



GRUPO I

GRUPO DE ESTUDOS DE GERAÇÃO HIDRÁULICA – (GGH)

DETECÇÃO DE VAZAMENTOS NO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DOS GERADORES

Antonio Takeo Suzuki

Roberto Toyofumi Kagesawa (*)

CESP

RESUMO

Este trabalho descreve o método utilizado nas Unidades Geradoras da UHE – Ilha Solteira para detecção de vazamentos de água nos Trocadores de Calor (Radiadores), do Sistema de Resfriamento dos Geradores.

O método consiste basicamente em monitorar as umidades relativas, internas e externas às salas dos Geradores, através de termohigrômetros diferenciais, que a partir de determinada diferença entre as umidades relativas, enviam sinalizações para alerta ou bloqueio das UG's.

Relatamos as suposições termodinâmicas, para as misturas de gases e vapores, os ensaios realizados, alternativas para melhorias, o método adotado, os benefícios e o custo para implantação do processo.

PALAVRAS - CHAVE

Geradores - Radiadores - Vazamentos

1.0 – INTRODUÇÃO

Em Nov/85 a UG-15 da UHE – Ilha Solteira, sofreu uma manutenção forçada de 22 dias devido a ocorrência de um curto circuito em 17 barras do enrolamento estático. O rompimento do dielétrico foi causado por um vazamento de água no radiador do Gerador. Com o aumento significativo de vazamentos pelos radiadores, em meados de 92, ocasionado pelo término de vida útil dos mesmos, foi necessário intensificar as inspeções nas salas dos Geradores, tornando-as semanais e até mesmo diárias para

algumas UG's, para se evitar novas ocorrências de curto circuitos e bloqueios por baixa isolamento nos Estatores das Unidades Geradoras.

Na UHE – Jupiá da CESP, na ocorrência de um curto circuito em um dos Geradores houve a atuação do sistema anti-incêndio a base de CO₂, que ocasionou uma sobrepressão devido a inexistência de válvula de alívio, causou o desprendimento e o lançamento da chaparia superior a vários metros de altura. Devido a esse incidente, por medida de segurança, a empresa decidiu que todas as inspeções nas salas dos Geradores fossem feitas com as UG's desenergizadas.

Dessa forma tivemos um aumento no índice de indisponibilidade da Geração, haja visto a necessidade de retirar as UG's do Sistema combinado ao aumento do número de inspeções.

Devido a situações semelhantes em outras Usinas da CESP, foi desenvolvido no TTRI – Setor de Geração de Ilha Solteira, um procedimento para detectar vazamentos de água no Sistema de Resfriamento, sem a necessidade de se entrar na sala do Gerador para inspeção nos Radiadores.

2.0 – RELAÇÕES TERMODINÂMICAS

Para a nossa finalidade, podemos tratar a mistura ar e vapor de água, como uma mistura envolvendo gases e um vapor, Cap. 11 de [1], considerando-se as seguintes preposições:

- A fase líquida, não contém gases dissolvidos.
- A fase gasosa (ar + vapor), pode ser tratada como uma mistura de gases perfeitos.

- Estando a mistura e a fase condensada em equilíbrio a uma dada pressão e temperatura, a pressão parcial do vapor será igual à pressão de saturação correspondente à temperatura da mistura.

Desta forma temos as seguintes definições:

A umidade relativa ϕ , é definida como a razão entre a pressão parcial do vapor P_v , pela pressão de saturação do vapor P_g , ambas à mesma temperatura.

$$\phi = P_v / P_g$$

A umidade absoluta W , é a razão entre a massa de vapor M_v , pela massa de ar, sem vapor, M_a .

$$W = M_v / M_a$$

Aplicando as suposições iniciais, a umidade absoluta W , sob atmosfera padrão, pode ser simplificada para:

$$W = 0,622.P_v / (1 - P_v) \quad \text{e} \quad P_v = \phi.P_g$$

3.0 – ENSAIOS INICIAIS

Utilizamos os princípios termodinâmicos da mistura ar + vapor d'água para detectar os vazamentos no Sistema de Resfriamento dos Geradores.

