

# MEDIDA DA TAXA DE EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DA PISCINA DO REATOR IEA-R1

Walmir Maximo Torres, Miriam A. Cegalla e Benedito Dias Baptista Filho

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- IPEN-CNEN/SP  
Caixa Postal 11049  
05422-970, São Paulo, SP, Brasil

## RESUMO

A evaporação superficial da água em reatores de pesquisa tipo piscina afeta as condições ambientais e as taxas de dose no saguão do reator e o sistema de ventilação e exaustão. O trabalho apresenta os resultados de um experimento desenvolvido para medir a taxa de evaporação da água da piscina do reator IEA-R1. O experimento baseou-se na variação da massa de água desmineralizada contida em recipientes cilíndricos metálicos durante um intervalo de tempo. Outros parâmetros também foram medidos, tais como, a pressão barométrica, umidade relativa, temperatura ambiente, temperatura da água nos recipientes e a temperatura da água da piscina. A variação de nível da água da piscina, decorrente da contração/expansão da água por variações de temperatura também foi avaliada.

**Key Words:** reator de pesquisa, piscina, evaporação

## I. INTRODUÇÃO

O IEA-R1 é um reator nuclear de pesquisa do tipo piscina, moderado e refrigerado por água leve desmineralizada. O sistema de tratamento de água tem como função o fornecimento de água desmineralizada para a piscina (volume de 272 m<sup>3</sup>), mantendo o nível e compensando as perdas por evaporação superficial, gotejamento através das gaxetas das bombas hidráulicas do primário e outros possíveis vazamentos.

Na reforma e modernização dos sistemas existentes do reator, visando o aumento da potência de operação do reator de 2 MW para 5 MW e do tempo de operação para 120 horas semanais, foram instalados um hidrômetro e um sensor de nível na piscina, permitindo monitorar a quantidade de água desmineralizada utilizada para completar o nível e acompanhar as variações de nível.

Para quantificar as perdas por evaporação, foram realizados ensaios relacionando a taxa de evaporação da água da piscina do reator IEA-R1 com as variações de nível de água da piscina. A pressão barométrica, a umidade relativa, a temperatura ambiente, a temperatura da água nos recipientes e a temperatura da água da piscina também foram registrados durante os ensaios.

A seguir são apresentados os detalhes do experimento, os principais resultados e conclusões.

## II. EXPERIMENTO

O experimento consistiu na medida da variação da massa de água desmineralizada contida em recipientes cilíndricos metálicos durante um determinado intervalo de tempo.

Diariamente foram medidos os seguintes parâmetros: variação de massa de água contida nos recipientes, com o reator em operação e desligado; temperatura da água em cada recipiente; umidade relativa, pressão barométrica, temperatura ambiente, temperatura máxima e mínima no saguão da piscina; e, temperatura da água da piscina na superfície, à meia altura e sobre o núcleo do reator.

Na TABELA 1 são apresentadas as dimensões do recipiente de alumínio.

TABELA 1. Dimensões do recipiente de alumínio

Diâmetro externo (mm)	65
Espessura da parede (mm)	0,2
Altura (mm)	100
Área (mm <sup>2</sup> )	3278

No experimento foram utilizados quatro recipientes posicionados em diferentes pontos, sendo dois (R1 e R2) fluando na superfície da piscina do reator IEA-R1 e dois (R3 e R4) no saguão do reator. A Fig. 1 mostra a localização dos recipientes. Os recipientes R1 e R2 foram colocados dentro da piscina para que a temperatura da água neles contida, estivesse em equilíbrio térmico com a água da piscina. A espessura da parede dos recipientes de alumínio é suficientemente fina para garantir que esse equilíbrio seja

atingido rapidamente. A extremidade superior dos recipientes R1 e R2 que permaneceu fora da água foi isolada com anéis de isopor, para evitar que essa região tivesse a função de uma aleta, podendo provocar condensação da água evaporada e portanto, alterando as medidas. Os anéis de isopor também funcionaram como flutuadores, evitando o emborcamento dos recipientes. Para manter os recipientes em suas posições, foram amarrados com fios de "nylon" à estrutura metálica existente ao redor da piscina.

