

1 - MOTIVO DA PERÍCIA

O primeiro motivo da presente perícia técnica é a verificação de existência de perda água em operação normal do sistema de recirculação do lago artificial situado nos fundos do terreno da residência situada na rua , de propriedade de .

Constatada a perda de água, os objetivos subseqüentes são:

- determinação da quantidade de água perdida pelo sistema;
- cálculo da quantidade de água evaporada;
- comparação entre os dois resultados anteriores visando levantar as causas da perda de água do sistema.

A perícia visa fornecer elementos técnicos objetivos, racionais e lógicos, fundamentados em princípios físicos e matemáticos e em aplicações de engenharia, como auxílio à apuração da verdade dos fatos.

2 - FONTES DE DADOS

O signatário baseou suas análises físicas e matemáticas em dados objetivos obtidos das seguintes fontes:

- a) Exame do local realizado em 13 de setembro de 2006, entre 08h45 e 18h00, para realização de medições, verificações e tomadas fotográficas no sistema lago-canais-cisterna.
- b) Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) de números NBR9816, NBR9818, NBR9819, NBR10818, NBR10819, NBR10339, NBR11238 e NBR11239.
- c) Base de dados meteorológicos do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, especificamente, da estação automática de Curitiba.
- d) Método e ábaco de Penman para cálculo de taxa de evaporação.



e) ASHRAE Handbook (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers): fórmula de Carrier-Smith para cálculo de taxa de evaporação.

3 – EXAME DO LOCAL

Dias antes do exame do local, o signatário realizou uma visita técnica ao imóvel localizado na rua , objetivando verificar a necessidade de uma perícia técnica, bem como avaliar a extensão da análise e os equipamentos necessários para a mesma. As informações obtidas apontaram para a necessidade da realização de uma perícia no sistema lago-canais-cisterna localizado nos fundos do terreno.

Em 13 de setembro de 2006, a partir das 08h45, o signatário realizou o exame do local visando obter medidas geométricas, verificar in loco o funcionamento da instalação hidráulica e fotografar e filmar seus equipamentos e tubulações.

3.1 – Medições Geométricas

Foram realizadas medições geométricas no lago, nos canais e na cisterna, produzindo-se assim dados para o desenho da planta do local, mostrada nas figuras a seguir.

Todo o sistema tem pequenas irregularidades geométricas que foram corrigidas no aplicativo de computação gráfica AutoCAD, mantendo as áreas das partes do sistema. Por exemplo, o canal 2 possui largura e profundidade variáveis. Determinaram-se valores médios que resultaram: largura média de 34 cm e profundidade média de 10 cm.

Os canais contêm cascalho (“pedra de rio” ou seixo rolado) com pedras de diâmetro variável. Determinou-se o diâmetro médio das pedras, resultando uma forma esférica média com raio de 3,4 cm. Na seção transversal média do canal, cabem cinco destas pedras médias, como mostrado na figura a seguir:

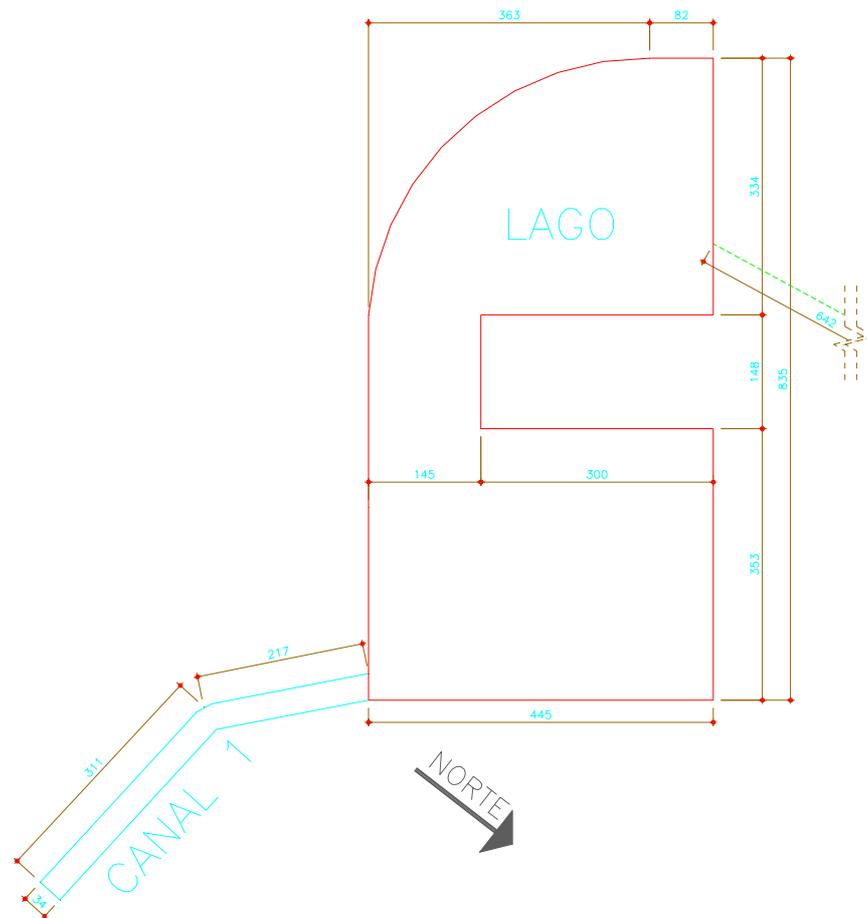


Figura 3 : planta em detalhe do lago e do canal 1 (a linha verde representa um tubo de PVC com bitola nominal de 100 mm)

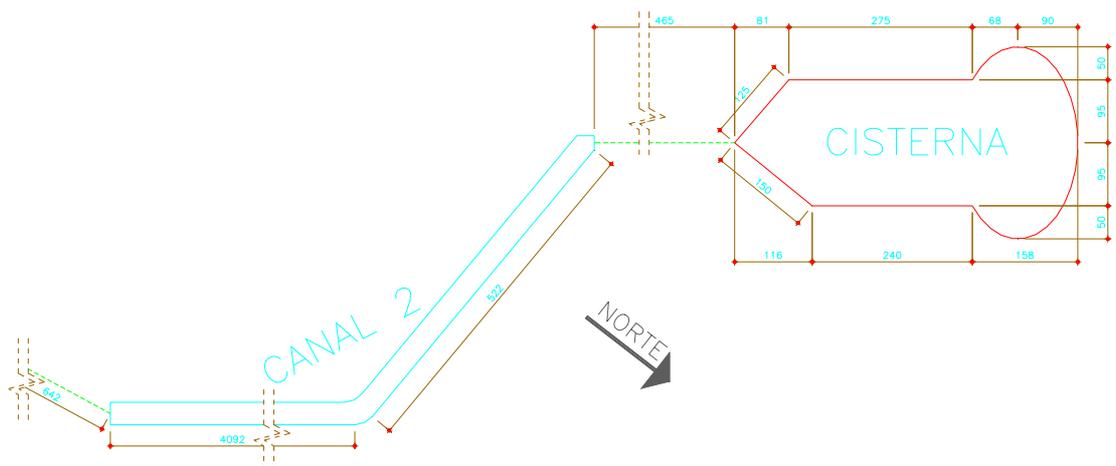


Figura 4 : planta em detalhe da cisterna e do canal 2 (as linhas verdes representam tubos de PVC com bitola nominal de 100 mm)

As áreas obtidas foram:

- lago (superior) = 29,92 m² ;
- cisterna (inferior) = 9,59 m² ;
- canais (1 e 2 somados) = 17,52 m² .

A área total passível de sofrer evaporação é de 57,03 m² .

3.2 – Outras Medições

Para a verificação do volume de água perdido pelo sistema e para a avaliação do volume de água evaporado, foram realizadas diversas medições de níveis, temperatura e velocidades no dia 13 de setembro de 2006, como descrito a seguir.

