

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**ESTUDO DO APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR PARA  
AQUECIMENTO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES DE  
BAIXA RENDA**

**Ítalo Alberto Gatica Ríspoli**

**Campinas**

**2001**



**UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**ESTUDO DO APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR PARA  
AQUECIMENTO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES DE  
BAIXA RENDA**

**Ítalo Alberto Gatica Ríscoli**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marina Sangoi de Oliveira Ilha**

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração em Edificações.

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação.

03/09/01

Prof. Dr. *Marina Sangoi de Oliveira Ilha*  
Matrícula: 25222-1

Campinas, SP  
2001

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

G225e Gatica Ríspoli, Ítalo Alberto.  
Estudo do aproveitamento da energia solar para  
aquecimento de água em edificações unifamiliares de  
baixa renda / Ítalo Alberto Gatica Ríspoli. -- Campinas,  
SP: [s.n.], 2001.

Orientador: Marina Sangoi de Oliveira Ilha.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil

1. Aquecedores solares de água. 2. Aquecimento solar.  
3. Energia solar. I. Ilha, Marina Sangoi de Oliveira. II.  
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Engenharia Civil. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**ESTUDO DO APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR PARA  
AQUECIMENTO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES DE  
BAIXA RENDA**

**Ítalo Alberto Gatica Rísoli**

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

*Marina S de Oliveira Ilha*  
**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marina Sangoi de Oliveira Ilha**  
**Orientadora – FEC UNICAMP**

**Prof. Dr. Simar Vieira Amorim**  
**Universidade Federal de São Carlos**

*CA Mariotoni*  
**Prof. Dr. Carlos Alberto Mariotoni**  
**FEC UNICAMP**

Campinas, 22 de Fevereiro de 2001

Aos meus pais, à Marineia, à Júlia , à Laura e ao Iván

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por todas as coisas,

Aos meus pais pela vida e por tudo que me deram;

A minha esposa Marineia pela paciência, carinho e incansável dedicação em cuidar da família;

Às minhas filhas Júlia e Laura pela felicidade que me proporcionam o tempo todo;

A minha orientadora Dra. Marina Sangoi de Oliveira Ilha pelo apoio e paciência nas correções;

Ao meu irmão Iván que distraiu minhas filhas durante todos os finais de semana que me trancava no quarto na frente do micro, para realizar este trabalho;

Ao amigo Dr. Winston Melvin, pela amizade, pelas piadas, pelas inúmeras consultas e remédios gratuitos quando me obrigou a cuidar da saúde;

Ao amigo Dr. Carlos Alberto Mariotoni, que me entusiasmou para a área de energia, reconheceu meu trabalho e minhas dificuldades pessoais;

Ao Centro Universitário UNISAL de Americana SP que me concedeu alguns equipamentos e técnicos para efetuar medições;

Ao amigo Carlos Alberto Dias Medon Ferraz da UNISAL, que me ofereceu sempre ajuda na UNISAL

Ao amigo Ronaldo da Silva da UNISAL, sempre disposto a medir qualquer coisa;

Ao amigo Mário Orlando Pertile Guimarães, pela genialidade em transformar componentes baratos em aparelhos sofisticados;

Ao técnico em Mecatrônica, Bruno Sardelli e aos demais colegas da equipe do "Gerenciamento da Demanda" pelo trabalho de brilhante sucesso e reprodução junto à Feira do Conhecimento 2000 realizada no Dom Bosco de Americana SP, baseado integralmente no meu trabalho.

Ao amigo Daniel Turra, que se colocou a disposição nas horas de emergência.

Aos amigos Osvaldo, Luciana e Solange pela amizade, lealdade e convivência na UNICAMP;

Ao meu sócio Ozeias Rocha de Lima, que conduziu da melhor maneira possível o escritório de engenharia durante minha ausência;

À amiga Zenaide Nunes, pela amizade e trabalho na contabilidade do escritório.

À amiga Márcia Freitas, pela força dada no escritório de engenharia durante minha ausência;

Ao Francisco Aragão Cortez do Dom Bosco de Americana, pela ajuda, pela confiança depositada, compreensão e lealdade.

À empresa Kintamar Plásticos Ltda. que me concedeu gratuitamente 100 m de mangueira de polietileno para a realização deste trabalho;

Ao amigo Giacometi, do Depósito do Alemão de Americana SP, que me concedeu gratuitamente o espaço físico para as montagens e fez um parcelamento simpático nos materiais utilizados nas experiências;

À Indústria de aquecedores solares Soletrol Ltda. pela concessão de um coletor em baixo custo para experimentação do protótipo nº 3;

Ao Ede das Calhas União de Americana SP. que concedeu gratuitamente as chapas galvanizadas para a confecção dos coletores experimentados no protótipo 4 e 5;

Ao Alemão Torina, que me deu a madeira para fazer os cavaletes;

Ao pedreiro Sr. Francisco Rodrigues que ajudou na montagem da forma do protótipo nº 1;

A muitos outros, que de forma direta ou indireta me ajudaram, meus sinceros agradecimentos;

## SUMÁRIO

Agradecimentos.....	ix
Sumário.....	xv
Lista de Tabelas.....	xxi
Lista de Figuras.....	xxiii
Lista de Abreviaturas.....	xxv
Lista de Símbolos.....	xxxix
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>7</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	7
3.2 O CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO.....	9
3.3 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ENERGIA SOLAR .....	16
3.4 SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA COM APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR.....	36
3.4.1 COMPOSIÇÃO BÁSICA E DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS DOS COLETORES E RESERVATÓRIOS.....	36
3.4.2 TUBULAÇÕES DO SISTEMA PREDIAL DE ÁGUA QUENTE.....	48
3.4.3 SISTEMAS COMPLEMENTARES AO AQUECIMENTO SOLAR.....	51
3.4.3.1 AQUECEDORES CENTRALIZADOS A ELETRICIDADE E GÁS COMBUSTÍVEL .....	52
3.4.3.2 CHUVEIRO ELÉTRICO.....	56

3.5	RACIONALIZAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR.....	60
3.6	CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA AQUECIDA .....	88
3.7	COMENTÁRIOS FINAIS.....	91
<b>4</b>	<b>APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR PARA AQUECIMENTO DE</b>	
	<b>ÁGUA EM EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES DE BAIXA RENDA .....</b>	<b>93</b>
4.1	DESCRIÇÃO GLOBAL DO SISTEMA DE AQUECIMENTO EM	
	BAIXO CUSTO.....	93
4.2	INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL .....	99
4.2.1	PROTÓTIPOS EXPERIMENTADOS E SELEÇÃO	
	DOS MATERIAIS EMPREGADOS.....	99
4.2.1.1	DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO 1.....	100
4.2.1.2	DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO 2.....	103
4.2.1.3	DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO 3.....	105
4.2.1.4	DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO 4.....	108
4.2.1.5	DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO 5.....	109
4.2.1.6	DETALHES CONSTRUTIVOS DOS COLETORES	
	AUTO FABRICADOS .....	118
4.2.1.7	DETALHES DOS RESERVATÓRIOS UTILIZADOS .....	120
4.2.1.8	CONDIÇÕES FÍSICAS DA EXPERIMENTAÇÃO DE	
	CAMPO .....	122
4.3	COMPLEMENTAÇÃO DO PRÉ AQUECIMENTO SOLAR COM	
	ENERGIA ELÉTRICA .....	123
4.3.1	MEDIÇÃO DE POTÊNCIAS ELÉTRICAS EM OPERAÇÃO,	
	JUSTIFICATIVA E MODELOS SELECIONADOS.....	124
4.3.2	VARIADOR DE TENSÃO .....	129
4.4	METODOLOGIA DE COLETA DE DADOS .....	131
<b>5</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>133</b>
5.1	INVESTIGAÇÃO DE CAMPO .....	133
5.1.1	DESEMPENHO DOS PROTÓTIPOS ENSAIADOS .....	133
5.1.2	CUSTOS DOS PROTÓTIPOS EXPERIMENTADOS .....	147