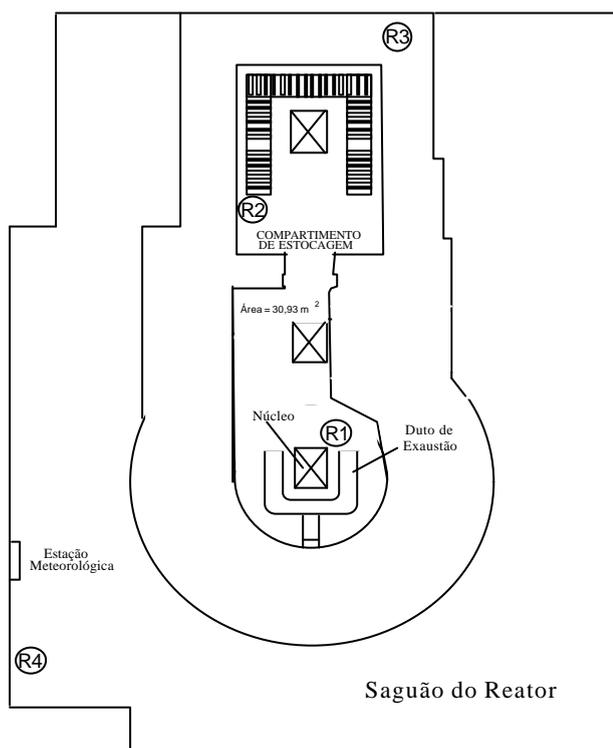


Figura 1. Localização dos recipientes na piscina e no saguão; e localização da estação meteorológica.

A medida da variação da massa de água nos recipientes foi realizada diariamente (intervalo ~24 horas), durante um período de 43 dias, sendo que foram feitas medidas com o reator em operação normal (2 MW) e desligado. Para a realização dessas medidas, os recipientes eram removidos de suas posições e levados para um laboratório, onde a massa total (água + recipiente) era medida usando-se uma balança Micronal, modelo B200, com capacidade para 200 gramas. Antes das medidas, os recipientes R1 e R2 eram secos externamente com papel absorvente. A variação da massa de água era medida por diferença com relação ao valor anterior. A reposição de água nos recipientes era feita sempre que julgada necessária. No início do experimento, foram realizadas duas medidas por dia.

Além da variação de massa com o tempo, os seguintes parâmetros foram monitorados:

- Temperatura da água nos recipientes <sup>(1)</sup>.
- Umidade Relativa no saguão da piscina <sup>(2)</sup>.
- Pressão barométrica no saguão da piscina <sup>(2)</sup>.
- Temperatura máxima e mínima do período no saguão da piscina <sup>(2)</sup>.

- Temperatura ambiente no saguão da piscina <sup>(2)</sup>.
- Temperatura ambiente no saguão da piscina <sup>(1)</sup>.
- Temperatura da água da piscina próximo à superfície, à meia altura e sobre o núcleo do reator, medidas com os termopares que compõem a instrumentação normal do reator, cujos sinais são encaminhados para a sala de controle do reator.

(1) Medida com um termopar tipo K de 0,5 mm ligado a um mostrador digital portátil.

(2) Medidas obtidas com uma estação meteorológica marca "Weather Station" localizada no saguão da piscina, cuja posição relativa está indicada na Fig. 1.

### III. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados experimentais de Taxa de Evaporação (TE) obtidos no período entre os dias 04/05 e 15/06/98, perfazendo um total de 35 medidas em aproximadamente 1000 horas. Os resultados de TE's apresentados, consideram que toda a área da piscina está sujeita à mesma TE dos recipientes individualmente, e foram calculadas segundo a Eq. (1).

$$TE = (\Delta m / \Delta t) \cdot (A_p / A_r) = 9436 (\Delta m / \Delta t), \quad (1)$$

onde  $\Delta m$  é a variação da massa de água no recipiente (kg),  $\Delta t$  é o intervalo de tempo entre medidas (dias),  $A_p$  é a área da superfície da piscina (30,93 m<sup>2</sup>) e  $A_r$  é a área do recipiente (3,278.10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>).