O método consistia em medir e comparar as temperaturas e as umidades relativas interna e externa à sala do Gerador de uma UG, em intervalos de tempos definidos. Numa situação normal, as variações que ocorrem na temperatura e umidade relativa do ar ambiente irão se refletir, com uma certa defasagem no tempo, na temperatura e na umidade relativa do ar interno à sala do Gerador, pois a mesma não é totalmente vedada e permite pequena troca de ar com o ambiente. Tal fato pode ser observado na Figura 1, cujo gráfico são as plotagens das leituras das temperaturas e das umidades relativas, interna e externa à sala do Gerador da UG-05 da UHE Ilha Solteira – CESP, realizadas em 14/09/93.

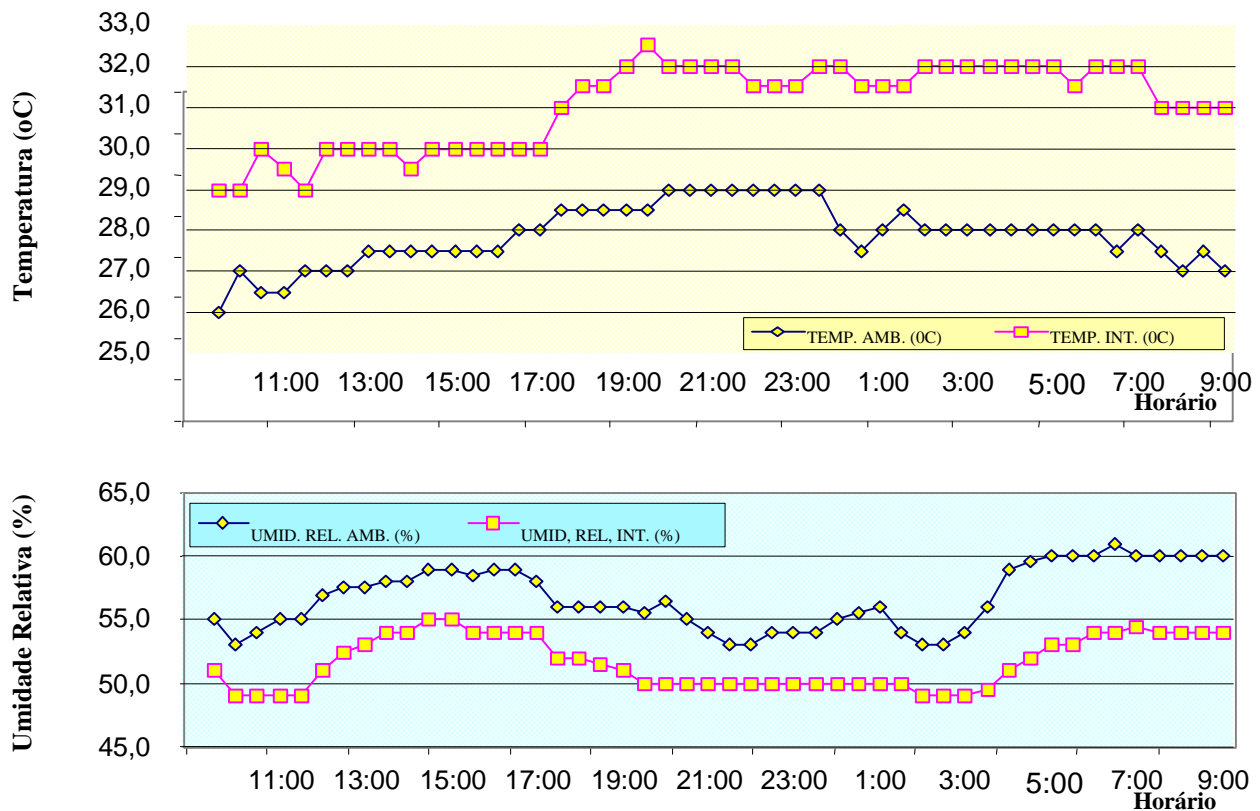


FIGURA 1 – Gráfico das leituras das umidades relativas e temperaturas da UG-05

A umidade relativa é função da temperatura, desta forma, variando-se as condições de carga da UG, ocorrerá variações da umidade relativa do ar interno à sala do Gerador, porém com amplitudes menores que as variações do ar ambiente devido as grandes massas metálicas que constituem um Gerador. Como para uma mesma taxa de umidade absoluta, a umidade relativa decresce com o aumento da temperatura, a umidade relativa do ar interno à sala do Gerador de uma UG é normalmente menor que a externa e “acompanha” de forma atenuada, as variações que ocorrem no ar ambiente, fundamentando uma correlação matemática, defasada no tempo, entre as variações das umidades relativas internas e externas.

