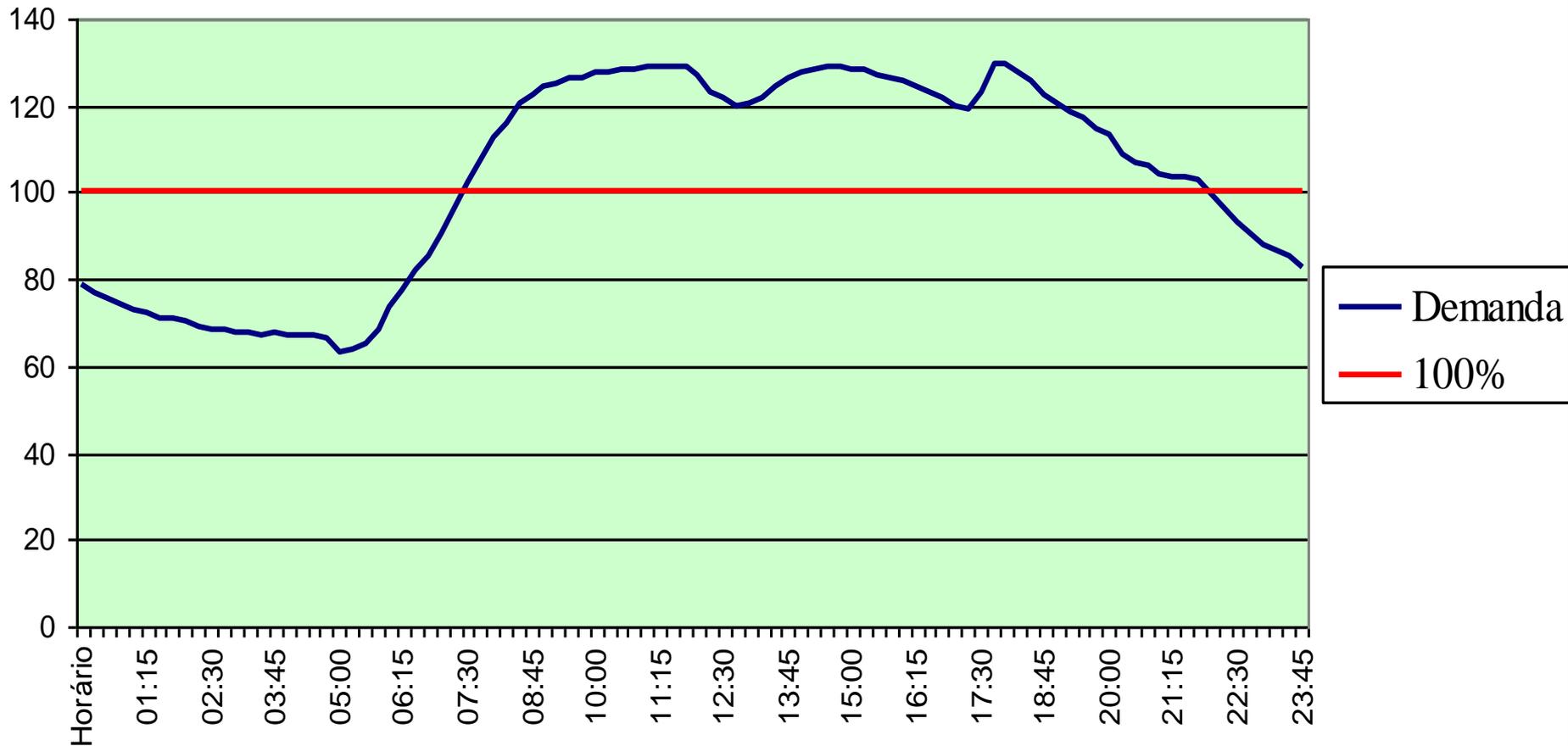


# Caracterização do Problema

- ◎ A contextualização do problema foi realizado na Subestação Pituba da COELBA (Cia de Eletricidade da Bahia) em Salvador, onde as constantes perdas patrimoniais por corrosão dos disjuntores determinaram, em 1986, um estudo fundamentado na Pressurização de Subestações Elétricas de Potência em região com atmosfera salina, visando controlar a concentração de íons salinos e grãos de sal em suspensão dissolvidos e poluentes urbanos.
- ◎ **Potência dissipada = 30 kW/ h – referentes à presença de transformadores, variadores de frequência, capacitores e tiristores.**
- ◎ **Nº Renovações/hora: > 12 para cabinas elétricas**

# Perfil de Carga Operacional

CARREGAMENTO DO 11T1/11T3 - PIT  
Data 20/10/08 (Segunda-feira)