Às 8h54 o ar no local estava parado (sem vento) e o céu não apresentava nuvens. A temperatura da água na cisterna era de 16,8°C. A temperatura do ar era de 15°C. A profundidade do tubo de referência na cisterna era de 50,6 cm na posição indicada nas tomadas fotográficas a seguir:



Figura 5: tomada fotográfica da cisterna mostrando a posição do tubo de referência para medição do nível da água (seta vermelha).



Figura 6: tomada fotográfica mostrando a posição do tubo de referência no fundo da cisterna para medição do nível da água (seta vermelha).



Figura 7: tomada fotográfica mostrando em detalhe a medida de 50,6 cm na cisterna.

Ainda às 8h54, a bomba do sistema de recirculação de água encontrava-se desligada e os canais estavam completamente secos. A profundidade do ponto de referência no lago (superior) era de 16,5 cm na posição indicada nas tomadas fotográficas a seguir:



Figura 8: tomada fotográfica do lago (superior) mostrando a posição de referência para medição do nível da água (seta vermelha).

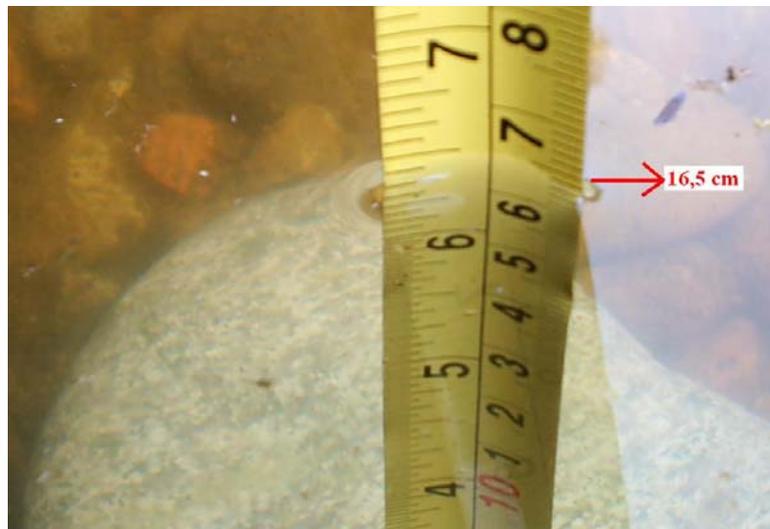


Figura 9: tomada fotográfica mostrando em detalhe a medida de 16,5 cm (profundidade de referência no lago).

Às 9h30 foi ligado o conjunto moto-bomba submerso na cisterna para iniciar a circulação de água no sistema. A saída de água da cisterna fez sua profundidade de referência diminuir, como esperado. A entrada de água no lago fez sua profundidade de referência aumentar, como esperado.

Às 10h24 o escoamento pelo canal 2 (entre o lago e a cisterna) atingiu o regime estacionário, situação em que todas as profundidades passaram a ser constantes. A temperatura do ar era de 21,5°C. A temperatura da água na cisterna era de 17,5°C. A velocidade do vento era próxima de zero. A velocidade do escoamento de água no canal 2 foi calculada dividindo os deslocamentos de uma partícula leve pelos intervalos de tempo correspondentes, resultando uma média de

0,223 m/s. A profundidade do ponto de referência no lago (superior) era de 20,3 cm como pode ser visto na figura a seguir:



Figura 10: tomada fotográfica mostrando em detalhe a medida de 20,3 cm (profundidade de referência no lago), para regime de escoamento estacionário.

Às 14h40 a temperatura do ar era de 24,7°C. A temperatura da água na cisterna era de 20,7°C. Havia uma brisa leve com velocidade menor que 1 km/h ou 0,278 m/s. A profundidade de referência no lago permanecia igual a 20,3 cm, como esperado.