Na ocorrência de um vazamento, a umidade relativa no interior da sala tende a aumentar e deixa de “acompanhar” as variações da umidade relativa externa, se o vazamento for pequeno, em relação à permuta das massas de ar que ocorrem com a UG em operação, ocorre um novo equilíbrio e a umidade

relativa interna voltará a “acompanhar” a umidade relativa externa, porém com um novo diferencial, observamos este fato na Figura 2, que são as plotagens das leituras efetuadas nos dias 07 e 11/06/94, na UG-11, numa situação normal com pequeno vazamento (gotejante) e com simulação de vazamento razoável.

Foram realizadas várias medições das umidades relativas e temperaturas no interior e exterior à sala dos Geradores da UHE – Ilha Solteira, sob diversas condições ambientais. Observando-se algumas diferenças nas respostas às variações externas, para grupos diferentes de Geradores, devido as características construtivas de cada fabricante, como dimensões e trocas térmicas dos Radiadores e grau de vedação do Gerador.

Foram realizados também, ensaios na UG- 03 da UHE Jupia, simulando-se vazamentos, observando-se uma rápida alteração na umidade relativa interna. Omitimos os gráficos devido a convergência das conclusões.

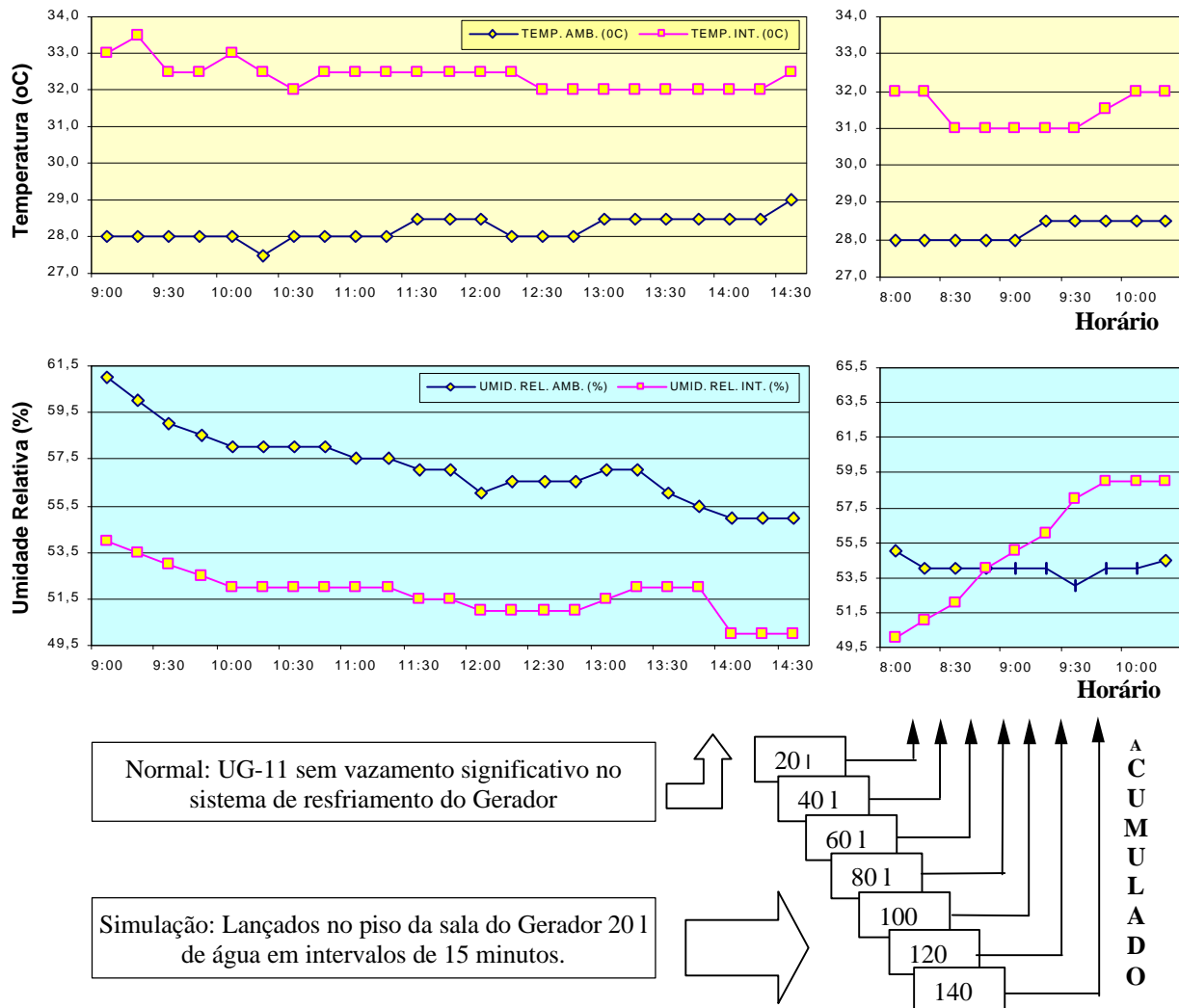


FIGURA 2 – Gráfico das leituras realizadas na UG-11, sem e com vazamento

4.0 – A UMIDADE ABSOLUTA

O fato da umidade relativa do ar variar com a temperatura causavam dificuldades para a análise das medições. Desta forma passamos a utilizar a umidade absoluta da mistura ar + vapor d'água, reduzindo o número de variáveis de duas para uma, tornando a análise mais fácil. Podemos ainda estimar a umidade absoluta interna em função das umidades absolutas externas, pois quando a UG está em operação, a troca de ar com o ambiente é constante. Para obtermos a equação estimativa da umidade absoluta do ar interno num determinado tempo t, medimos as umidades relativas e as temperaturas do ar interno e externo à sala do Gerador, em determinados intervalos de tempo e calculamos as umidades absolutas, através das relações da Seção 2.0. Calculadas as umidades absolutas internas e externas, escrevemos a equação:

$$W_i = \alpha W_{e1} + \beta W_{e2} + \gamma W_{e3} + \lambda ; \text{ onde:}$$

- W_{e1} = umid. abs. externas em intervalos Δt
- W_i = umidade absoluta interna no instante t
- Δt = intervalo de tempo entre as medições

Os coeficientes α , β , γ e λ são calculados por Regressão Linear Múltipla, Cap. 10 de [2]. A equação acima nos fornece W_i instantânea, em função das 3 (três) últimas leituras W_{e} .

Desta forma, após o início de um vazamento teremos um aumento da umidade absoluta interna, incompatível com a previsibilidade estatística fornecida pela equação, no período considerado.

Para eliminarmos a inconveniência das tabelas termodinâmicas, efetuamos uma interpolação dos valores de P_g , para temperaturas (T), entre 15 a 40° C:

$$P_g = AT^5 + BT^4 + CT^3 + DT^2 + ET + F \quad , \text{ sendo:}$$

$$A = 3,1322 \cdot 10^{-11} \quad C = 4,4550 \cdot 10^{-7} \quad E = 5,5277 \cdot 10^{-4}$$

$$B = 9,7495 \cdot 10^{-10} \quad D = 8,2665 \cdot 10^{-6} \quad F = 5,6477 \cdot 10^{-3}$$

A técnica de transformar as umidades relativas em umidades absolutas, desvinculando-as das respectivas temperaturas, teve como objetivo, o desenvolvimento de um método e equipamentos para supervisionar continuamente as umidades absolutas do ar interno e externo, para assim detectarmos o início dos vazamentos. A introdução desses conceitos foi necessário, visto que em alguns ensaios, sob certas circunstâncias, a umidade relativa do ar interno superava a do ar externo. O mais significativo, dos vários ensaios realizados, foi o da UG-09, em 28/08/93, quando reduzimos a temperatura do ar interno, através da redução gradual da carga e ocasionamos acentuada queda da umidade relativa do ar ambiente, registrados nos gráficos da Figura 4.