# Condições locais admitidas para o projeto: Cidade Salvador – Bahia.

Lat. S	Long.	Alt.	Pr.atm	Período	Extremos.anuais				
					TBU	TBSmx	s	TBSmn	s
12,90S	38,33W	6m	101,25	1982/2001	31,8	34,8	2,2	18,6	1,1
Mês> Qt	Freq. Anual	Resfria/ e desumid. Baixa umidade							
<b>Fev</b>		<b>TBS</b>	<b>TBUc</b>	<b>TBU</b>	<b>TBSc</b>	<b>TPO</b>	<b>w</b>	<b>TBSc</b>	
	0,4%	<b>32,7</b>	26,7	<b>27,2</b>	31,1	<b>26,1</b>	<b>21,5</b>	29,6	
$\Delta T_{md}$	1%	<b>32,0</b>	26,3	<b>26,8</b>	30,6	<b>25,9</b>	<b>21,2</b>	29,4	
5,9	2%	<b>31,2</b>	25,9	<b>26,5</b>	30,2	<b>25,2</b>	<b>20,4</b>	29,0	
Mês>Frio	Freq.anual	Aquec. Umidificação							
Ago		<b>TBS</b>	<b>TPO</b>	<b>w</b>	<b>TBSc</b>				
	99,6%	<b>20,2</b>	<b>17,8</b>	<b>12,8</b>	23,5				
	99%	<b>21,1</b>	<b>18,2</b>	<b>13,1</b>	23,6				

Fonte: NBR6401 rev.1, TBS,TBU,TPO,w,s – Temperatura de bulbo seco, úmido, temperatura de ponto de orvalho, umidade e desvio padrão respectivamente.



Aspecto superficial com a formação de estalactite salino no leito de cabos mesmo na posição vertical, superfície aquecida, numa subestação elétrica de bombeamento em Copacabana no Rio de Janeiro.

# TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS

Abaixo caracterizamos as três rotas de tecnologia disponíveis, suas vantagens e desvantagens quanto ao custo de investimento e operacional, desempenho e de ciclos de manutenção, sendo o gradiente de temperatura um dos parâmetros determinante para selecionar a rota tecnológica a adotar haja visto que as tecnologias disponíveis são limitadas por suas performances termodinâmicas que expressam seus limites.

# TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS:

- I- Sistema de filtragem e insuflação mecânica de ar externo;
- II- Sistema de climatização do ar interno, por ciclo de refrigeração+ T.A.E.(Tomada de Ar Externo) filtrado para repor perdas por frestas.
- III- Sistema de insuflação de ar resfriado e depurado por centrifugação líquida multiventuri por Precipitadores Hidrodinâmicos;

# Subestação Elétrica aberta com elevada Saturação Térmica



# I - Sistema de insuflação de ar externo com filtração mecânica à seco.

Historicamente mais empregada, utiliza-se de sistemas de insuflação compostos por exaustores e gabinetes de filtração que promovem a captação do ar externo, filtração em níveis de eficiência gravimétrica em função do tipo de filtro e da distribuição granulométrica dos poluentes do ambiente.

- A insuflação de ar externo filtrado tem como limite teórico de performance a temperatura externa à sombra;

**Vantagem: Menor custo de implantação e operacional;**



**Corrosão do painel por  
atmosfera ácida de  
enxofre em planta  
química**

# Desvantagens do processo

- O funcionamento deste tipo de tecnologia se depara com o problema de **não alcançar temperaturas limites menores** reduzindo a performance dos componentes elétricos, sendo comum  $42^{\circ}\text{C}$  como temperatura interna em Subestação Elétrica de potência;
- Provoca o **acúmulo e impregnação rápida de filtros** quando a subestação elétrica esta inserida em região da planta com atmosfera externa contaminada;
- **Elevados custos operacionais de manutenção**, limpeza e/ou substituição com expurgo de elementos descartáveis, com geração de resíduos sólidos dos descartáveis;

# Desvantagens do processo

- POLUENTES QUÍMICOS CORROSIVOS- A presença de atmosferas com contaminantes mistos requer muitas vezes o uso, em série, de **filtros químicos** seqüenciais para gases e vapores, havendo assim incremento na perda de carga do sistema e custos elevadíssimos dos filtros de adsorção química em carvão ou alumina ativada, de neutralização química por permanganato de potássio, etc.
- Além disso, sabemos que a distribuição granulométrica típica dos particulados que contaminam uma atmosfera é determinante para assegurar a eficiência do sistema de filtragem, que nunca será 100% por tratar-se de **técnica de restrição obstrutiva** á passagem em trama de tecido ou células e filamentos de não tecido, sempre haverá material particulado ingressando no ambiente beneficiado.