Às 14h50 foi desligado o conjunto moto-bomba, cessando a entrada de água no lago. Continuou ocorrendo a saída de água do lago através do canal 2 e chegando até a cisterna.

Às 16h41 cessou a saída de água do lago, no qual a profundidade de referência voltou ao valor inicial de 16,5 cm, como esperado. Continuou um escoamento residual ao longo do canal 2, descarregando na cisterna.

Às 17h10 era mínimo o escoamento residual ao longo do canal 2: havia um mínimo retorno de água à cisterna. A profundidade de referência na cisterna era de 48,1 cm, como pode ser observado na figura a seguir:



Figura 11: tomada fotográfica mostrando em detalhe a medida de 48,1 cm (profundidade de referência na cisterna).

Às 17h15 cessou o escoamento residual ao longo do canal 2: não havia mais retorno de água à cisterna. A profundidade de referência no lago era de 16,5 cm, igual ao valor medido no início do experimento (às 8h54), como esperado. **A profundidade de referência na cisterna era de 48,3 cm, menor que o valor medido de 50,6 cm no início do experimento (às 8h54).**

4 – PERDAS DE ÁGUA DO SISTEMA

Entre o início e o final do exame, houve uma redução da profundidade de referência da cisterna, de 50,6 cm para 48 cm, que corresponde a uma redução de volume de água na cisterna. Esta redução de volume pode ser equivalente à soma do volume retido em filmes aderidos nas pedras e nos canais, com o volume de água evaporado e com o volume de possíveis vazamentos. Cada uma destas variações de volume de água é calculada a seguir.

$$A_f = 14801 \cdot 51,41 = 760919 \text{ cm}^2 .$$

O volume de filme de água aderido, com espessura média de 0,5 mm é

$$V_f = 760919 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,038 \text{ m}^3 = 38 \text{ litros}$$

Como o volume inicial de água nos canais era nulo (estavam secos), o volume de filme de água aderido é igual à variação de volume de água nos canais, isto é:

$$\Delta V_{Ca} = 38 - 0$$

$$\Delta V_{Ca} = \mathbf{38 \text{ litros}}$$

Esta variação é positiva porque houve aumento de volume de água nos canais.

4.3 – Variação de Volume de Água na Cisterna

No período entre 8h54 e 11h15, a profundidade de referência da cisterna sofreu uma variação de $48,3 - 50,6 = -2,3 \text{ cm} = -0,023 \text{ m}$. O sinal negativo na variação indica uma redução da profundidade. A variação de volume de água na cisterna, que tem área de $9,59 \text{ m}^2$ é

$$\Delta V_{Ci} = -0,023 \cdot 9,59 = -0,221 \text{ m}^3$$

$$\Delta V_{Ci} = \mathbf{-221 \text{ litros}}$$

Esta variação é negativa porque houve redução de volume de água na cisterna.

4.4 – Perda de Água por Evaporação

Para calcular a quantidade de água evaporada do lago, dos canais e da cisterna durante o período do exame, foram utilizados dois métodos: o método de Penman e a fórmula Carrier-Smith.

- radiação incidente na atmosfera $R_a = 761 \text{ cal/cm}^2/\text{dia}$ de acordo com a tabela a seguir, na latitude 26°S (aproximada, para Curitiba) em setembro:

Lat Sul	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0°	850	879	885	856	808	785	797	832	867	873	856	832
8	909	909	879	814	738	708	720	779	856	897	909	903
14	950	926	861	773	679	637	661	738	838	903	938	944
18	968	932	850	743	637	590	620	702	814	903	956	974
20	979	932	838	720	614	566	596	684	802	897	962	985
22	991	932	826	702	590	543	572	661	791	897	968	991
24	991	932	814	684	566	519	549	643	779	897	968	1003
26	997	926	802	661	543	496	519	625	761	891	974	1015
28	1003	920	791	643	519	460	496	602	743	885	979	1021
32	1009	909	767	596	472	407	448	555	714	867	979	1033
40	1003	879	690	507	360	295	336	460	631	826	968	1044