5.2	MEDIÇÃO DAS POTÊNCIAS DOS CHUVEIROS ELÉTRICOS.....	147
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	152
6	<b>COMENTÁRIOS FINAIS</b> .....	157
7	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	159
	<b>ANEXOS</b> .....	165
	<b>ANEXO A - CONSUMO FATURADO DAS CONCESSIONÁRIAS</b>	
	<b>DE ENERGIA ELÉTRICA</b> .....	166
	<b>ANEXO B - PRINCIPAIS USINAS BRASILEIRAS E PRODUÇÃO ANUAL</b> .....	167
	<b>ANEXO C - SOBRE O SOL</b> .....	168
	<b>ANEXO D - PLANILHAS DE CAMPO UTILIZADAS PARA REGISTROS DE</b>	
	<b>TEMPERATURAS</b> .....	174
	<b>ANEXO E - MODELO ESTATÍSTICO DESCRITIVO</b> .....	178
	<b>ANEXO F - GRÁFICOS ESTATÍSTICOS DO MÊS DE OUTUBRO DE 2000</b> .....	182
	<b>ANEXO G - GRÁFICOS ESTATÍSTICOS DO MÊS DE NOVEMBRO DE 2000</b> ..	190
	<b>ANEXO H - GRÁFICOS ESTATÍSTICOS DO MÊS DE DEZEMBRO DE 2000</b> ...	204
	<b>ANEXO I - GRÁFICOS ESTATÍSTICOS DO MÊS DE JANEIRO DE 2001</b> .....	225
	<b>ANEXO J - INTERVALO DE CONFIANÇA</b> .....	231
	<b>ANEXO K - CÁLCULO DA MÉDIA ARITMÉTICA E DESVIO PADRÃO</b>	
	<b>AMOSTRAL EM SITUAÇÕES ESPECÍFICAS</b> .....	233

## LISTA DE TABELAS

3.2	Plano do governo para aumentar a oferta de energia elétrica em 2001	15
3.3	Investimentos em três modalidades de aquecedores.....	58
3.4	Resultados qualitativos do estudo.....	59
3.5	Resultados quantitativos do estudo.....	59
3.6	Rendimento da situação em série.....	67
4.1	Propriedades fornecidas pelo fabricante do chuveiro elétrico modelo "Tradição 4 Temperaturas" da Lorenzetti.....	125
4.2	Período de medição.....	131
5.1	Convenção qualitativa do horário nos dias medidos.....	133
5.2	Custos em Reais, dos materiais envolvidos em P1, P2, P3, P4 e P5...	147
5.3	Projeção de custos finais para o modelo sugerido em três alternativas econômicas.....	155
5.4	Projeção de custos finais para o modelo sugerido em três alternativas econômicas com chuveiro elétrico incorporado.....	155

## LISTA DE FIGURAS

3.1	Desagregação da curva de carga da CPFL em 1988.....	10
3.2	Consumo de energia em relação à expansão do PIB.....	12
3.3	Reprodução de uma residência da Grécia antiga.....	19
3.4	Cidade de Priene.....	20
3.5	<i>Heliucaminus</i> Romano de Plínio em Óstia, Século II.....	21
3.6	Espelho Incendiário de Hoesen, Século XVII.....	23
3.7	Horta Solar, França Século XVII.....	24
3.8	Coletores solares de vidro, Inglaterra Século XVIII.....	24
3.9	Caixa Quente de Saussure, 1767.....	26
3.10	A maior máquina solar de Mouchot exibida na Exposição Universal de Paris em 1878.....	27
3.11	Instalação Industrial de Tellier, 1880.....	28
3.12	Primeiros aquecedores de água domiciliar, período de 1890 a 1900.....	30
3.13	Casas americana com aquecimento solar, em 1900.....	31
3.14	Obstrução solar provocada por um arranha-céu de Boston, em 1094.....	32
3.15	Execução com aproveitamento solar planejado pelo MIT.....	32
3.16	Sunraycer da General Motors, 1987.....	33
3.17	Destilador Solar de água do mar.....	35
3.18	Efeito Estufa.....	37
3.19	Coletor solar fechado.....	37

3.20	Boiler.....	38
3.21	Reservatório Térmico.....	38
3.22	Situação em desnível de um sistema convencional.....	39
3.23	Sistema em desnível, com volume racionalizado.....	40
3.24	Desnível necessário para proporcionar a convecção da água (a) Situação em telhado alto, (b) detalhe.....	40
3.25	Torres salientes em telhados baixos, que possibilitam a convecção da água.....	41
3.26	Sistema externo por convecção em habitação popular.....	41
3.27	Sensor de calor na saída do coletor e comando eletrônico de acionamento da bomba auxiliar pressurizadora.....	44
3.28	Circulação forçada entre coletores e reservatório térmico mediante bomba de baixa potência.....	44
3.29	Circulação forçada por bomba acionada por energia elétrica gerada em célula fotovoltaica incorporada no sistema.....	45
3.30	Sistema solar totalmente em nível, para telhados baixos, com célula solar de desnível negativo.....	45
3.31	Válvula Anti-congelamento.....	46
3.32	Substituição do chuveiro elétrico em edificação existente.....	47
3.33	Ducha solar instalada.....	47
3.34	Sistema de água quente com tubulação em polietileno reticulado (PEX).....	50
3.35	Sistema de água quente em PEX – Caixa de distribuição.....	51
3.36	Flexibilidade na instalação de boiler elétrico.....	54
3.37	Modelos tecnológicos de aquecedores a gás, tipo boiler e instantâneo.....	54

3.38	Demanda específica do chuveiro elétrico ao longo do dia.....	57
3.39	Telha de fibrocimento como coletor solar.....	61
3.40	Coletor solar alternativo.....	62
3.41	Dois arranjos ensaiados em polietileno.....	66
3.42	Efeito estufa com garrafas, para aquecer água.....	68
3.43	Estufa improvisada com material plástico.....	69
3.44	Protótipo de aquecedor solar de baixo custo.....	70
3.45	Chuveiro elétrico munido de regulagem eletrônica da potência entre 0 a 5000 w.....	72
3.46	Função linear entre a potência e a corrente instantânea de trabalho do chuveiro Zagonel .....	73
3.47	Coletor integrado.....	74
3.48	Fenômeno da inversão térmica desfavorável à reserva de água quente.....	75
3.49	Válvula para evitar o fluxo contrário da inversão térmica.....	76
3.50	Válvula de retenção térmica de fluxo vertical.....	76
3.51	Circulação forçada mediante bomba termo-mecânica.....	77
3.52	Coletor plano, com bolsa plástica e demais isolamentos.....	78
3.53	Temperaturas máximas no interior da bolsa, ao longo do ano, para quatro espessuras diferentes.....	79
3.54	kW/m <sup>2</sup> , ao longo do anos, para quatro espessuras diferentes.....	80
3.55	Coletor solar de baixo custo aplicado na Flórida EUA 1994.....	81
3.56	Modelo de aquecedor simulado.....	84
3.57	Perfis coloridos experimentados como coletores solares.....	85
3.58	Eficiência do coletor solar em cor preta.....	86
3.59	Eficiência do coletor solar em cor azul.....	86
3.60	Eficiência do coletor solar em cor marrom.....	87
3.61	Contribuição de reflexão de superfície adjacente.....	87
3.62	Comparação Experimental e teórica para o Perfil "a" e "b" na cor Preto.....	88