# Desvantagens do processo

- O consumo de energia desta modalidade de pressurização de subestação elétrica está restrito ao ventilador que responde ao cálculo de potência consumida, que nesta instalação em foco (COELBA), é referente a:

$$\underline{\text{BHP} = 3,1 \text{ CV} \approx 2,31 \text{ kW}}$$

- Este valor é realmente bastante palatável não fosse a inviabilidade operacional da saturação dos filtros e ao fato de que no verão estaríamos com temperatura interna de 42°C, valor que impede a presença de operador e imputa perdas operacionais aos componentes elétricos inclusive de segurança de isolamento nos circuitos de potência, além dos custos dos filtros tanto no descarte quanto na reposição.

## II - Sistema de climatização do ar interno com ciclo de refrigeração.

A tecnologia de **refrigeração do ar interno** de subestações elétricas compreende a recirculação de ar refrigerado num ambiente dissipador de calor aquecendo esse ar que retorna a unidade evaporativa para troca térmica, as perdas são sempre repostas pela insuflação através tomada de ar externo (T.A.E.) que requer uma pequena unidade semelhante a descrita no sistema de ventilação com filtragem mecânica á seco ou uma por centrifugação líquida quando a atmosfera externa for quimicamente agressiva.

A rota de refrigeração é indicada para beneficiar ambientes com operadores e salas de painéis de controle e instrumentos, com reduzida taxa de calor dissipado.

Fan Coil operando com água gelada na refrigeração e pressurização SE. filtros com poluentes minério de ferro



# Vantagens

- ⦿ A rota de refrigeração é indicada quando a temperatura operacional do ambiente beneficiado é inferior a de bulbo úmido do local. Permite alcançar valores de temperatura reduzidas independentemente da temperatura externa, com total controle da temperatura e umidade interna no patamar especificado ou requerido pelo instrumental com circuitos lógicos programáveis(C.L.P.)