Fonte: Engenharia Hidrológica - ABRH

- velocidade do vento a 2 m do solo adotada, a favor da segurança para resultar em evaporação maior, $u_2 \leq 1 \text{ km/h} = 0,278 \text{ m/s}$ (o valor real é próximo de zero porque o local é abrigado do vento, em uma depressão entre um talude e edificações em um lado e muro alto e árvores no outro lado);

- umidade relativa do ar média entre 0h00 e 24h00 do dia do exame $h = 59,17 \% = 0,5917$ (dados obtidos do INMET, Instituto Nacional de Meteorologia – vide item 4.4.3).

Introduzidos os dados anteriores no ábaco de Penman, resultaram $E_1 = -3,4 \text{ mm}$, $E_2 = 4,2 \text{ mm}$, $E_3 = 2,0 \text{ mm}$ e $E_4 = 0,5 \text{ mm}$.

A evaporação em um dia é

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 = -3,4 + 4,2 + 2,0 + 0,5 = 3,3 \text{ mm}$$

A taxa de evaporação média por hora é

$$E_h = 3,3 \text{ mm} / 24 \text{ h} = 0,1375 \text{ mm} / \text{h} = 0,1375 \cdot 10^{-3} \text{ m} / \text{h}.$$

Durante as 8,35 horas de observação do exame, o volume evaporado da superfície total de $57,03 \text{ m}^2$ é

$$V_{ev}' = 0,1375 \cdot 10^{-3} \cdot 8,35 \cdot 57,03 = 0,065 \text{ m}^3$$

$$V_{ev}' = \mathbf{65 \text{ litros}}.$$

4.4.2 – Fórmula Carrier-Smith

A American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE; site na Internet: <http://www.ashrae.org>) adota em seu Handbook a clássica fórmula de Willis H. Carrier para determinação da evaporação em lagos e piscinas:

$$w_p = \frac{A}{Y}(p_w - p_a)(0.089 + 0.0782 V)$$

onde:

w_p = evaporation of water, kg/s
 A = area of pool surface, m²
 V = air velocity over water surface, m/s
 Y = latent heat required to change water to vapor at surface water temperature, kJ/kg
 p_a = saturation pressure at room air dew point, kPa
 p_w = saturation vapor pressure taken at surface water temperature, kPa

The units for the constant 0.089 are W/(m²·Pa). The units for the constant 0.0782 are W·s/(m³·Pa).

No mesmo Handbook é citado um melhoramento da fórmula clássica, realizado por Charles C. Smith e colaboradores em 1993, após diversos estudos experimentais. Esta nova fórmula passou a ser adotada após sua publicação em periódico da ASHRAE.

Rates of Evaporation from Swimming Pools in Active Use

Charles C. Smith, P.E.
Member ASHRAE

George O.G. Löf, D.Sc., P.E.
Fellow ASHRAE

Randy W. Jones, P.E.

ABSTRACT

The rates of water evaporation from indoor and outdoor swimming pools in active use have been measured and compared with evaporation rates from unoccupied pools and

ification system. Heat losses from outdoor pools are also largely by evaporation, but radiation and convection to the surroundings are typically 30% to 40% of the total loss.

Prior to the current investigations, there have been no

Charles Smith is a research scientist and George Löf is professor emeritus and founding director of the Colorado State University Solar Energy Applications Laboratory, Fort Collins, Colo. Randy W. Jones is a federal energy program specialist with the U.S. Department of Energy, Golden, Colo.