As Figs. 2 e 3 mostram as TE's em (kg/dia) referentes aos recipientes R1, R2 e R3, R4, respectivamente. Essas figuras mostram também as fases da Lua ocorridas no período, assim como localizam as segundas-feiras. Observa-se que as TE's variaram bastante durante o período das medidas e que dependem da localização do recipiente. As maiores TE's foram medidas em R1, localizado na superfície da piscina e acima do núcleo do reator, com uma TE média igual a 177,24 kg/dia. O recipiente R2, também localizado dentro da piscina, porém no compartimento de combustíveis usados, apresentou TE's menores que R1, com um valor médio igual a 76,95 kg/dia (~43%). A principal causa da diferença nas TE's deve-se à localização dos recipientes. O recipiente R1 foi colocado próximo ao duto de exaustão existente abaixo da ponte rolante que sustenta a treliça do núcleo, conforme mostra a Fig. 1. A função deste duto é remover o ar, arrastando os gases radioativos, como o Argônio, por exemplo. A renovação do ar é responsável pelas elevadas taxas de evaporação na região. As diferenças nas TE's entre R1 e R2 não foram provocadas por diferenças de temperaturas da água, pois estes se apresentam praticamente à mesma temperatura, que por sua vez acompanham a temperatura da água na superfície da piscina, conforme mostra a Fig. 3. Observou-se também que os valores de temperatura da água em R2 foram levemente superiores (~0,3°C) quando comparados aos valores medidos em R1. Essa diferença foi possivelmente provocada pela maior TE em R1, a qual provoca uma redução na temperatura na superfície devido ao processo de evaporação.

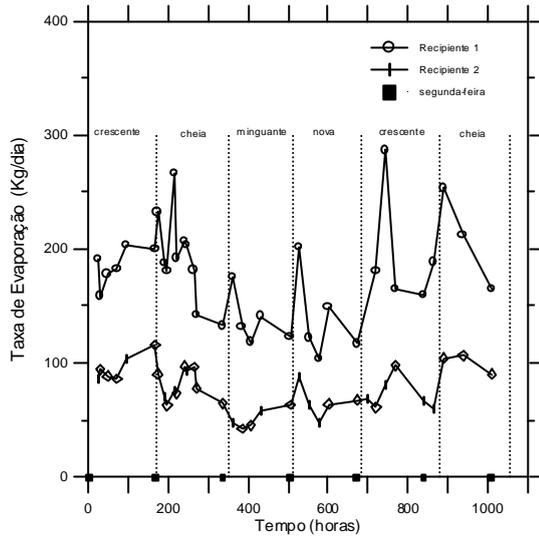


Figura 2. Taxa de Evaporação nos Recipientes R1 e R2.

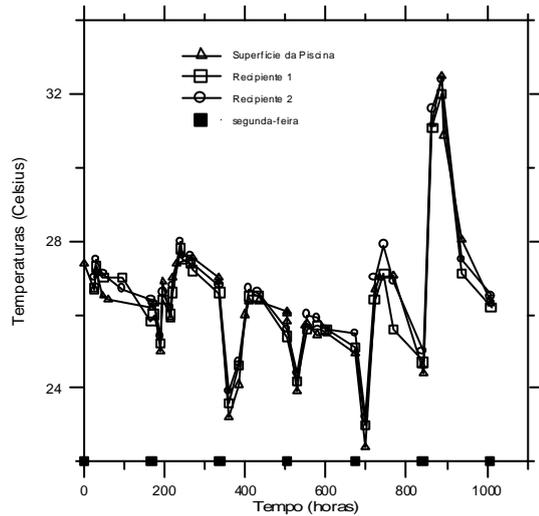


Figura 3. Temperatura da água na piscina e em R1 e R2.