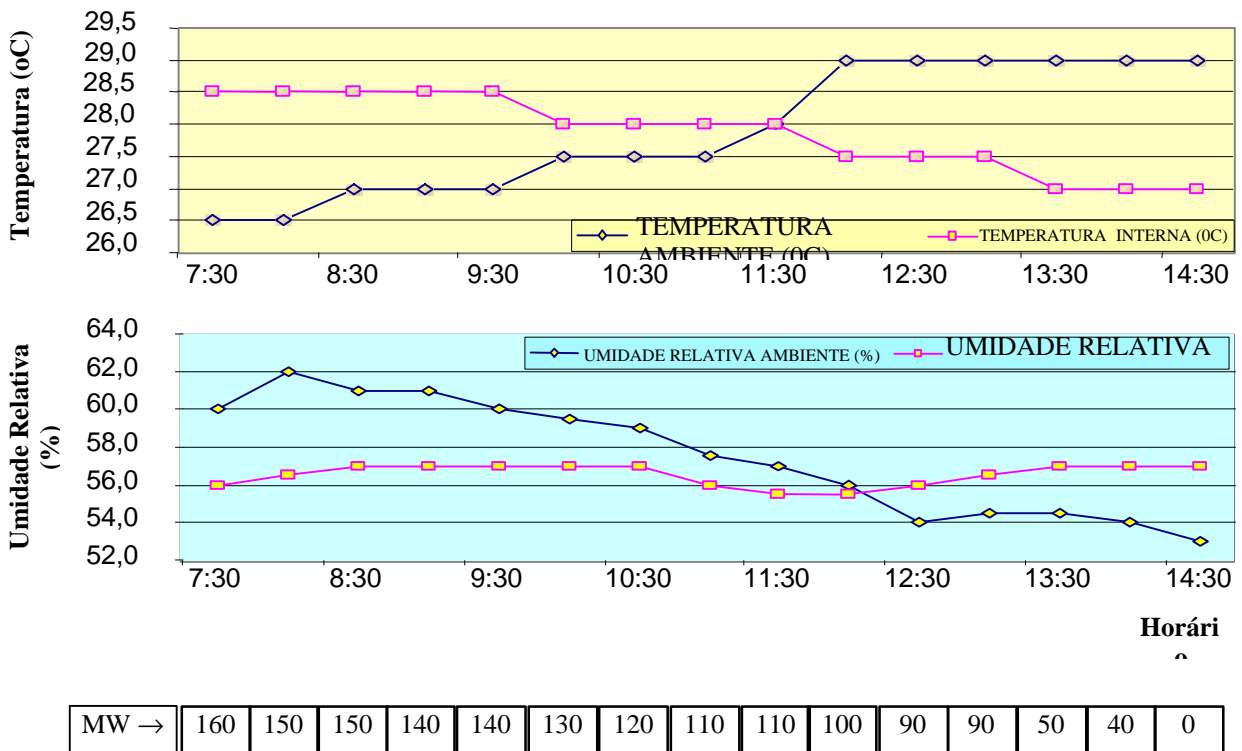


FIGURA 3 – Ensaios na UG-09

Uma análise superficial, poderia acarretar dúvidas quanto a validade dos conceitos até então apresentados, uma vez que ocorre inversão nas leituras das umidades relativas, sem ocorrência de vazamentos.

Para melhor interpretarmos os resultados deste ensaio, calculamos as umidades absolutas do ar interno e do ar ambiente e apresentamos na Figura 5. Podemos observar que as umidades absolutas praticamente são constantes durante o ensaio, com variações máximas de 7% e 9% respectivamente para W_e e W_i .

Lembramos que a inversão entre as leituras das umidades relativas nem sempre retratam a inversão nas umidades Absolutas. Confrontando-se as Figuras 3 e 4, percebemos que a ocorrência real foi oposta ao que se imaginava a princípio.

Para comparar os dois métodos de detecção de vazamentos e justificarmos os “diferentes” resultados em determinadas UG’s, apresentamos a Figura 5, cujo gráfico é o ensaio realizado na UG-11, (página 3), porém com as variáveis em umidades absolutas.

Observamos que na UG-11, a umidade absoluta interna é um pouco superior à externa. Observa-se que no primeiro gráfico da Figura 5, $\Delta W = W_e - W_i$, tende a diminuir conforme nos afastamos do período da manhã, ocorrendo o inverso no segundo gráfico, devido ao vazamento simulado.