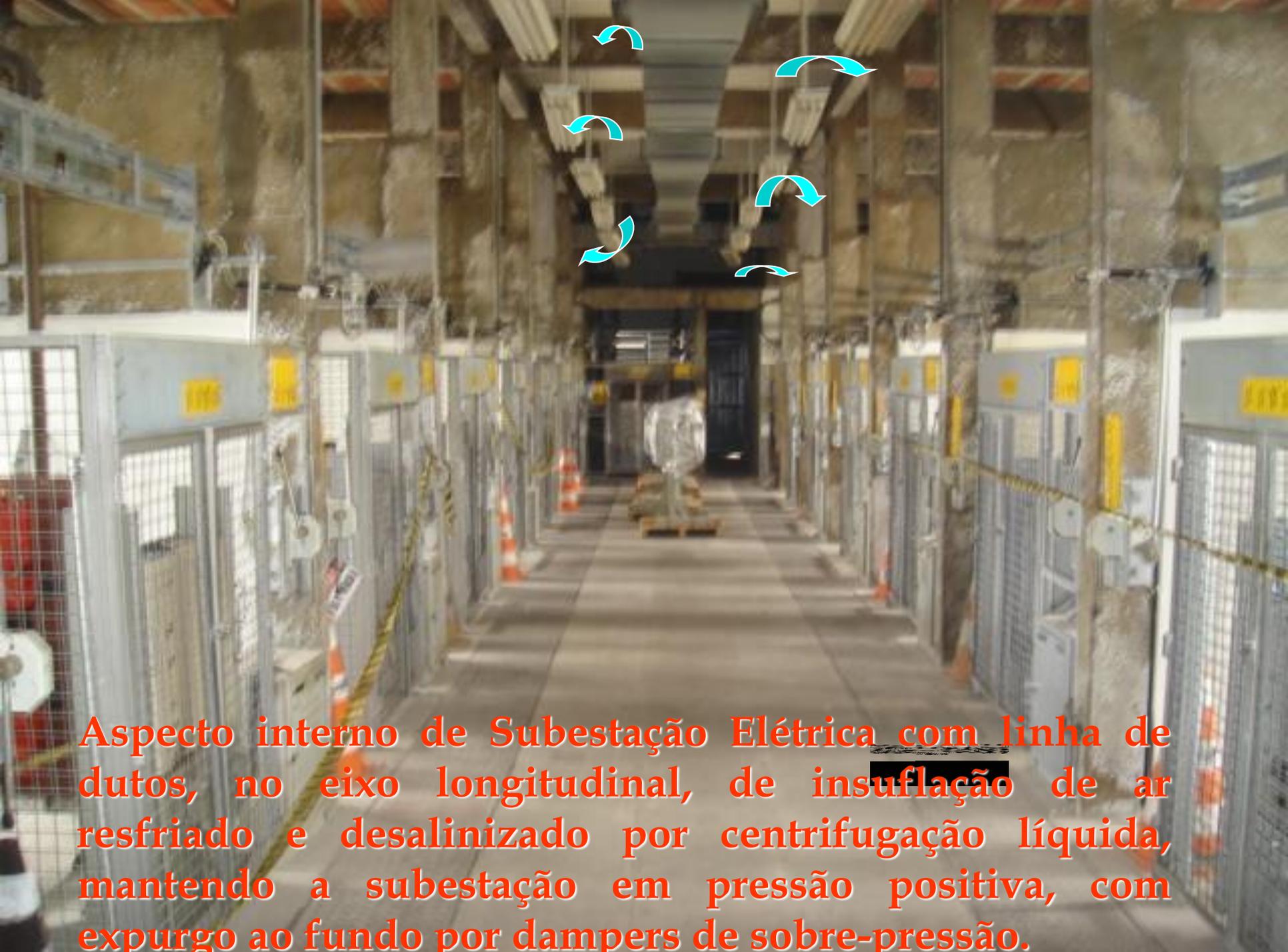
# Desvantagens

- ⊙ Esta tecnologia não deve ser aplicada em subestações de potencia com elevada carga de calor dissipado, pois trata-se de um **Antagonismo Energético** entre o calor dissipado pelas perdas dos equipamentos de potencia versus o elevado consumo energético do ciclo frigorígeno;
- ⊙ As trocas e limpeza de elevada periodicidade dos filtros da T.A.E., resultando em custos operacionais e de expurgo de elementos descartáveis .

O consumo de energia desta modalidade de pressurização de subestação elétrica é o somatório do consumo do ventilador da T.A.E. e do evaporador(fan coil) e da unidade de condensação frigorígena, sendo a maior parcela da energia do compressor que responde ao cálculo de potência consumida.

A vazão de ar, para aplicação em foco é bem menor que no caso I apresentado anteriormente, pois o ar condicionado se caracteriza pela reutilização do ar interno.

**Consumo total no sistema de climatização por refrigeração = 14,96 kW.**



Aspecto interno de Subestação Elétrica com linha de dutos, no eixo longitudinal, de insuflação de ar resfriado e desalinizado por centrifugação líquida, mantendo a subestação em pressão positiva, com expurgo ao fundo por dampers de sobre-pressão.

### III - Sistema de insuflação de ar resfriado e depurado com tecnologia de centrifugação multiventuri

O emprego da **tecnologia de centrifugação líquida multiventuri** é fundamentada nos princípios da mecânica dos fluidos, transferência de massa e energia e dos fenômenos de condensação, absorção e/ou neutralização química, com eficaz depuração do ar aspirado do ambiente externo com o objetivo de atender a necessidade de assegurar o condicionamento do ar nos aspectos qualitativos e quantitativos.

# Centrifugação Líquida Multiventuri a sinérgica mistura gás-líquido dos Precipitadores Hidrodinâmicos



No uso da tecnologia Centrifugação Líquida Multiventuri deve-se **operar em circuito aberto** com o conceito de varredura longitudinal, sendo o ar externo aspirado pelo próprio equipamento através de rotor tipo limit load com perímetro multiventuri, onde temos a função **auto-aspirante** (“booster”) presente, sendo promovida na seqüencia o processo de depuração através da centrifugação simultânea e sinérgica, em regime bifásico, que favorece as transferências de poluentes para o meio líquido por **gradiente de difusão** do meio mais concentrado para o menos concentrado.

# Pier de GNL- Baía Guanabara-RJ: Atmosfera Salina, Depuração, Resfriamento-Pressurização do Bloco Salas de Controle.



# Detalhes do rotor com perfurações venturi



- Estas perfurações são responsáveis pela efetiva transferência de massa e energia promovendo a absorção dos gases ácidos