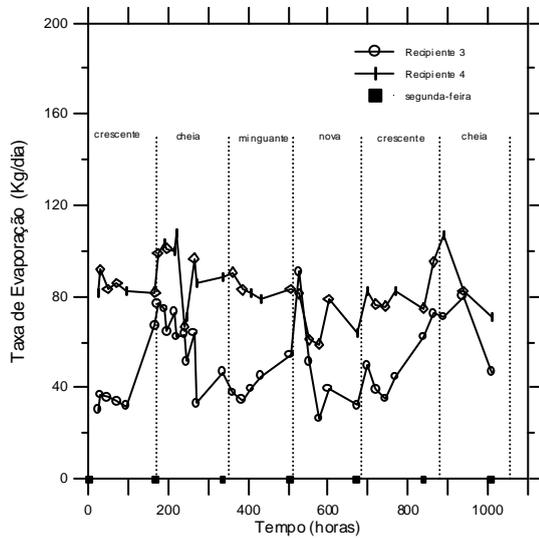


Figura 4. Taxa de Evaporação nos Recipientes R3 e R4.

A Fig. 5 mostra que a variação de temperatura da água nos recipientes R3 e R4 acompanha a variação de temperatura ambiente do saguão, medida próximo à Estação Meteorológica, sendo que os valores medidos em R3 foram em média levemente menores ( $\sim 0,65^{\circ}\text{C}$ ). Isso mostra que existem diferenças locais de temperatura no ambiente do saguão. Quanto às TE's em R3 e R4, neste último, observou-se um valor médio de 83,85 kg/dia durante o período, contra 51,38 kg/dia referente a R3, evidenciando novamente a influência da taxa de renovação do ar local na TE e não da temperatura.

Outro fato que evidência a influência da taxa de renovação do ar local na TE, pode ser observado na Fig. 6, quando são comparados as TE's em R2 e R4. Nota-se que, embora os valores de temperatura medidos em R2 sejam  $\sim 3,6^{\circ}\text{C}$  maiores em média que os correspondentes a R4, as TE's relativas a R2 (76,95 kg/dia) são menores que as de R4 (83,85 kg/dia), mostrando a fraca dependência da TE com a temperatura da água (na faixa de valores em questão) e a forte dependência da localização do recipiente.

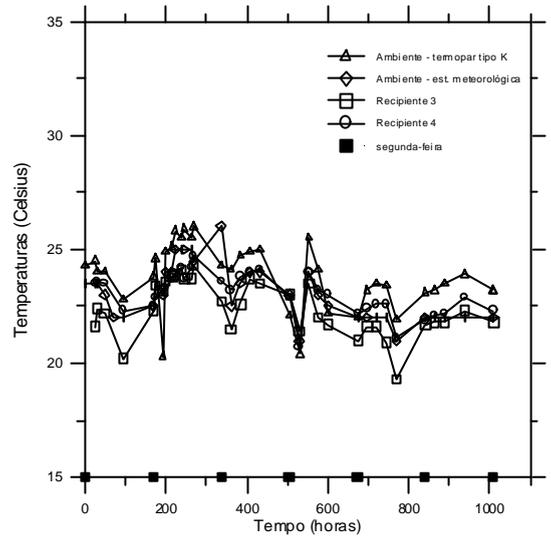


Figura 5. Temperatura no ambiente e em R3 e R4.

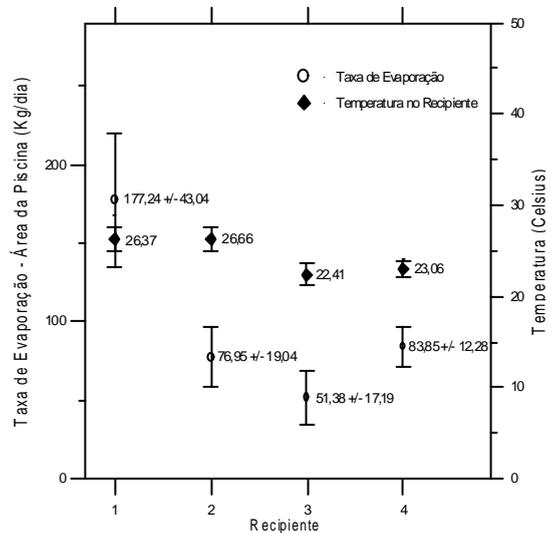


Figura 6. Valores médios de TE e Temperatura.