4.1	Sistema global de aquecimento de água de banho em situação sugerida para operação.....	95
4.2	Reservatório térmico e isolamento sugerido.....	96
4.3	Opção de alimentação do reservatório térmico com água diretamente da rede pública.....	96
4.4	Opção de alimentação do reservatório térmico por reservatório de água fria em nível.....	97
4.5	Opção de alimentação do reservatório térmico por reservatório de água fria em desnível.....	97
4.6	Subsistema "pescador" de água morna no interior do reservatório térmico.....	97
4.7	Subsistema terminal de utilização, com chuveiro elétrico de 127 V.....	98
4.8	Esquema genérico dos protótipos estudados.....	99
4.9	Dimensões do reservatório de fibrocimento utilizado.....	100
4.10	Detalhe da fixação de termómetro.....	101
4.11	Protótipo 1 em operação.....	101
4.12	Forma em madeira para confecção do coletor solar do protótipo 1.....	103
4.13	Protótipo 2 em operação.....	104
4.14	Protótipo 3 em operação.....	106
4.15	Protótipo 4 em operação.....	108
4.16	Protótipo 5 em operação.....	110
4.17	Pescador de água morna para colocação no interior do reservatório.....	112
4.18	Modelo de tomeira de bóia sugerida para a entrada de água fria no reservatório térmico.....	112
4.19	Vista global de todos os protótipos ensaiados e da caixa auxiliar nº 5.....	113
4.20	Coletor em cobre com garrafas de vidro recicladas e coletor em Polietileno....	114
4.21	Reservatório com apoio elétrico incorporado.....	114
4.22	Materiais plásticos.....	115
4.23	Materiais metálicos: tubos e conexões de cobre, registro e ferramenta utilizada para executar braçadeiras de arame.....	115

4.24	Ferramentas empregadas para a montagem dos protótipos.....	116
4.25	Ferramenta para corte de tubo de cobre.....	116
4.26	Maçarico, solda de estanho e pasta para solda de tubos e conexões de cobre; dinamômetro.....	117
4.27	Transferidor de campo.....	117
4.28	Termômetros com adaptadores.....	118
4.29	Detalhes das aletas do coletor do protótipo 4.....	119
4.30	Detalhes do coletor utilizado no protótipo 5.....	120
4.31	Medidas das perfurações para convecção nos reservatórios de fibrocimento..	120
4.32	Locação das perfurações, em planta de todos os reservatórios.....	121
4.33	Locação dos tubos confinados pela convecção da água e do ramal de saída para consumo.....	122
4.34	Posição dos coletores com relação ao Norte.....	123
4.35	Medição das resistências a seco do chuveiro elétrico, modelo Tradição 4 Temperaturas da Lorenzetti.....	126
4.36	Medição em funcionamento do chuveiro elétrico, modelo Tradição 4 Temperaturas, da Lorenzetti, 127 V.....	126
4.37	Medição em funcionamento do chuveiro elétrico, modelo Luxo 3 Temperaturas (antigo da Lorenzetti), 127 V.....	127
4.38	Medição em funcionamento do chuveiro elétrico, modelo Maxi Ducha 3 Temperaturas, da Lorenzetti, 127 V.....	127
4.39	Medição em funcionamento do chuveiro elétrico, modelo Robot 4 Temperaturas, da Canhos Jauense, 220 V.....	128
4.40	Medição em funcionamento da ducha elétrica Corona 3 Temperaturas e ducha Zagonel -127 V.....	128
4.41	Aparelho Fluke 39 Power Meter, empregado para todas as situações em funcionamento, com leituras de Tensão, Corrente e Potência.....	129
4.42	Resistência elétrica medida a seco do chuveiro Robot, 220 V, da Canhos Jauense.....	129

4.43	Teste e detalhe do variador de tensão.....	130
4.44	Componentes eletrônicos do variador de tensão.....	130
5.1	Melhor $f(x)$ para P1, na qualidade Q1 em dia de Outubro de 2000.....	135
5.2	Temperaturas registradas na entrada do reservatório de P1 e temperatura superficial interna em C5, ao longo do mês de Outubro de 2000.....	135
5.3	Temperaturas registradas na entrada do reservatório de P1, P2, P3 e temperatura superficial interna em C5, ao longo do mês de Outubro de 2000.....	136
5.4	Pequena vazão em P1, devido à grande perda de carga oferecida pelos 65 m de mangueira utilizada.....	137
5.5	Baixo desempenho de P1 comparado com C5, para Q1 em Dezembro de 2000.....	137
5.6	Desempenho de P2 comparado com C5, para Q1 em Dezembro de 2000.....	138
5.7	Registros de temperaturas internas nos reservatórios de P1 e P2, em dia ensolarado de Dezembro de 2000.....	139
5.8	Registros de temperatura na entrada dos reservatórios de P3 e P5, e temperatura interna superficial em C5, para o mês de Novembro de 2000.....	140
5.9	Registros de temperatura na entrada dos reservatórios de P3 e P5, e temperatura interna superficial em C5, para o mês de Dezembro de 2000.....	141
5.10	Registros de temperatura na entrada dos reservatórios de P2, P3, P5, e temperatura interna superficial em C5, para o mês de Janeiro de 2000.....	141
5.11	Temperaturas diferenciais entre superfície e fundo dos reservatórios utilizados em P3 e C5 em Dezembro de 2000.....	142
5.12	Temperaturas diferenciais entre superfície e fundo dos reservatórios utilizados em P5 e C5, em Dezembro de 2000.....	143
5.13	Temperaturas diferenciais entre superfície e fundo dos reservatórios utilizados em P3 e P5 em Dezembro de 2000.....	143
5.14	Esquema da Resistência marca Robot.....	150

## LISTA DE ABREVIATURAS

A:	Ampére.
AL:	Alagoas.
ANEEL:	Agência Nacional de Energia Elétrica.
BC:	Banco Central.
CEMIG:	Companhia de Energia de Minas Gerais.
CPFL:	Companhia Paulista de Força e Luz.
CPVC:	Cloreto de Vinila Pós-Clorado.
CTEE:	Companhia de Transmissão de Energia Elétrica.
ELETROPAULO:	Concessionária de Energia de São Paulo.
ELETOBRAS:	Eletricidade do Brasil S.A.
EUA:	Estados Unidos da Norte América.
GLD:	Gerenciamento pelo lado da demanda.
GLP:	Gás liqüefeito de petróleo.
gW:	Gigawatts.
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
kW:	Kilowatts.
MME:	Ministério de Minas e Energia.
mW:	Megawatts.
ONS:	Operador Nacional do Sistema Elétrico.
PIB:	Produto Interno Bruto.

PEX:	Polietileno Reticulado.
PROCEL:	Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica.
PVC:	Cloreto de Polivinila.
RR:	Roraima.
R:	Resistência.
V:	Volts.
W:	Watts.

## LISTA DE SÍMBOLOS

a:	Coeficiente linear.
b:	Coeficiente angular.
e:	Base neperiana.
ln:	Logaritmo neperiano.
P:	Probabilidade.
P1:	Protótipo 1.
P2:	Protótipo 2.
P3:	Protótipo 3.
P4:	Protótipo 4.
P5:	Protótipo 5.
Q:	Vazão.
Q1:	Qualidade horária de sol sem nuvens.
Q2:	Qualidade horária de sol e nuvens brancas.
Q3:	Qualidade horária de nublado e quente.
Q4:	Qualidade horária de tempo fechado para chuva.
Q5:	Qualidade horária de início de chuva.
Q6:	Qualidade horária de chuva.
R <sub>1</sub> :	Reservatório de água nº 1.
R <sub>2</sub> :	Reservatório de água nº 2.
R <sub>3</sub> :	Reservatório de água nº 3.
R <sub>4</sub> :	Reservatório de água nº 4.

$R_5$ :	Reservatório de água nº 1.
$R^2$ :	Coefficiente de correlação.
S:	Desvio padrão amostral.
$t_{\alpha/2}$ :	Inverso de Student para a metade da significância.
T:	Temperatura em °C.
$T_1$ a $T_6$ :	Temperaturas em 1 a 6.
$T_e$ :	Temperatura na entrada.
$T_s$ :	Temperatura na saída.
$T_1$ :	Registrador de temperatura na saída do reservatório.
$T_2$ :	Registrador de temperatura na entrada do reservatório.
$T_3$ :	Registrador de temperatura ambiente.
y:	Variável dependente.
x:	Variável independente.
$\alpha$ :	Significância.
$\Omega$ :	Resistência elétrica.
$\bar{x}$ :	Média aritmética amostral.
$\mu$ :	Média aritmética populacional.
$\eta$ :	Rendimento.
%:	Porcentagem.
$f(X)$ :	Modelo matemático.
$\xi$ :	Erro.
n:	Tamanho da amostra.
$\sum$ :	Somatório
°C:	Graus Celsius.