No cálculo das umidades absolutas, consideramos as pressões internas e externas iguais a 1 Kgf/cm^2 , na fórmula simplificada da umidade absoluta, onde aproximamos o valor da pressão parcial do ar seco P_a , por: $(1 - P_v)$, lembramos que esta aproximação é permitida somente quando comparamos a variação da umidade absoluta interna antes e depois de uma ocorrência de vazamento e ainda quando: $P_v \ll P_a \cong 1 \text{ Kgf/cm}^2$, não para comparar as umidades absolutas, interna e externa num mesmo instante, que “variam” conforme suas características de projeto e de estado. Portanto é lógico considerarmos que a umidade absoluta interna “acompanha” a externa, defasada no tempo, sendo que essa defasagem depende da sua vedação em relação ao ar ambiente e das massas que constituem todo o sistema interno da sala do Gerador.

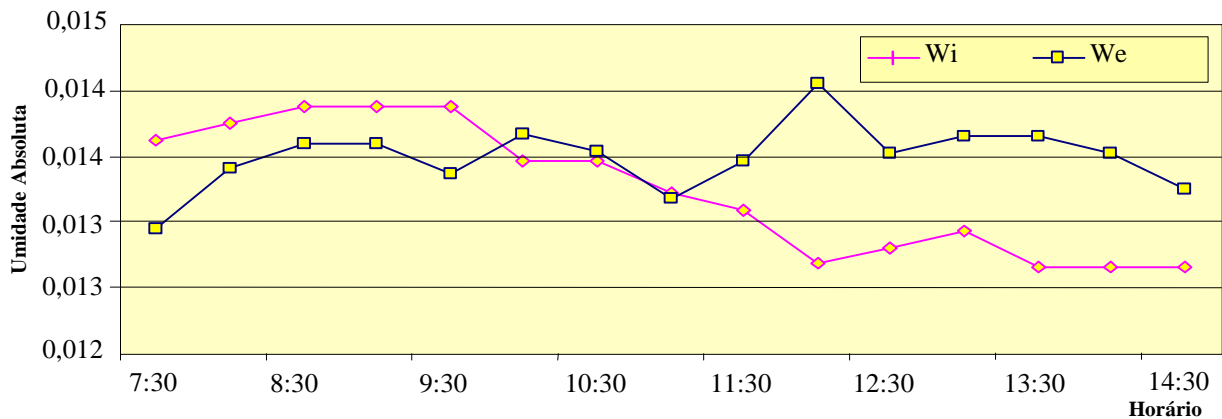


FIGURA 4 – Gráfico das umidades absolutas do ensaio na UG-09

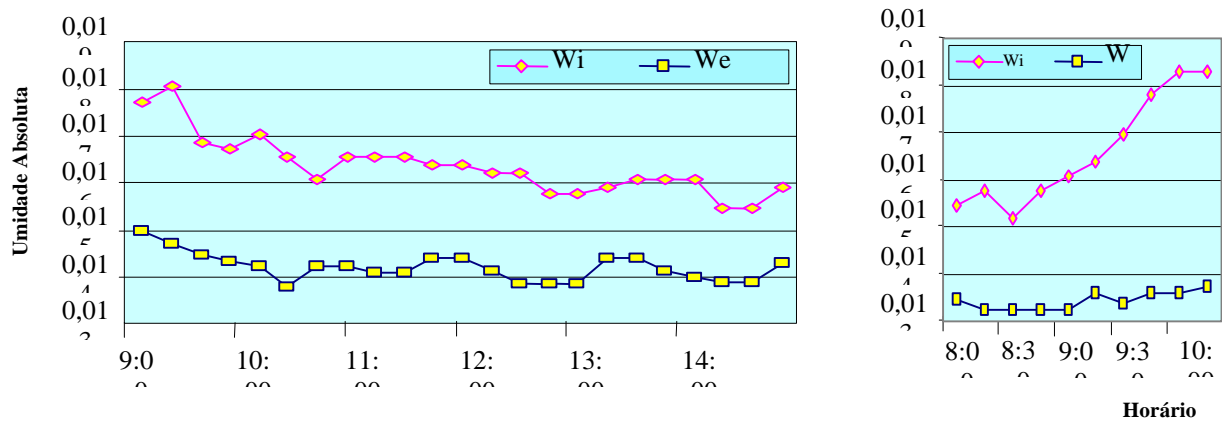


FIGURA 5 - Gráfico das umidades absolutas dos ensaios na UG-11

5.0 – O MÉTODO ADOTADO

Apesar do método de detecção de vazamentos, pela análise das variações da umidade absoluta interna, em função das variações externas ocorridas, serem mais conclusivas, não foi viável a sua implantação, devido às seguintes dificuldades:

- Inexistência e dificuldade de desenvolver no mercado, instrumentos diferenciais, a níveis comerciais, para medição direta da umidade absoluta.
- Necessidade de dois termohigrômetros e de um software capaz de associar as umidades relativas e temperaturas, para obtenção das umidades absolutas, de dois pontos distintos.
- Necessidade de um segundo programa, que baseados nas informações das umidades absolutas externas, as transforme em estimativas para a umidade absoluta interna.
- Necessidade de instrumento digital de alta precisão, haja visto a ordem de grandeza dos parâmetros envolvidos, para comparação e efetivação de sinalizações e alarmes.
- Necessidade de determinar através de ensaios as equações matemáticas de comportamento, para todas as UG's, nas situações: com vazamentos e sem vazamentos.
- Custo elevado, acima de R\$ 20.000,00 (vinte mil reais) / unidade, (valor atualizado).

Desta forma optamos pela instalação de higrômetro diferencial digital, com dois sensores de umidade relativa, cujo protótipo custa aproximadamente R\$ 1.500,00 (um mil e quinhentos reais) / unidade, favorecemos a troca de ar com o ambiente e impermeabilizamos, através de pintura, as paredes e piso da sala do Gerador.

6.0 - IMPLANTAÇÃO E RESULTADOS

O protótipo foi desenvolvido por uma empresa nacional, sendo o protótipo, instalado na UG-05 da UHE Ilha Solteira, foram realizados vários ensaios obtendo-se resultados satisfatórios, detectando 100% dos vazamentos após 20 minutos do seu início, com ocorrência de 5% de sinalizações falsas.

Durante a permanência do protótipo na UG 05, foi confirmada a efetividade do método, com a sinalização

correta após o início de um vazamento real.

Foram, após aprovação do protótipo, adquiridos 34 (trinta e quatro) conjuntos detetores de vazamentos que estão sendo instalados nas UG's das Usinas Ilha Solteira e Jupia.

7.0 – CONCLUSÃO

Após implantação pôde-se verificar a eficácia do método, em relação a outros, que para detecção, a água do vazamento deve atingir os componentes ativos do equipamento, detecta os vazamentos que não seriam visíveis ou facilmente identificáveis numa inspeção visual, tais como os vazamentos críticos, voltados para o lado interno do pacote estatórico e os vazamentos intermitentes que ocorrem somente em determinadas condições de carga da Unidade Geradora.

Levantamos ainda, a possibilidade de se efetuar melhorias neste processo tais como: equalizar as temperaturas e as pressões do ar interno e externo à sala dos Geradores para então medir as umidades relativas, utilizar vedantes de melhor qualidade para eliminar todos os vazamentos no Sistema de Resfriamento, bem como efetuar substituições de materiais dos tubos aletados dos Radiadores, por material mais resistentes à erosão abrasiva ou cavitacional, medida esta, tomada na UHE Ilha Solteira, paralelamente ao desenvolvimento das técnicas citadas neste trabalho. Enfim muitas são as ações e as opções de melhorias para dotar as nossas Unidades Geradoras, com sistemas confiáveis de proteção contra curto-circuitos devido a vazamentos de água e que tem causado grandes prejuízos às empresas do Setor Elétrico.

Portanto o investimento é viável, detecta rapidamente o início de um vazamento, reduz a indisponibilidade das UG's, visto a não necessidade de retirá-las do sistema para inspeções nos Radiadores, preservando as UG's contra curto-circuitos e seus componentes internos de corrosões, reduzindo também o número de Hxh utilizados na inspeção dos Geradores.

8.0 – BIBLIOGRAFIA

1. Van Wylen, Gordon J. e Sonntag, Richard E., Fundamentos da Termodinâmica Clássica, Editora Edgard Blücher Ltda, 1976.
2. Jan Kmenta, Elementos de Econometria — Editora, Atlas S.A. 1978.