Para verificar se existe influência das mudanças de fase da Lua sobre as TE's, foram realizados cálculos de valores médios de acordo com as fases da Lua [crescente (12 pontos experimentais); cheia (13 pontos); minguante (5 pontos) e nova (5 pontos)]. As Fig. 7 e 8 apresentam os resultados obtidos, onde é possível observar que em todos os casos, mais acentuadamente em R1 e R2, as maiores TE's ocorrem durante os períodos de Lua crescente e cheia. Uma afirmação conclusiva da dependência das TE's com as fases da Lua, requer um controle criterioso das condições climáticas do experimento.

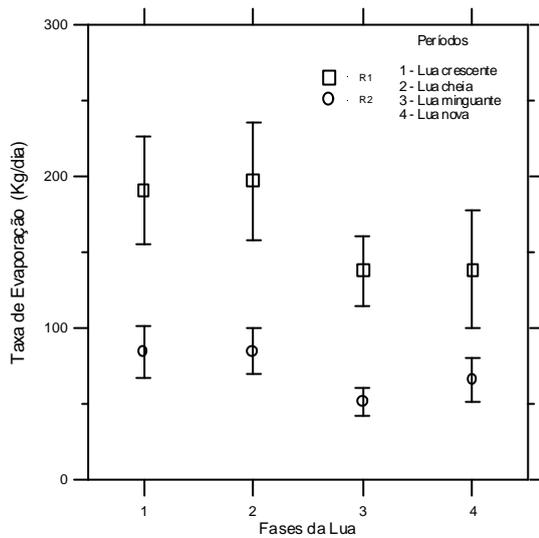


Figura 7. Taxa de Evaporação x fases da Lua – (R1 e R2).

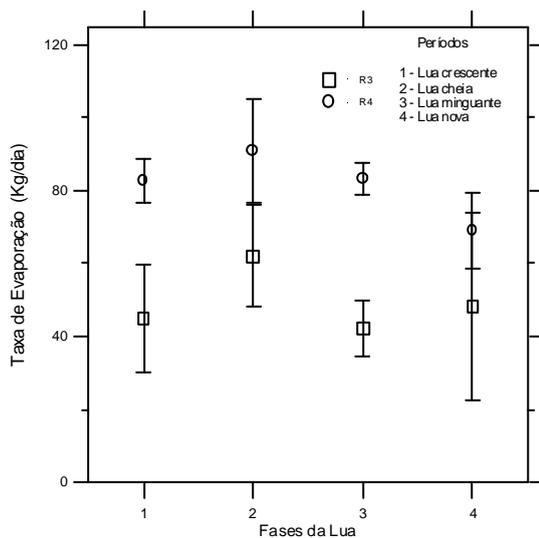


Figura 8. Taxa de Evaporação x fases da Lua – (R3 e R4).

Outro parâmetro medido nos experimentos foi a pressão atmosférica no saguão da piscina. A Fig. 9 mostra as TE's para R1 e R2, pressão barométrica e as fases da Lua. Observa-se uma variação cíclica da pressão barométrica, a qual tem relação com as fases da Lua, uma vez que estas

provocam alterações na atmosfera e hidrosfera terrestre. Porém, não visualizamos uma relação significativa da pressão barométrica com as TE's.

A Fig. 10, mostra as TE's, fases da Lua e Umidade Relativa (UR). Para melhor visualizar a influência da UR nas TE's, agrupamos os valores de UR em períodos. O critério usado para separação dos períodos foi o valor da UR. Valores de  $UR \leq 65\%$  foram agrupados nos períodos 1 e 3, enquanto que as  $UR > 65\%$  foram agrupadas nos períodos 2 e 4. A Fig. 11 mostra o comportamento das TE's e UR's nestes períodos. Nota-se que, quando as UR's são elevadas, as TE's são menores; e para UR's baixas obtêm-se TE's maiores, conforme esperado.