# 1 INTRODUÇÃO

A luz, o calor solar, a água e a composição gasosa de nossa atmosfera, fizeram do planeta Terra um espaço apropriado para a vida.

A disposição dos seres vivos no planeta, obedece a um complexo sistema de auto correções que mantém o mesmo em funcionamento harmônico e justo. Entretanto algumas intervenções sistêmicas promovidas paralelamente pelo homem, têm alterado essa harmonia . **(KAUFFMAN, 1980)**.

Provavelmente, os coletores solares mais sistêmicos na Terra são as folhas das plantas e árvores, que com dimensões e em número apropriado, realizam com poucos elementos a fotossíntese, responsável pela purificação do ar.

Nada disso seria possível sem a luz solar, pois para transformar o gás carbônico em oxigênio e energia é preciso energia solar. A sistêmica fantástica se reserva ao fato de aproveitar-se da energia solar, viver e oferecer condições de vida ao meio restante. Conduta operacional que o homem não adotou.

Para captar a luz solar, basta ficar exposto ao sol, de preferência com grande superfície de captação, como fazem as plantas e as árvores com suas folhas.

Com um diagnóstico de longevidade (mais de 5 bilhões de anos de duração), o Sol é a única fonte de energia a se considerar inesgotável na Terra.

Se a vida dependesse de uma fonte como o petróleo ou carvão, já não haveria mais vida no planeta. Mas esta é uma consideração polêmica, pois foi a vida que gerou o carvão e o petróleo **(LUTZENBERGER, 2000)**.

Contrariando o aproveitamento racional da fonte solar, o homem no curso da história, decidiu por explorar abusivamente outros recursos energéticos que lhe auferiam maior desempenho no cumprimento das finalidades propostas, mas que hoje o alertam para as conseqüências colaterais, cujas soluções se encontram em estágio incipiente **(VÁZQUEZ, 1995)**.

A falta de holismo humano por dar preferência a outras fontes de energia, que terminaram transgredindo o grande sistema terrestre, pode ter explicação na busca do conforto e desempenho característicos da natureza humana. Parece mais fácil atear fogo na lenha para gerar calor do que qualquer outra coisa que não atinja a natureza.

Por isso, ficaram hoje, classificadas as fontes de cunho racional sob o nome de “fontes alternativas” e as demais se dizem “convencionais”.

As reservas e o ciclo de produção de petróleo nos Estado Unidos da América do Norte têm uma projeção probabilística em constante decréscimo, chegando a se esgotar nos próximos sessenta anos. Não diferente para outros países, inclusive os produtores de petróleo, todos estão obrigados em menos de cem anos, a mudar o processo energético para continuar sobrevivendo **(KREITH, 1978)**.

A energia elétrica é considerada como uma fonte convencional de energia limpa, por não ejetar resíduos no instante da utilização e, na verdade estar baseada no princípio da transformação da energia hidráulica. Porém, sua produção em grande escala requer usinas hidrelétricas e/ou termelétricas que significam altos investimentos de implantação e distribuição, além de promover grandes impactos ambientais (desmatamentos e represamentos).

Segundo a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) as hidrelétricas de Queimados, Irapé, Funil e Pai Joaquim, que já estão em processo de viabilização, representam investimentos adicionais de oitocentos milhões de Reais. (CEMIG, 2000)

Engajado entre fontes convencionais de energia, o Brasil apesar da farta bacia hidrográfica, ainda não é auto suficiente em energia elétrica obrigando-se a fazer contínuos investimentos para aumentar a oferta, inclusive na importação de energia elétrica de países vizinhos.

O chuveiro elétrico, com cerca de 95% de eficiência na transformação de energia elétrica em calor transferido à água de banho, pode ser considerado como um grande invento. Porém, essa eficiência é utilizada em curtos intervalos de tempo e concentrados num mesmo horário. Quando esse consumo simultâneo é somado à carga demandada para outras finalidades, gera-se o conhecido horário de pico ou de ponta.

Por outro lado, o aproveitamento da energia solar sob a forma de calor é claramente o que se apresenta como aplicação simples e imediata no fornecimento de água quente para uso doméstico em unidades unifamiliares (FAGÁ, 1995).

Mesmo no campo das fontes alternativas, o aproveitamento solar também buscou a competitividade com os outros vetores energéticos, e as inúmeras interrupções sofridas por essa tecnologia se devem mais uma vez à insistência em conferir às máquinas o máximo desempenho e potência. Talvez esta seja a razão pela qual os coletores solares disponíveis no mercado brasileiros ainda possuem uma conotação de alto desempenho e, conseqüentemente, um alto custo, excluindo a maior parte da população, incapaz de pagar pelo equipamento solar para aquecimento da água.



## 2 OBJETIVOS

O objetivo básico deste trabalho é a otimização experimental de um coletor solar de baixo custo, que tem como propósito pré-aquecer a água no interior de um reservatório comum em fibrocimento.

A concretização desse objetivo, visa contribuir com o gerenciamento da energia elétrica pelo lado da demanda, favorecendo em parte à administração energética do Brasil e especialmente à classe menos favorecida.

Outros objetivos específicos deste trabalho são inerentes à análise da durabilidade dos materiais empregados, e a avaliação das resistências elétricas de alguns chuveiros comercializados no Brasil, com o intuito de classificar e especificar o de menor potência, para a complementação do sistema solar.

Também pode-se designar como objetivo deste trabalho a construção de um pré aquecedor solar, em cuja performance se considera a utilização dos materiais de menor custo, porém de qualidade, disponíveis no mercado brasileiro e a construção de um coletor econômico, apenas para transferir um pouco do calor solar a um determinado volume de água, de modo que se continue dividindo o trabalho de elevar a temperatura num patamar final de uso, com a ajuda de chuveiro elétrico em baixa potência, possibilitando a auto construção e manutenção do sistema pelo próprio usuário final.

Outro objetivo não menos importante que os anteriores, mas totalmente independente aos mesmos, é transmitir ao leitor sobre a história do aproveitamento

solar na trajetória da humanidade e o anseio que o homem teve em estar sempre projetando e executando sistemas solares de alto desempenho, afetando-os com o maior custo e tornando-os em alternativas onerosas.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Considerações Iniciais**

Captando-se adequadamente a radiação solar, pode-se obter calor e eletricidade. O calor se alcança mediante coletores térmicos e a eletricidade através de módulos foto-voltaicos. Ambos os processos nada têm a ver entre si, nem quanto à tecnologia nem quanto aplicação prática. O calor capturado nos coletores térmicos pode, por exemplo, servir para aquecer a água para consumo doméstico, comercial e industrial; serve também para aquecer ambientes em hotéis, escolas, fábricas, enfim, qualquer ambiente em que seja necessário transferir o calor advindo do sol para o interior de uma edificação. Inclusive pode-se climatizar piscinas, garantindo assim o aproveitamento da mesma durante todo o ano e não apenas no verão.

Mesmo parecendo estranho, pode-se aproveitar a energia solar para o resfriamento, visto que, para gerar baixas temperaturas é necessário uma fonte de calor que perfeitamente pode ter sua origem nos coletores solares.

Outra aplicação menos comum consiste no aproveitamento da energia solar numa planta de purificação de água salgada para doce, sem nenhum consumo de combustível.

Células solares, dispostas em painéis, já produzem eletricidade nos primeiros satélites espaciais. Atualmente, se projetam como solução definitiva na adução de eletricidade em regiões rurais, onde as transmissões convencionais, através de torres e

cabos, são caras e impraticáveis. Com claras vantagens, os coletores se modulam conforme a necessidade e disponibilidade local; são limpos, não necessitam de manutenção freqüente, não consomem qualquer tipo de combustível, não contaminam o ambiente, não produzem ruídos e, por fim, mesmo em dias nublados grande parte dos raios que não são filtrados pelas nuvens podem ser aproveitados.