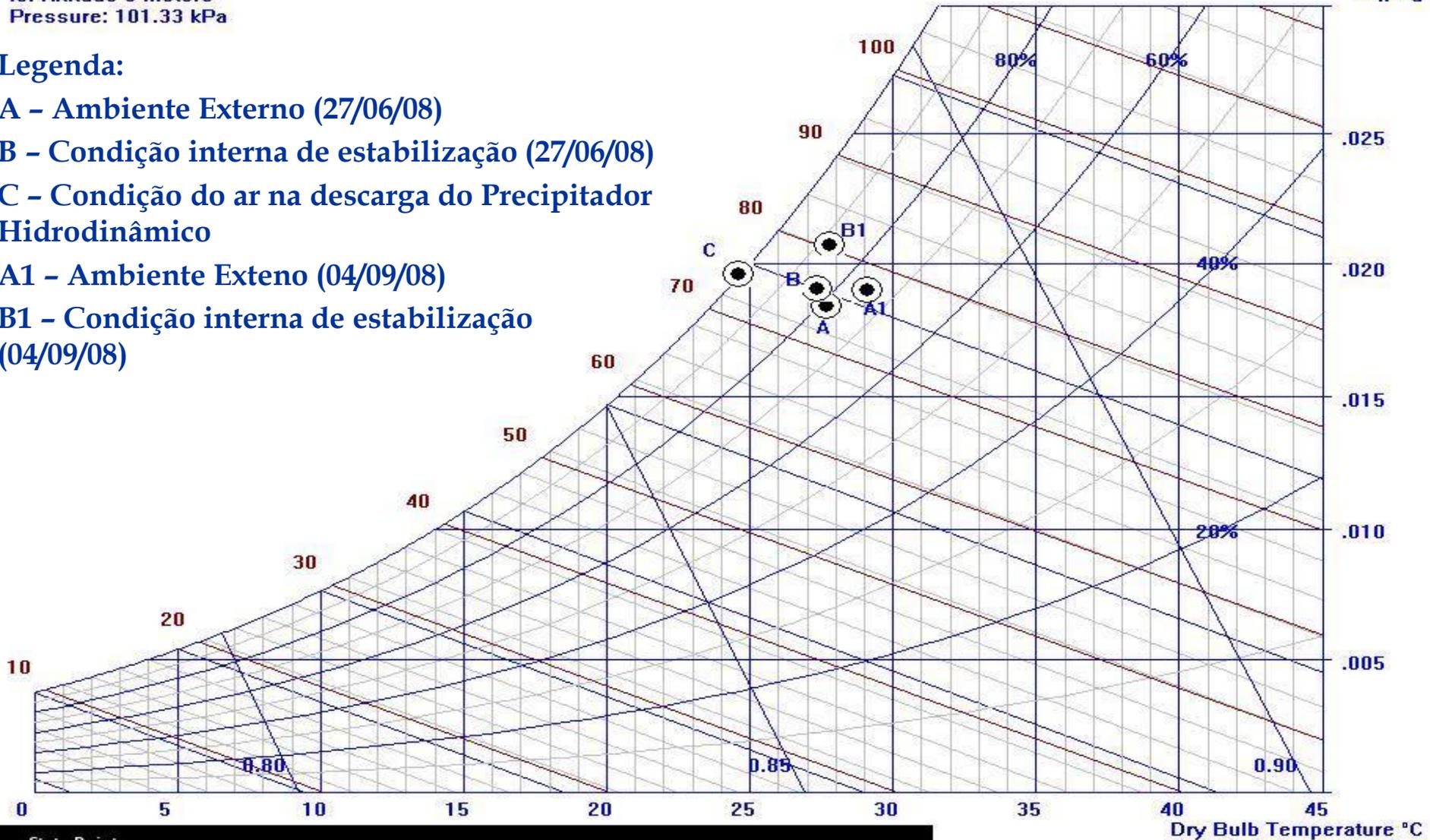
Neste **Resfriamento Evaporativo**, temos que quando analisamos o sistema como um bloco em que o calor sensível do ar externo é absorvido pela entalpia de vaporização (calor latente) do líquido na **centrifugação multiventuri**, temos na seqüencia a re-incorporação pela remoção do calor sensível dissipado pelos equipamentos elétricos de potência, havendo nesse sentido uma troca isoentálpica pois os valores de campo demonstram que a temperatura e umidade de expurgo estão equivalentes tendo-se utilizada as **características psicométricas da água contida no ar(mistura gasosa)** como veículo de transporte e transferência de energia. Resultados típicos de temperatura e umidade interna demonstram os resultados que tendem a equiparar-se as condições externas a sombra, havendo remoção total do calor interno dissipado pelos equipamentos elétricos.

# Tecnologia de Centrifugação líquida Multiventuri Refrigerada.



**Legenda:**

- A - Ambiente Externo (27/06/08)
- B - Condição interna de estabilização (27/06/08)
- C - Condição do ar na descarga do Precipitador Hidrodinâmico
- A1 - Ambiente Exteno (04/09/08)
- B1 - Condição interna de estabilização (04/09/08)



State Points							
State Point	°Cdb	°Cwb	°Cdp	%RH	kgw/kga	m³/kg	kJ/kg
A	27.66	24.67	23.56	78.60	0.01850	0.88	74.84
B	27.33	25.02	24.17	83.11	0.01921	0.88	76.31
C	24.59	24.62	24.60	100.26	0.01971	0.87	74.76
A1	29.10	25.42	24.11	74.70	0.01913	0.88	77.96
B1	27.80	26.10	25.53	87.56	0.02085	0.88	81.00