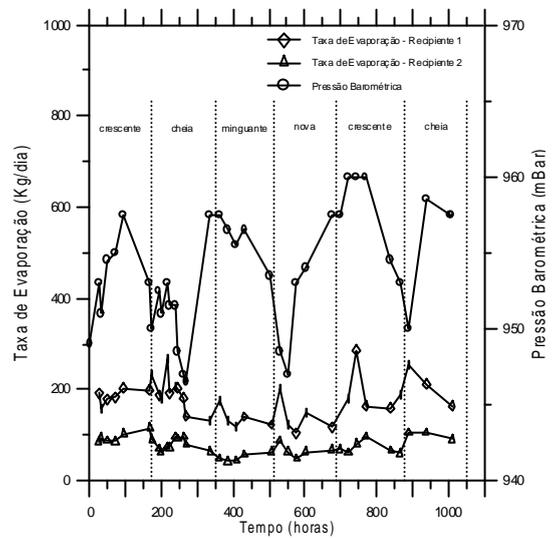


Figura 9. TE's em R1 e R2, e pressão barométrica.

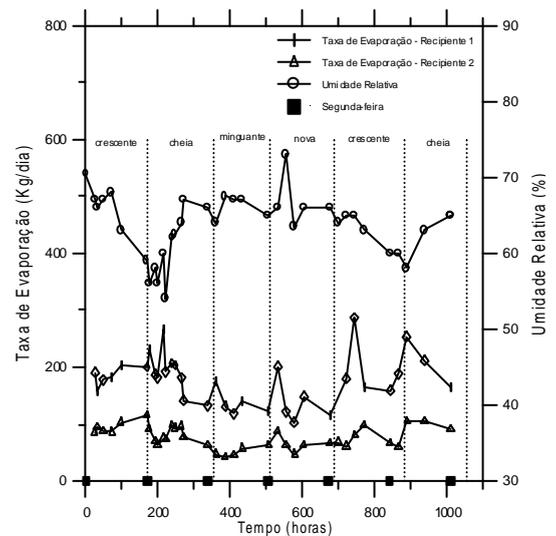


Figura 10. TE's em R1 e R2, e Umidade Relativa.

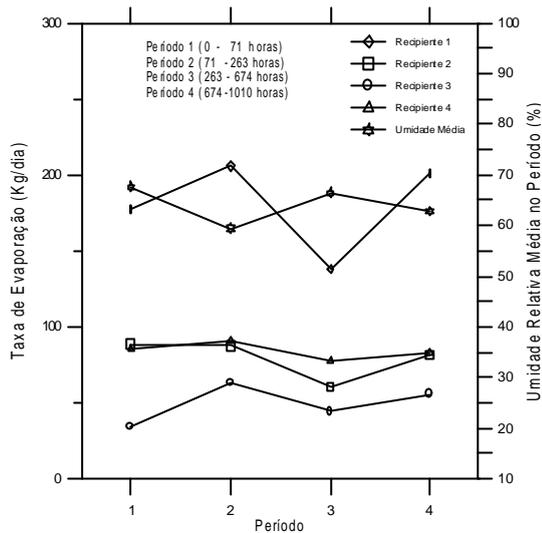


Figura 11. TE's e Umidade Relativa por períodos.

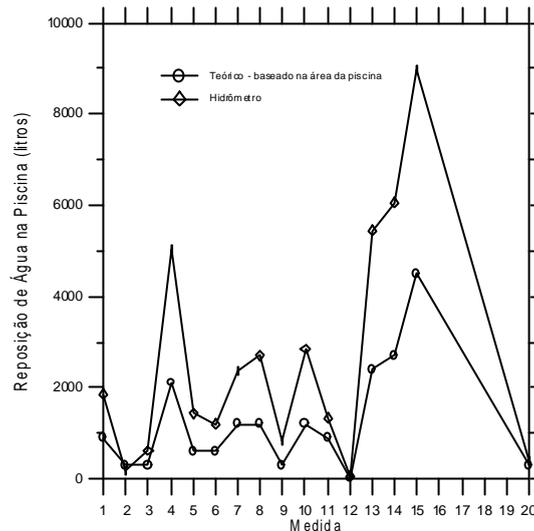


Figura 12. Reposição de água na piscina.