Figura 12: Extrato do artigo (em ASHRAE 4146) que propôs a nova fórmula Carrier-Smith

Hora	t_w	p_w	t_a	p_a	W
9h00	16,84	0,566	14,35	0,483	0,040
10h00	17,30	0,583	14,90	0,500	0,040
11h00	17,81	0,602	14,75	0,495	0,051
12h00	18,39	0,624	13,55	0,458	0,079
13h00	19,02	0,649	11,60	0,403	0,117
14h00	19,73	0,679	8,7	0,332	0,166
15h00	20,52	0,713	8,4	0,325	0,185
16h00	21,39	0,752	8,5	0,328	0,202
17h00	22,36	0,798	8,4	0,325	0,226

Como o exame do local iniciou-se às 8h54, isto é 6 min ou 1/10h antes das 9h00, a taxa correspondente às 9h00 será multiplicada por $(1 + 1/10)$. Como o exame do local terminou às 17h15, isto é 15 min ou 1/4h após as 17h00, a taxa correspondente às 17h00 será multiplicada por $(1/4)$. A taxa total de evaporação, em mm/h, ao longo do período do exame é:

$$W_t = 0,040 \cdot (1 + 1/10) + 0,040 + 0,051 + 0,079 + 0,117 + 0,166 + 0,185 + 0,202 + 0,226 \cdot 1/4$$

$$W_t = 0,9405 \text{ mm/h} = 0,9405 \cdot 10^{-3} \text{ m/h}$$

Durante o exame, o volume evaporado da superfície total de 57,03 m² é

$$V_{ev}'' = 0,9405 \cdot 10^{-3} \cdot 57,03 = 0,054 \text{ m}^3$$

$$V_{ev}'' = \mathbf{54 \text{ litros .}}$$

A favor da segurança, será adotado o volume apontado pelo método de Penman (65 litros), por ser maior, o que corresponderá a um eventual vazamento menor.

Então, o volume de água evaporado durante o exame é de 65 litros.

4.4.3 – Dados Meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados nos itens anteriores foram obtidos diretamente do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, com coleta da estação automática A807 de . Os dados são referidos ao horário do Meridiano de Greenwich (UTC, Universal Time Coordinate) equivalente a 3 horas a mais que a hora de Brasília (igual ao horário de). Por exemplo, 12h00 UTC = 9h00 de Brasília.

A figura a seguir mostra uma das telas de dados acessadas:

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

INMET INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA

Consulta Dados da Estação Automática: Fechar

Observação: Estes são dados brutos e sem consistência com o único objetivo de deixar os dados disponíveis. Uma nova versão apresentará os dados depois de verificação de consistência.

Data Inicial: 13/09/2006 Data Final: 21/09/2006

Data	Hora UTC	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pto. Orvalho (°C)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação (kJm ²)	Chuva (mm)
		Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir.	Raj.		
13/09/2006	00	23.1	24.5	23.1	55	55	52	13.6	14.1	13.6	913.2	913.2	912.8	0.1	30°	2.2	-4	0.0
13/09/2006	01	22.4	23.2	22.4	59	59	55	14.1	14.1	13.6	913.4	913.4	913.2	1.4	27°	2.4	-4	0.0
13/09/2006	02	21.5	22.4	21.5	63	63	59	14.2	14.3	14.1	913.5	913.6	913.4	1.6	58°	2.3	-4	0.0
13/09/2006	03	20.7	21.5	20.7	67	67	63	14.4	14.4	14.2	913.5	913.6	913.5	1.4	62°	2.3	-4	0.0
13/09/2006	04	19.9	20.7	19.8	69	70	67	14.1	14.4	14.1	913.3	913.6	913.3	0.4	16°	2.0	-4	0.0
13/09/2006	05	19.4	20.1	19.4	72	72	68	14.1	14.3	13.8	913.1	913.3	913.1	0.0	115°	1.8	-4	0.0
13/09/2006	06	19.1	19.6	19.1	73	73	70	14.1	14.3	14.0	912.7	913.1	912.7	0.0	77°	2.0	-4	0.0
13/09/2006	07	18.2	19.1	18.2	77	77	73	14.2	14.3	14.0	912.5	912.7	912.5	1.6	91°	2.3	-4	0.0
13/09/2006	08	17.7	18.2	17.5	77	79	77	13.6	14.2	13.6	912.6	912.7	912.5	0.9	41°	2.3	-4	0.0

Figura 14: Tela com alguns dados meteorológicos do INMET

Os valores de umidade relativa do ar, temperatura e ponto de orvalho utilizados nos cálculos são as médias aritméticas entre valores máximo e mínimo tabelados em cada hora (Máx. e Mín.).