Dados obtidos na Subestação  
COELBA, nos dias:  
27/06/08 - 9h30min  
04/09/08 - 16h10min

# Contaminantes Físico-Químico- Biológicos T.A.E.- SP



# Ciclo Misto Depuração por Centrifugação Líquida Refrigerada

- ◉ Quando aplicado em **salas de controle e de instrumentos**, onde temos o uso intensivo de controladores lógicos programáveis (CLP) com reduzidos valores de calor sensível dissipado, opera-se, a tecnologia de **centrifugação líquida multiventuri**, em conjunto com o sistema de climatização do ar em ciclo misto, processando-se a tomada de ar externo no Precipitador Hidrodinâmico que nesta versão opera com circuito de refrigeração através de evaporador imerso no líquido recirculante, com condensador remoto ou ramal de água gelada, formando o circuito secundário de líquido.

# T.A.E. com Precipitador Hidrodinâmico, o Depurador Centrífugo Líquido, qualifica Air Handling para Gases e Odores



Nesta versão refrigerada o depurador centrífugo multiventuri opera com circuito de água gelada em serpentina imersa que refrigera a água re-circulante, de forma a podermos **controlar a incorporação de umidade no ar por evaporação de líquido**, ou seja, temos um processo de **depuração físico-químico-biológico** com simultânea refrigeração para impedir fluxos indesejáveis de energia que provoquem a vaporização da água elevando a umidade.

O importante diferencial da tecnologia é sua capacidade para operar como depurador do ar multimodal de atuação simultânea nos agentes poluentes físicos sólidos e em forma de névoa, vapores químicos e microorganismos biológicos, de forma extrativa autônoma não gerando filtrado acumulativo com queda progressiva de performance dinâmica.

O consumo de energia desta modalidade de pressurização de subestação elétrica está vinculado à potência do equipamento de que utiliza a tecnologia de centrifugação multiventuri.

Tendo como base a subestação da Coelba em Pituba-BA:

$$\underline{\text{BHP} = 8,25 \text{ CV} = 6,15 \text{ kW}}$$

Sistema	Consumo de Energia	$\Delta\%$ Consumo
I - Sistema de insuflação de ar externo	2,31 kW	0
II - Sistema de climatização do ar interno	14,96 kW	+547%
III - Sistema de insuflação de ar resfriado e depurado	6,15 kW	+ 166%

Após mais de vinte anos de operação a tecnologia de **centrifugação líquida multiventuri** se consolida como a de **melhor equilíbrio energético** apresentando um consumo intermediário entre as duas outras rotas que apresentam um consumo díspare em 547% , estando a tecnologia de resfriamento isoentálpico com um consumo 166% acima da ventilação convencional, porém com resultado térmico interno confortável(29°C) face aos 42°C quando do uso do sistema de ventilação á seco com filtros.