Paralelamente às medidas de TE's, foram acompanhadas as variações de nível da água da piscina através do indicador na sala de controle. Este indicador fornece valores em (m), com duas casas decimais (Ex: 8,85m). Considerando que a superfície da piscina possui uma área (calculada) aproximada de 30,93 m<sup>2</sup>, cada variação de nível igual a 1 cm corresponde a uma variação em volume de 0,31m<sup>3</sup>, ou 310 litros. Com isso foi possível comparar os volumes de água de reposição teórico (calculado com base na área da piscina) com os valores fornecidos pelo hidrômetro. A Fig. 12 mostra os resultados dessa comparação, onde pode-se notar que os valores referentes ao hidrômetro foram geralmente maiores, por um fator aproximado de 2.

A primeira providência foi verificar os valores fornecidos pelo hidrômetro. Para isso, foi realizada uma aferição do instrumento usando um frasco graduado de 3 litros. Observou-se que os valores medidos pelo instrumento estavam compatíveis com os valores medidos com o frasco. A diferença possivelmente está relacionada com vazamentos normais no circuito primário e com o medidor de nível, que envia sinais ao indicador da sala de controle, o qual não é apropriado para medidas mais precisas. O medidor foi especificado para operar numa faixa entre 0 e 10 mH<sub>2</sub>O. A indicação da medida com apenas duas casas decimais pode induzir a erros da ordem de 1 cm, portanto 310 litros.

Outro parâmetro que altera o nível na piscina é a temperatura da água. A Fig. 13 mostra a variação do nível na piscina com a temperatura média da água, na faixa de 20 a 40 °C. A curva, obtida a partir dos volumes específicos da água [1], obedece a Eq. (2). Uma variação de 2°C na temperatura média é responsável por uma variação (contração ou expansão) aproximada de 5 mm (155 litros).

$$\text{Nível} = 0,03415 T^2 + 0,633264 T + 8810,25 \quad (2)$$

onde, Nível em (mm) e T em (°C).

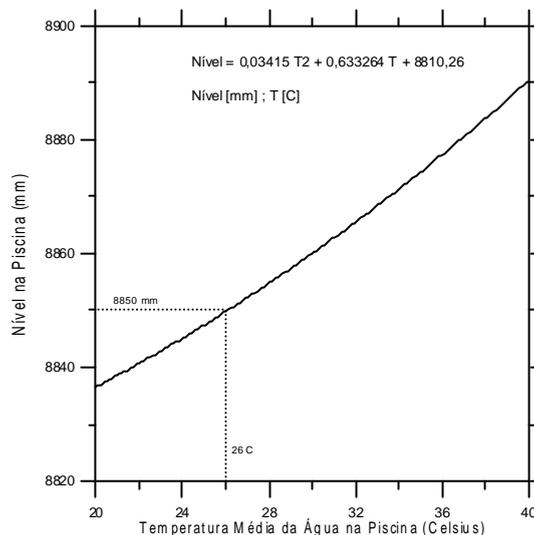


Figura 13. Variação do nível x temperatura média da água na piscina.

Durante o experimento foram registrados 3 valores de temperatura da água na piscina: na região sobre o núcleo; à meia altura da superfície; e, pouco abaixo da superfície, mostradas na Fig. 14. Admitindo que a temperatura nas demais regiões da piscina apresentem os mesmos valores e ainda assumindo como temperatura média na piscina a média destes 3 valores, e aplicando a Eq. (2), obtém-se o gráfico de variação de nível mostrado na Fig. 15. Nota-se, que os menores valores de nível ocorrem próximos às segundas-feiras, provocados pelo resfriamento da água da piscina durante o fim de semana quando o reator está desligado. A maior variação de nível por temperatura observada foi da ordem de 20 mm correspondente a ~620 litros, e o valor médio da variação de nível por temperatura no período entre o desligamento do reator (quarta-feira) e o início da próxima operação (segunda-feira) foi da ordem de

10mm. Observa-se também um comportamento cíclico da temperatura, que acompanha como esperado, a programação de operação do reator. Na última semana do experimento foram registrados os maiores valores de temperatura da água da piscina, decorrentes da operação do reator com o ventilador da torre de resfriamento desligado.