4.5 – Balanço das Variações de Volume de Água (Vazamento)

No item anterior, foram calculadas:

- a variação de volume de água no lago $\Delta V_L = 0$;
- a variação de volume de água nos canais $\Delta V_{Ca} = 38$ litros (volume de filme de água aderido);
- a variação de volume de água na cisterna $\Delta V_{Ci} = - 221$ litros ;
- a variação de volume de água máxima por evaporação $V_{ev}' = 65$ litros .

A variação de volume total (soma das quatro variações de volume listadas anteriormente) deveria resultar zero se não houvesse vazamento, mas resultou

$$\Delta V = 0 + 38 - 221 + 65 = - 118 \text{ litros}$$

O sinal negativo na variação de volume total implica em uma perda de água pelo sistema.

Como não há outras variações de volume além das calculadas e medidas, o sistema perdeu, durante o exame, um volume de água de pelo menos 118 litros devido a um ou mais vazamentos.

Então, o volume de água perdido por vazamento(s) durante o exame é de 118 litros.

Os usuários relataram que a perda de água é mais perceptível quando o sistema de recirculação da água está em funcionamento, isto é, quando a água é bombeada da cisterna para o lago e desce por gravidade, através dos canais, de volta à cisterna. Então, a origem de vazamentos deve estar relacionada com o sistema hidráulico de recirculação. Em outras palavras, vazamentos devem ser encontrados em uma ou mais das seguintes partes do sistema:

- tubulação entre o conjunto moto-bomba e o lago;
- conexões (curvas, joelhos etc.) desta tubulação;
- tubulação ou conexões entre o lago e o canal 2 e entre o canal 2 e a cisterna.

Os usuários relataram que já refizeram a impermeabilização dos canais, nos quais agora é improvável que ainda existam vazamentos.

5 - CONCLUSÕES

Frente a todos os dados levantados e expostos até aqui, feitas as inter-relações entre as informações objetivas coletadas, através do raciocínio lógico e à luz dos conhecimentos matemáticos e físicos aplicados em engenharia, o parecer deste perito é o de que o sistema lago-canais-cisterna examinado apresentou, durante o período do exame (8,35 horas), as seguintes condições:

- a) Foi nula a variação de volume de água no lago.

- b) Houve retenção de um volume de água de aproximadamente 38 litros nos canais (filme de água aderido nas pedras e no fundo).

- c) Houve redução de 221 litros no volume de água na cisterna.

- d) O volume máximo de água evaporado foi de 65 litros.

- e) Os vazamentos produziram uma perda de pelo menos 118 litros de água.

- f) O lago não deve ter vazamento já que o sistema de recirculação não havia sido utilizado nos cinco dias anteriores ao dia do exame e não houve variação de seu nível de água entre o início e o final do exame.

- g) Os vazamentos devem ser encontrados em uma ou mais das seguintes partes do sistema:
 - tubulação entre o conjunto moto-bomba e o lago;
 - conexões (curvas, joelhos etc.) desta tubulação;
 - tubulação ou conexões entre o lago e o canal 2 e entre o canal 2 e a cisterna.



h) É recomendável executar uma verificação minuciosa das partes citadas na conclusão anterior, visando detectar as posições dos vazamentos e substituir quaisquer peças danificadas ou mal instaladas.

São estas as declarações que tem este Perito a fazer em sua consciência, aqui lavradas em 25 (vinte e cinco) folhas de papel numeradas seqüencialmente (incluindo as duas últimas folhas, referentes ao currículo resumido).

Curitiba, 23 de outubro de 2006.

MOACYR MOLINARI
perito, engenheiro civil

Obs.: na seqüência, um breve currículo do perito