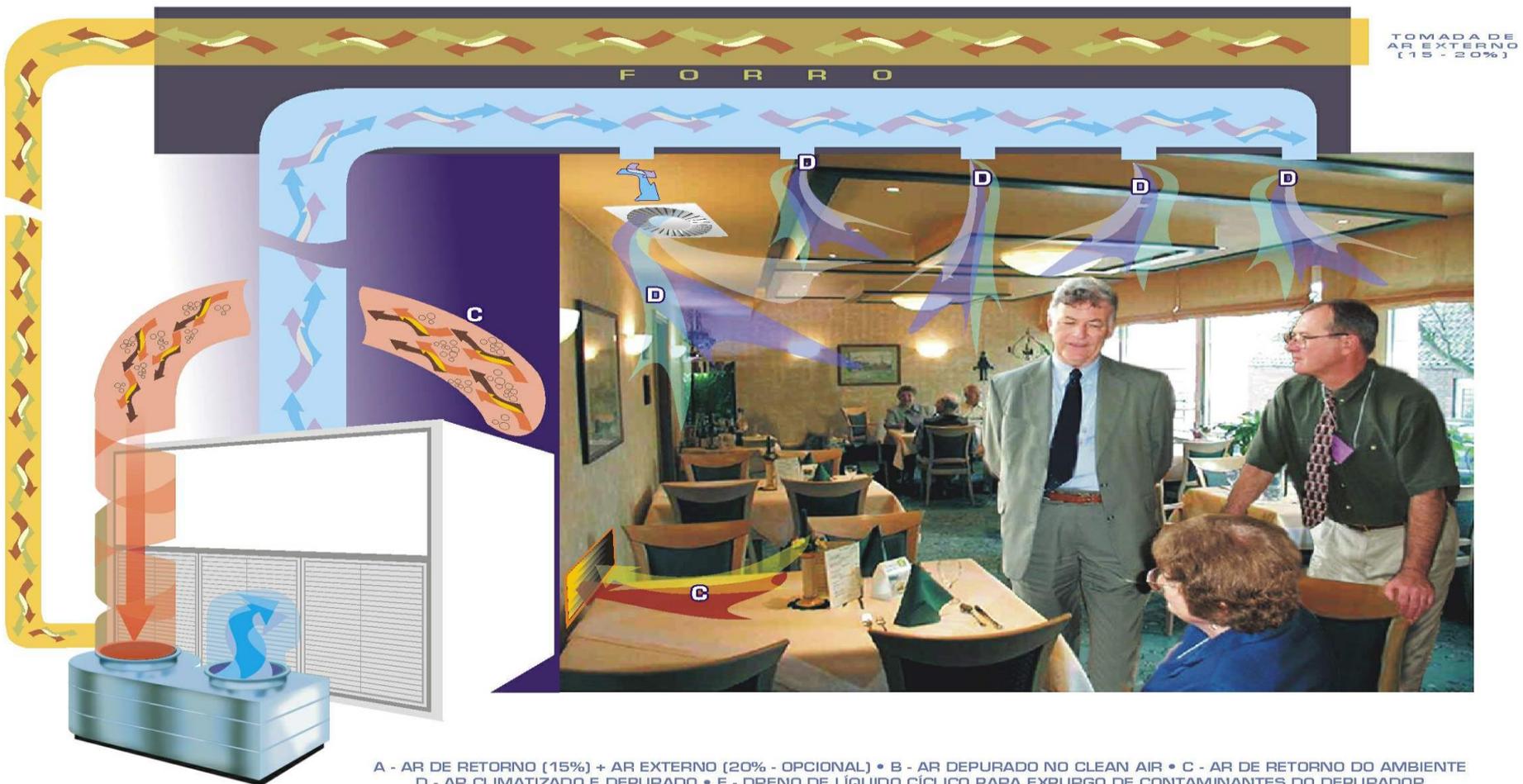
# Ensaio de serpentina de refrigeração imersa no Precipitador Hidrodinâmico



A implantação da Subestação enclausurada e de um sistema de Depuração atmosférica e Pressurização, com o uso de Precipitador Hidrodinâmico, assegura a preservação e confiabilidade operacional a mais de 20 anos, eliminando-se trocas de disjuntores danificados por corrosão salina com custo unitário de R\$33.000,00 e que alcançavam até três peças anuais, para um investimento inicial de R\$98.0000,00 com a tecnologia dos Precipitadores Hidrodinâmicos, operando com arranjo em redundância.

# Unidade de Depuração aplicada no Retorno da Climatização + T.A.E. Urbano

**SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO E  
DEPURAÇÃO CONTÍNUA DO AR**



# CONCLUSÃO

Dentre as matizes tecnológicas disponíveis temos que o antagonismo energético de ciclos de refrigeração em pressurização de subestações de potencia com expressivas taxas de calor dissipado é inviável, restando seu uso consorciado para centros de controle e instrumentos onde temperaturas inferiores a de bulbo úmido sejam requeridas ou na ausência de carga térmica dissipada apta provocar a expansão do ar em níveis que adéqüem a umidade relativa.

Testemunho de 25 anos material  
externo corroído interno preservado



Assim a seleção se concentra entre as duas rotas, e é determinada pelos requerimentos de depuração que viabilizam operacionalmente e em termos de eficiência a de filtragem mecânica ou química á seco versus extração e neutralização líquida por centrifugação multiventuri, sendo que o balanço de energia do gradiente de temperatura á alcançar em relação a externa e pela temperatura mínima de processo que estabelecem os **limites termodinâmicos do sistema**, ou seja a ventilação a seco não é capaz de assegurar temperaturas internas próximas a externa a sombra quando temos elevadas cargas térmicas dissipadas.

# AGRADECIMENTO IN MEMORIUM:

- Registramos nossos agradecimentos em memória do cientista Giuseppe Capulli pelo legado de perseverança, obstinação e criatividade para perseverar na inovação tecnológica para o bem estar da humanidade, através da preservação do meio ambiente e melhorias da qualidade de vida.

# AGRADECIMENTOS

Registramos nossos agradecimentos aos setores de EMS da Coelba pela coleta de dados de campo, ao engenheiro da WEG acionamentos pelo suporte de dados de dissipação de equipamentos elétricos.