A eletricidade obtida desta forma pode ser aproveitada diretamente, como por exemplo para remover a água de um poço através de motor elétrico e ainda ser recalçada a cotas superiores já armazenada com calor, para ser usada *a posteriori*, e se por ventura houver sobra, pode-se injetar na rede como bônus. (<http://www.censolar.es/menu2.htm>, acessado em 01/072000).

O empenho de países europeus em reduzir os custos dos coletores fotovoltaicos, desenha um futuro promissor para os países de grande insolação, onde se espera que num futuro bem próximo, boa parte da eletricidade consumida venha a ter sua origem no sol.

Neste capítulo será descrito inicialmente o cenário energético brasileiro que aponta para um aumento significativo do consumo de energia elétrica ao longo dos últimos anos, sendo que a oferta não tem crescido na mesma velocidade.

Na seqüência é apresentada a evolução dos sistemas de aproveitamento de energia solar.

Por último, estão abordados os tipos de sistemas convencionais para aquecimento de água disponíveis no mercado brasileiro, e suas tipologias para as mais diversas situações de funcionamento; também são apresentados alguns trabalhos que buscam a racionalização dos sistemas solares no empenho de privilegiar aplicações em habitações populares.

## 3.2 O Cenário Energético Brasileiro

Num país de dimensões continentais, atravessado pelo trópico de Capricórnio e pela linha do Equador, com farta insolação anual, parece elementar o uso racional da energia solar. Entretanto, o Brasil ainda é o país que utiliza de forma maciça o chuveiro elétrico. Este cenário retrata a cada dia um problema que se agrava: o contínuo crescimento do pico da demanda de energia elétrica residencial.

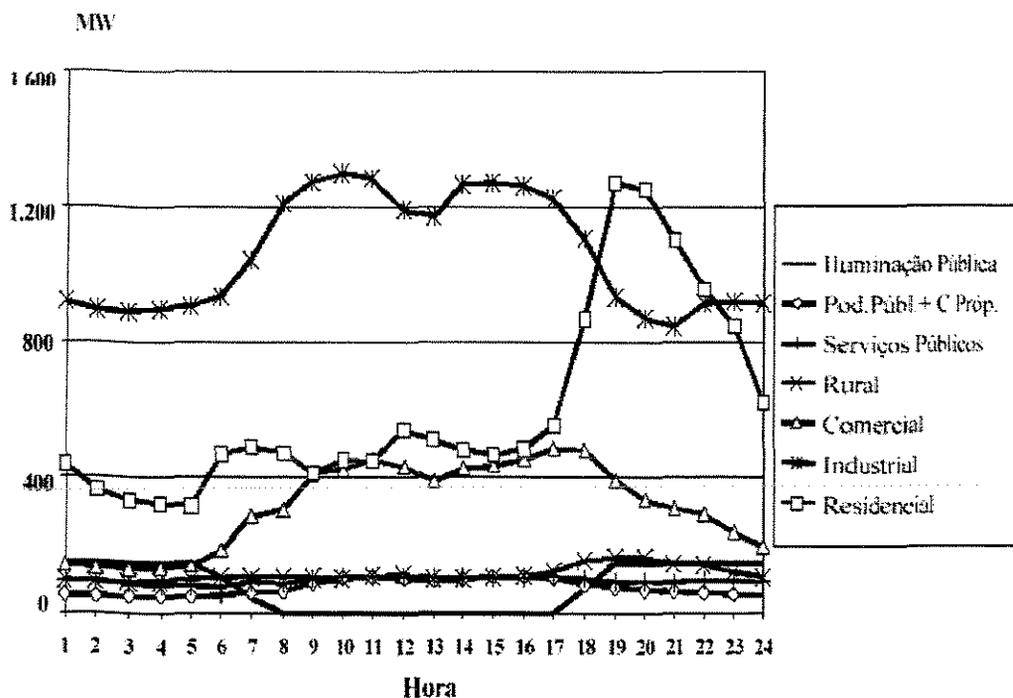
A falta de intervenção do poder público através do uso da energia solar sobre as habitações, reserva tal tecnologia apenas para as classes mais privilegiadas, em número insignificante para resolver o problema energético que o Brasil atravessa.

Sabe-se que, por mais baixo que seja o custo de um aquecedor solar, o seu preço será maior do que o do chuveiro elétrico, por tratar-se de sistema de acumulação de água quente composto por um reservatório térmico, coletores, tubulações, conexões e misturadores de água apropriados para resistirem a temperaturas maiores do que a do ambiente.

Para se ter uma idéia da diferença de preços, um chuveiro elétrico, pode ser facilmente encontrado no mercado por volta de R\$ 20,00 e os sistemas solares para residências possuem uma estratificação de preço que oscila entre R\$ 900,00 (modelo mais simples) a R\$ 3.200,00 (modelos mais sofisticados), não sendo considerado nesse total a tubulação e a mão-de-obra de aplicação.

A ausência de tubulações que sejam resistentes às altas temperatura; o preço acessível; a facilidade de operação, a grande estruturação de distribuição de energia elétrica, a facilidade de manutenção e substituição, tornaram o chuveiro elétrico uma preferência nacional. O crescimento da demanda do consumidor residencial em horários de pico está alcançando patamares alarmantes.

Conforme OLIVA (1999) estudos da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) apontam o chuveiro elétrico como o maior responsável dos picos de potência nos horários de banho, especialmente por volta das 19:00 horas, momento em que cerca de um terço da carga total da área da concessionária vem das residências, superando até a carga das indústrias, como mostra a figura 3.1.



**Figura 3.1:** Desagregação da curva de carga da CPFL em 1998.

Fonte: Oliva (1999).

Como as concessionárias precisam investir pela potência instalada e o patamar máximo está cada vez mais próximo dos picos de demanda, resta um grave problema energético para administrar, cuja solução ainda se encontra em estágio embrionário.

Segundo a Companhia de Transmissão de Energia Elétrica (CTEEP) que controla cerca de 94% das linhas de transmissão paulistas, existem mapas e listas de locais onde a energia deve ser cortada em caso de emergência. A CTEEP incorre na possibilidade de perder a certificação ISO 9002, que recebera por manter um bom padrão de fornecimento de energia. Isso por que não tem conseguido manter o nível de

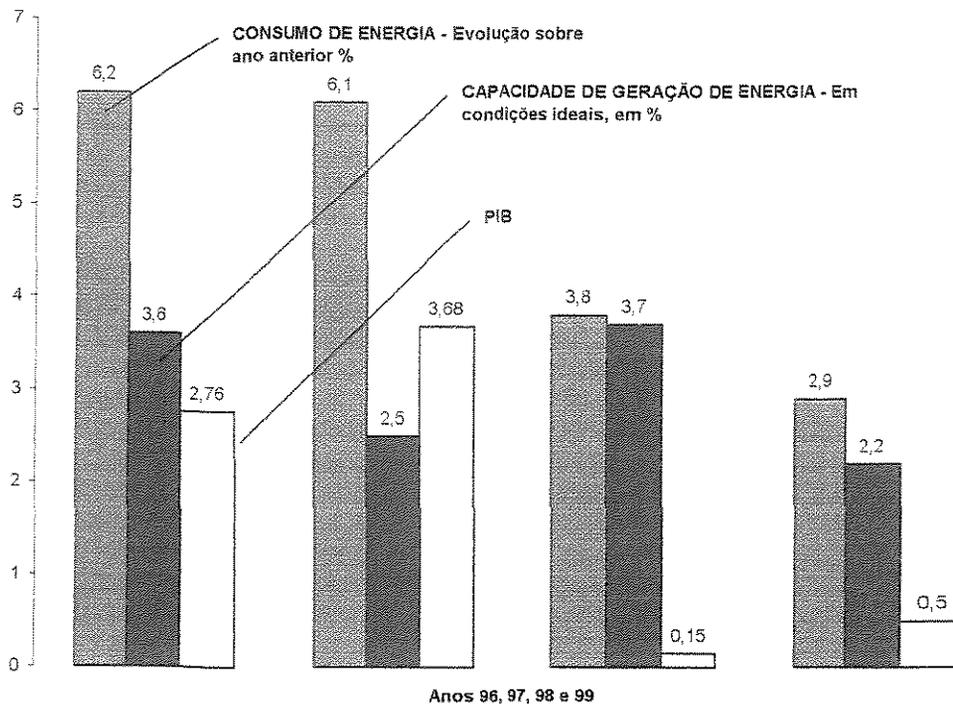
tensão recomendado em alguns municípios durante horários críticos. O pico do consumo paulista tem ocorrido entre 18:00hs e 18:30hs, mas durante o horário de verão ele se desloca até as 20:00hs.