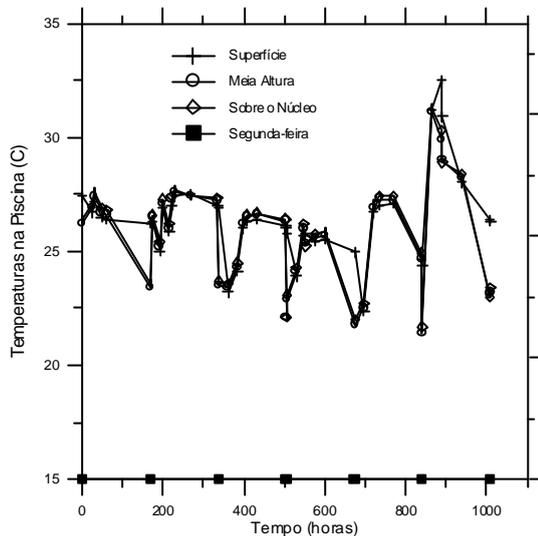


Figura 14. Temperatura da água na piscina durante o experimento.

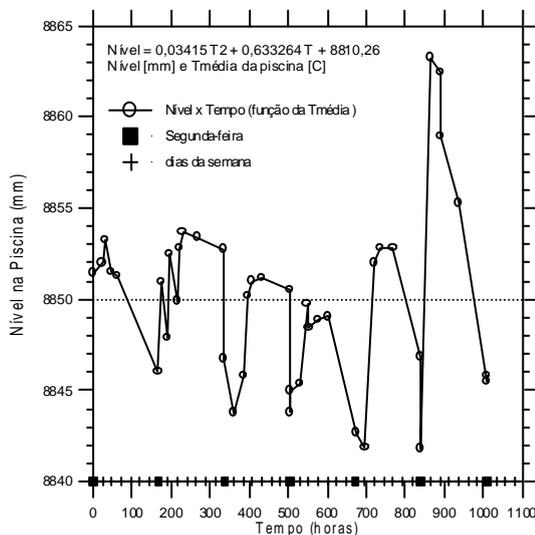


Figura 15. Variação de nível durante o experimento devido a temperatura da água na piscina.

#### IV. CONCLUSÕES

Os resultados mostram que as TE's são fortemente dependentes da taxa de renovação de ar local, e portanto variam de acordo com a localização dos recipientes. A TE média entre os 4 recipientes foi igual a 97,36 kg/dia (~97 litros), o que provocaria uma redução de nível na piscina de

3,15 mm/dia (~9,5 mm durante um fim de semana). Se toda a área da superfície da piscina estivesse sujeita à TE média referente a R1 (177,24 kg/dia), então a variação de nível seria de 5,72 mm/dia e 17,16 mm durante um fim de semana. As medidas experimentais mostraram também que a temperatura da água nos recipientes não está fortemente relacionada com as TE's.

A variação da temperatura média na piscina pode provocar variações de nível de até 20 mm, como mostraram os resultados. Convém lembrar que estes resultados de variação de nível foram obtidos a partir de 3 valores de temperatura medidos na região da piscina onde fica o núcleo do reator.

Somando-se os efeitos máximos provocados pela evaporação (~17mm) e pela diminuição de temperatura (~20mm) teríamos uma redução máxima no nível da piscina durante um fim de semana da ordem de 37 mm (~1150 litros), portanto reduções de nível muito acima deste valor podem indicar a existência de vazamentos. Convém lembrar que a parcela de redução de nível causada pela diminuição da temperatura é recuperada com o aquecimento da água quando da operação do reator.

#### REFERÊNCIAS

[1] Schmidt, E., "Properties of Water and Steam in SI-Units", edited by Ulrich Grigull, 1982.

#### Abstract

The surface water evaporation in pool type reactors affects the ventilation system operation and the ambient conditions and dose rates in the operation room. This paper shows the results of evaporation rate experiment in the pool of IEA-R1 research reactor. The experiment is based on the demineralized water mass variation inside cylindrical metallic recipients during a time interval. Other parameters were measured, such as: barometric pressure, relative humidity, environmental temperature, water temperature inside the recipients and water temperature in the reactor pool. The pool level variation due to water contraction/expansion was calculated.