**CAPMETAL Tecnologia Ambiental**

**Rua Idalina Senra, 45 São Cristovão**

**Rio de Janeiro/RJ- 20941- 090.**

**[www.capmetal.com.br](http://www.capmetal.com.br)**

**055xx21 38601261**

**Eng<sup>o</sup> Domenico Capulli**

**Diretor de Aplicações**

**[diretoria@capmetal.com.br](mailto:diretoria@capmetal.com.br)**

Psychrometric Chart  
for Altitude 0 meters  
Pressure: 101.33 kPa

Humidity Ratio  
kg / kg a

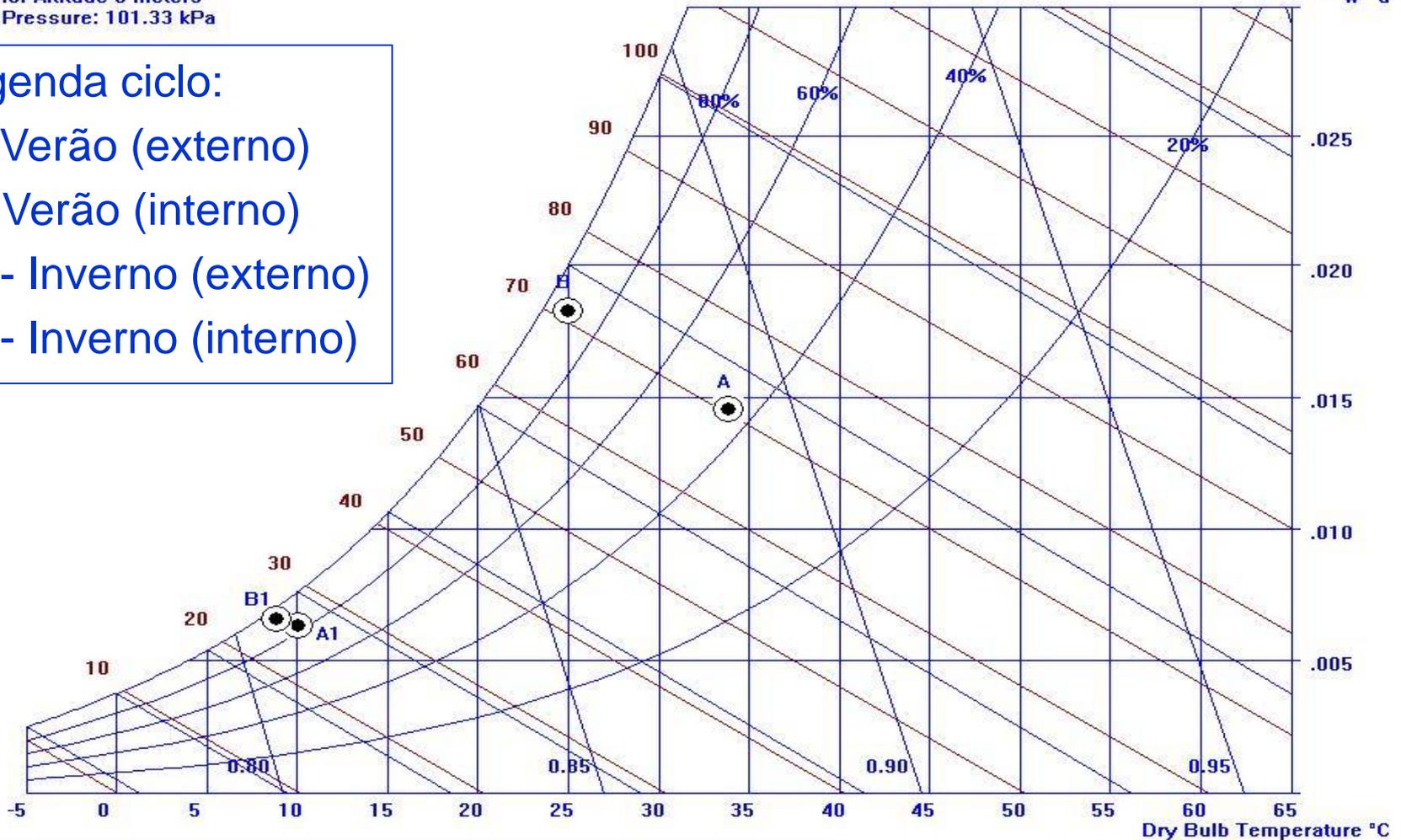
Legenda ciclo:

A - Verão (externo)

B - Verão (interno)

A1 - Inverno (externo)

B1 - Inverno (interno)



State Point	°Cdb	°Cwb	°Cdp	%RH	kgw/kg a	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg
A	33.88	23.89	19.80	43.90	0.01464	0.89	71.39
B	24.99	23.89	23.45	91.44	0.01838	0.87	71.77

State Point	°Cdb	°Cwb	°Cdp	%RH	kgw/kg a	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg
A1	10.03	8.58	7.26	83.10	0.00637	0.81	26.06
B1	8.89	8.34	7.81	93.22	0.00662	0.81	25.55

Dados da HVCA – Subestação.