Segundo **VARGAS (2000)**, entre 1996 a 1999 a alta do consumo superou a expansão do Produto Interno Bruto (PIB) e se aproximou da capacidade de geração, conforme proporções ilustradas na figura 3.2.

Os canais para geração de alta potência são, sem dúvida, novas usinas hidrelétricas ou termelétricas, porém estas metas não são realizadas a curto prazo, obrigando o Brasil a ser atendido pela oferta de países vizinhos de forma imediata. Além de uma trilha de dificuldades financeiras para pesados investimentos em novas usinas, o plano do governo sofre com a falta de turbinas.

Conforme **VARGAS (2000)**, em fevereiro de 2000 o governo anunciara um mega programa de estímulo à construção de 49 termelétricas, a fim de instalar mais de 15 MW no país até 2003, diminuindo assim os problemas de falta de energia. Lamentavelmente, as multinacionais fabricantes não tem dado conta de tantos pedidos e admitem a realização da metade, prevista com o Brasil aguardando numa fila de espera.

### Energia Gerada x Consumida x PIB



**Figura 3.2 :** Consumo de energia em relação à expansão do PIB.

Fontes: ELETROBRÁS, BC, IBGE e MME, apud Folha de São Paulo. 31/05/2000

A falta de máquinas para termelétricas brasileiras ocorre basicamente porque o Brasil não é autônomo nesse tipo de empreendimento, não existindo nenhuma empresa que fabrique turbinas desse gênero em território nacional.

Segundo depoimento do atual ministro de Minas e Energia, Rodolpho Tourinho, o custo adicional decorrente da antecipação de 2002 para 2001, da entrada em operação de dez usinas termelétricas a gás, que estão sendo construídas pela iniciativa privada, será diluído entre o conjunto de consumidores de todos os tipos de energia. (SUCURSAL JORNALÍSTICA DO RIO DE JANEIRO, 2000).

A oferta de energia não tem aumentado na mesma velocidade da demanda, que tem um crescimento previsto de 6% para 2000. No passado, o Brasil costumava comprar energia em curtos prazos dos países vizinhos somente em situações de emergência, mas a crise energética vêm obrigando a compra de energia elétrica, em larga escala, de países vizinhos a fim de atender o crescimento do consumo.

O Brasil deve comprar eletricidade equivalente a 10% de seu consumo atual, representando US\$ 400 milhões anuais, numa estratificação de 150 MW da Bolívia (com início em julho de 2000), para atender a região de Corumbá, MS; 200MW (com início previsto para o final de 2000), da Venezuela, para atender Boa Vista, RR, e cidades do interior desse estado; 70 MW provindos do Uruguai, para suprir o Rio Grande do Sul; 1000 MW da Argentina, para todo o sistema integrado de energia do Brasil, e 4000 MW, também da Argentina, para todo o sistema integrado de energia. (CABRAL, 2000).

Com a crise elétrica, pequenas hidrelétricas e termelétricas que usam bagaço de cana, recebem incentivos para atrair capital. Desta forma, o governo federal está incentivando o desenvolvimento de novas fontes de energia para tentar atender o aumento de consumo e reduzir os riscos de racionamento de eletricidade.

A agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), vem centrando sua ação no fortalecimento de três fontes de energia: pequenas centrais hidrelétricas, usinas térmicas que usam o bagaço da cana como combustível e usinas eólicas. A estimativa é que o setor tenha condições de produzir 2000 MW de energia, mas para isso, é necessário um investimento de R\$ 1,5 bilhões. De acordo com estimativas do Centro Brasileiro de Energia Eólica, ligado à Universidade Federal de Pernambuco, o litoral do Nordeste, tem um potencial de gerar 6 GW de energia (CABRAL, 2000).

A batalha entre fornecedores e consumidores de energia elétrica provoca no Brasil, provavelmente, a crise energética do século, agora com usuários protegidos pela lei do consumidor. Toda a cadeia de fornecimento de energia elétrica do país, desde o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), entidade encarregada da normalidade no fornecimento de energia até as concessionárias, tem desrespeitado os direitos básicos do consumidor.

Órgãos e advogados de defesa de usuários declararam em 5 de junho de 2000 ser totalmente ilegais programas que priorizam cortes de energia em determinados

bairros da capital paulista. A existência de tais planos foi divulgada à Folha de São Paulo em Junho de 2000 através de um funcionário da CTEE que afirmou que a companhia já possuía uma planilha de cortes.

Segundo juristas, tais planilhas e planos sem prévio aviso violam o artigo 22 do Código de Defesa do Consumidor, que prevê o direito contínuo, assim como a lei das concessões, a qual determina que os cortes precisam ser previamente avisados.

Como controvérsia, a Concessionária de Energia de São Paulo (ELETROPAULO) admite ter um plano de contingência que estipula quais bairros e municípios do Estado devem ser prioritariamente privados de energia elétrica, protegendo-se contra a falta de divulgação para não criar pânico na população consumidora. (VARGAS, 2000).

O setor industrial também vem sofrendo com a crise energética que atravessa o país, tendo que racionar energia para evitar risco de colapso.

O plano estratégico federal afirma ser possível atender ao consumo com adoção de tecnologia convencional de geração de energia elétrica (hidrelétricas e termelétricas), conforme pode ser visualizado nas tabelas 3.1 e 3.2

**Tabela 3.1:** Plano do governo para aumentar a oferta de energia elétrica em 2000

<b>PLANEJADO PARA ANO 2000</b>		
<b>Ganho MW</b>	<b>Medida</b>	<b>Prazo p/conclusão</b>
1.353,00	4 Hidrelétricas	entre Janeiro e Dezembro
29,00	6 pequenas Hidrelétricas	Dezembro
14,00	Ampliações de pequenas hidrelétricas	Dezembro
830,00	Início de operação de termelétricas	entre Maio e Dezembro
1.309,00	Início operação Angra II	entre Julho a Agosto
100,00	Usinas térmicas (c/bagaço da cana)	Dezembro
1.000,00	Importação da Argentina	Junho
424,00	Transferência Norte/Sudeste	Junho
<b>5.059,00</b>		

Fonte: Ministério de Minas e Energia, apud Folha de São Paulo, 7/6/2000.

**Tabela 3.2:** Plano do governo para aumentar a oferta de energia elétrica em 2001.

<b>PLANEJADO PARA ANO 2001</b>		
<b>Ganho MW</b>	<b>Medida</b>	<b>Prazo p/conclusão</b>
1.764,00	Início de operação de 9 hidrelétricas	entre Janeiro e Dezembro
103,00	7 novas pequenas hidrelétricas	entre Janeiro e Dezembro
1,00	Ampliação de pequena central	até Janeiro
2.542,00	Início de operação de 14 termelétricas	entre Maio e Dezembro
100,00	Usinas térmicas (c/uso bagaço de cana)	Dezembro
370,00	Melhorias na transmissão	Dezembro
1.400,00	Importação Paraguai e Argentina	Janeiro
<b>6.280,00</b>	<b>TOTAL PLANEJADO 2000 + 2001 ==&gt;</b>	<b>11.339,00</b>

Fonte: Ministério de Minas e Energia, apud Folha de São Paulo, 7/6/2000.

Mesmo sabendo que a energia solar está presente há 5 bilhões de anos e ainda está garantida para os próximos 6,5 bilhões de anos, as autoridades brasileiras primam pelo imediatismo convencional, como se esse plano milionário fosse a melhor maneira de contornar o problema. Lamentavelmente, o problema continuará sendo o mesmo, apenas haverá uma melhora na quantidade ofertada de energia elétrica. Se está claro que o “vilão” dos picos de demanda é o chuveiro elétrico, uma intervenção nas unidades habitacionais futuras para atenuar e controlar o problema de forma consistente, deveria ser priorizada.

As razões da resistência ao uso racional da energia solar por parte da nação brasileira, não faz parte desta dissertação, porém, a principal hipótese da periódica interrupção da tecnologia solar na história da humanidade se relaciona, na maior parte das vezes, à visão cultural do mundo, e em especial, com uma particular visão do mundo econômico na obsessão do uso irracional dos combustíveis fósseis e da pesada tecnologia que gera alta potência, com as seqüelas ecológicas que somente agora apresentam preocupação, ainda que a um pequeno grupo de pessoas munidas de espírito ecológico.

É objeto deste trabalho, propiciar instrumentos comprováveis aos municípios e através destes canalizar resultados práticos e visíveis para breves e futuras exteriorizações em terreno nacional, com âmbito apenas no pré-aquecimento da água de banho. O aproveitamento desta fonte energética gratuita, limpa e inesgotável, pode de fato até nos liberar definitivamente da dependência do petróleo ou de outras fontes alternativas pouco seguras ou, simplesmente, contaminantes.

É preciso apontar alguns problemas que devem ser enfrentados e superados, como por exemplo, as dificuldades políticas de uma administração que saiba apostar na energia solar, levando em conta que durante o inverno, ocasião em que mais precisamos de água aquecida, a radiação solar é menor. Todavia, sobra a flutuação dos dias de radiação, imprevisíveis e probabilisticamente com lacunas de interrupção por dias muito nublados e precipitações pluviométricas.

Sendo privilégio das classes mais favorecidas, conseqüentemente em menor número, os usuários de sistemas solares ainda são em número insuficiente para resolver hoje o problema do pico de consumo de energia elétrica.

Dentre as soluções em estudo, o pré-aquecimento solar associado a chuveiro de baixa potência, vem sendo apontado como uma medida bastante eficaz.

Ver em anexos o consumo de energia elétrica no Brasil e principais usinas hidrelétricas com sua capacidade de produção.

### **3.3 Evolução dos Sistemas de Aproveitamento de Energia**

#### **Solar**

Neste item será relatada a trajetória da evolução do aproveitamento da energia solar através da história da humanidade, onde são citadas as mais diversas utilizações.

O texto e as imagens, apresentadas neste item são totalmente baseadas num extenso resumo de tradução crítica feito entre 1995 e 1999 pelo arquiteto peruano Mariano Vázquez Espinoza, da obra original "*Un Hilo Dorado*" de Butti & Perlin (1980), com última edição em espanhol em Madrid (1985).

O única contribuição de Vázquez sobre a obra original, é sustentar a tese de que toda a interrupção que sofreu a investigação e prática do aproveitamento solar se deve realmente a um descuido por parte da sociedade.

Remonta ao século XVIII a base da filosofia moderna, onde a obra máxima dessa época fora o Discurso do Método de René Descartes, que dissera:

"o bom senso, a faculdade de bem julgar, é igual em todos os homens, e se alguns chegarem mais perto da verdade é porque conduzem melhor a razão do que os outros" (PENHA, 1998).

Aproveitando o discurso de Descartes e Vázquez, parece nítido que neste último século não houve plenitude na razão das coisas administradas pelo homem e que conhecimentos antigos que sobreviveram ao tempo, estão retornando com grande força.

Vázquez preconiza que o progresso técnico não é um processo de acumulação nem de melhora inevitável do conhecimento, mas pelo contrário, é justamente o prejuízo da sabedoria e dos conhecimentos valiosos que se conservam vivos com relativa dificuldade através do tempo.

Sócrates já ressaltava que a casa ideal deveria ser quente no inverno e fresca no verão, mas esta característica não era fácil de se realizar há 2500 anos. Os gregos careciam de meios artificiais para refrescar suas casas durante os verões quentes e sistemas de calefação, basicamente compostos por braseiros portáteis de carvão, também inadequados para garantir a temperatura ideal durante o inverno.

De fato, são conhecidas diferentes crises de escassez de combustíveis na antigüidade. Para o século V a.C., grandes zonas da Grécia estavam totalmente devastadas de árvores, originando mudanças micro climáticas até o ponto de Platão afirmar que “todas as partes mais ricas e férteis desapareceram, restando o mero esqueleto da terra”. Quando os abastecimentos locais terminaram por completo, os gregos se obrigaram a importar madeira e carvão de outras regiões.

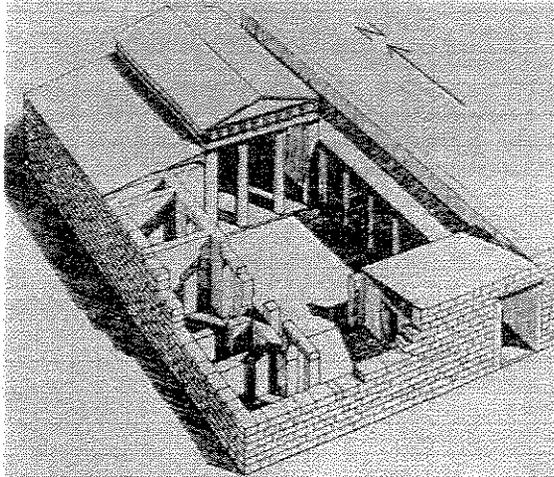
No século IV a.C., os atenienses proibiram o emprego da madeira das oliveiras para a finalidade de lenha, o que conservou esta espécie da extinção total com relação a outras liberadas para extração.

Por sorte, dispunha-se de uma fonte energética alternativa, o sol, abundante e gratuita. Em muitas regiões da Grécia, a utilização da energia solar como acessório no aquecimento dos ambientes habitáveis constituiu uma resposta positiva à escassez energética. Moradores de uma região bem ensolarada, os gregos aprenderam rapidamente a planejar, projetar e edificar suas habitações nos mais prolixos métodos, que hoje persistem como modelos da boa arquitetura.

Com o advento da trigonometria e a geometria, tão exploradas pela Grécia antiga, logo dispunham de altos pórticos avarandando a edificação (ver figura 3.3), de tal forma que os raios solares não penetrassem para o interior durante o verão, mantendo um ambiente fresco e confortável nessa estação e, ao contrário, na incidência de  $33^{\circ 1}$ , tais pórticos deixariam adentrar para a habitação de forma direta e explícita os raios solares durante as estações frias do inverno, formando, assim, uma dicotomia inteligente na concepção arquitetônica das edificações, baseada simplesmente no aproveitamento da radiação solar.

---

<sup>1</sup> Com relação ao plano horizontal.



**Figura 3.3:** Reprodução de uma residência da Grécia antiga.

Fonte: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>, acessado em 15/07/2000.

Não obstante, as edificações gregas careciam de isolamento em janelas. Com as mesmas completamente abertas, a contribuição solar durante o inverno era incapaz de outorgar total conforto sem a presença de um braseiro a carvão.

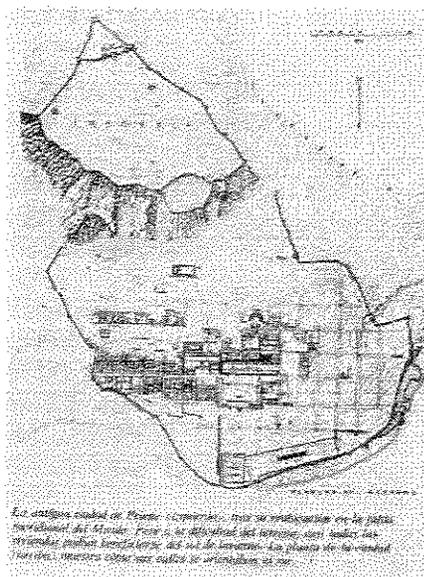
Essa técnica de projeto teve prioridade sobre qualquer outra. Assim, a edificação grega possuía todas as características do conceito de máquina térmica, isto é, receber uma energia disponível gratuitamente da natureza transformando sua qualidade, onde se disponibiliza de forma útil durante o inverno e se dispensa ao máximo durante o verão.

Esta cosmo-visão do mundo das máquinas, quiçá permita compreender o motivo pelo qual os gregos nunca tenham desenvolvido motores, como a denominada máquina a vapor concebida no século XIX. Entretanto, utilizavam energia mecânica advinda do vapor e também do sol, porém não passavam de pequenos artefatos de intenção lúdica e decorativa encabeçados pelo mestre Heron da Alexandria na escola dos mecânicos Gregos.

A mesma crise energética de madeira e lenha avassalou os romanos, que protegeram seus bosques da extinção, resultando na absorção completa da cultura grega no que tange ao aproveitamento solar na concepção das edificações.

Ao desenho solar foi dada total prioridade; tal consideração pode ser observada na cidade de Priene, onde apesar do acidente topográfico acentuado, os urbanistas da época, desenharam a cidade de acordo com o princípio geométrico da orientação solar (ver figura 3.4) . Conforme o planejamento da época, até as habitações das pessoas mais pobres gozavam da insolação de inverno e esquivavam-se do escaldante sol do verão.

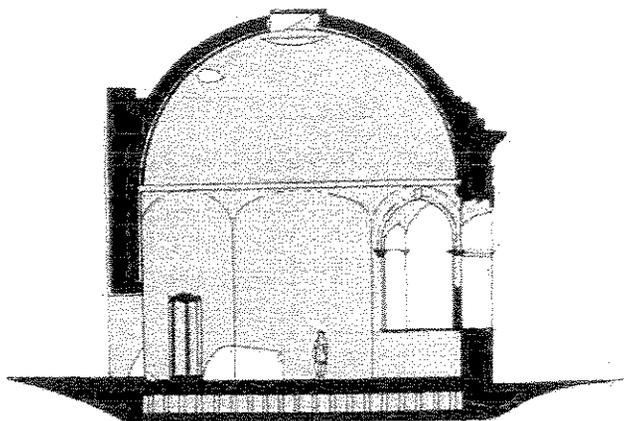
Segundo **VÁZQUEZ (2000)**, enquanto se esgotavam as reservas de madeira durante o primeiro século da era romana, o povo romano se preocupava em construir em função da insolação, tal é o caso que Plínio, rico e influente escritor do segundo século romano, construiu duas habitações diferentes para aproveitamento solar, uma delas batizada por “*heliocaminus*” onde, por várias janelas com vidros ou mica, era permitido o acesso da luz e calor do sol, armazenando esta energia na habitação (ver figura 3.5).



**Figura 3.4:** Cidade de Priene.

Fonte: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>, acessado em 15/07/2000.

O invento do vidro plano e transparente foi uma inovação radical na construção romana. Desde o ano 65, deixaram-se manuscritos onde se assinala a invenção proveitosa do vidro transparente e plano durante o Império Romano. Nessa ocasião, também foi utilizado na agricultura, em estufas convenientemente aquecidas, para o cultivo de plantas exóticas.



**Figura 3.5:** *Heliocaminus* Romano de Plínio em Ostia, Século II.

Fonte: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>, acessado em 15/07/2000.

A importância máxima do direito do acesso à insolação, ficou claramente registrada no código do imperador romano Justiniano no século VI: se um objeto está colocado de forma a ocultar o sol a um *heliocaminus*, deve afirmar-se que esse objeto cria sombreamento num lugar onde a luz do sol constitui uma necessidade absoluta, assim define-se tal alocação, como indevida e constitui uma violação do direito do *heliocaminus* ao sol.

Apesar deste registro jurídico, a forma urbana das cidades romanas não permitia a insolação a todos, e como as classes mais ricas tinham acesso efetivo à justiça, as moradias mais humildes não desfrutavam ao todo deste privilégio, em agudo contraste com a cultura grega de democracia e igualdade social.

Gregos, romanos e chineses, desenvolveram espelhos curvados a base de prata, cobre e bronze polido com o intuito de concentrar os raios solares num determinado ponto com o objetivo de atear fogo em algumas coisas. Ao amadurecer a compreensão em geometria analítica, os gregos deduziram prontamente que uma forma parabólica seria mais eficaz na concentração dos raios num único ponto e não em vários dispersos como ocorre nos espelhos esféricos comuns (ver figura 3.6).

Durante muitos anos gregos e romanos se utilizaram de tais instrumentos para incendiar benéficamente lenha nos templos, com a finalidade de aquecimento forçado.

Entre mito e história, Arquimedes teria utilizado tais instrumentos incendiários para atear fogo em embarcações romanas atracadas nos cais de Siracusa.

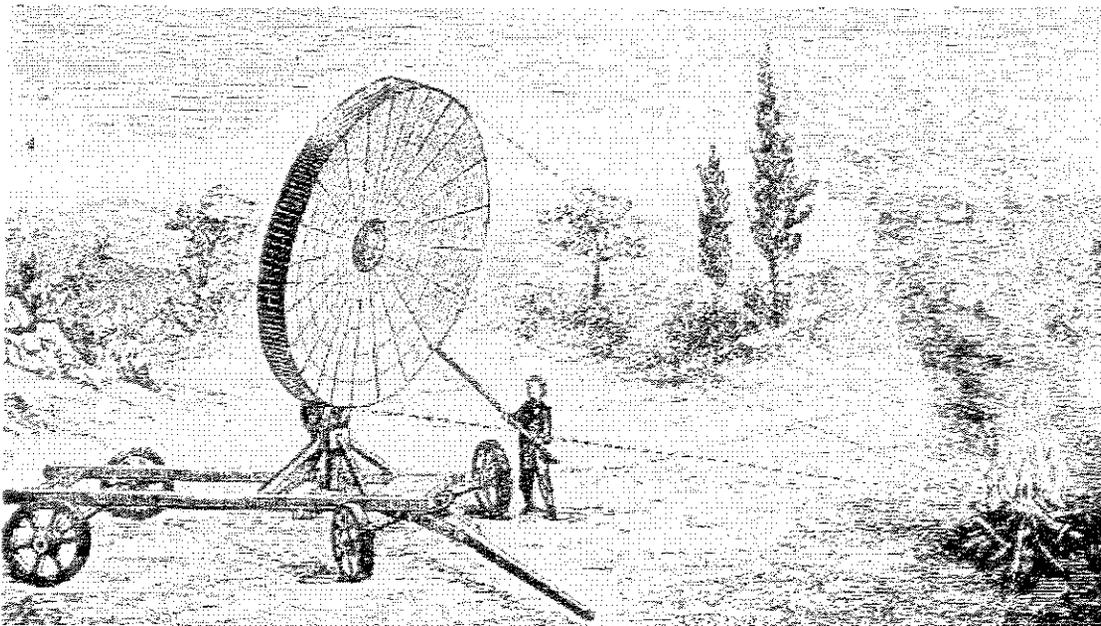
Como acontecera com muitas outras sabedorias da antigüidade, todo o conhecimento sobre espelhos incendiários se desvaneceu nos domínios dos conhecidos séculos escuros, onde se desenvolvera nossa atual ciência ocidental.

Desde os tempos de Roger Bacon, no século XIII, artistas e sábios da época, como Leonardo da Vinci, Andrea de Verrochio, Galileo Galilei ou Athanasius Kircher, atribuíam a Arquimedes as façanhas incendiárias, mas tal fato não tem comprovação pelos historiadores modernos, apesar das gravuras feitas pelos cientistas da época.

Desta forma, ficaram estabelecidos os conceitos e princípios geométricos que mais tarde seriam utilizados pelas mais avançadas tecnologias de ponta, como por exemplo o emprego desses instrumentos em satélites artificiais neste último século.

Curiosamente, tais artefatos nunca foram empregados como instrumentos bélicos, segundo propósito inicial de Bacon e dos demais, pois na ocasião o advento das armas de fogo e a pólvora desviaram a atenção dos interessados em aplicações bélicas.

O poder da Igreja Católica e a Santa Inquisição desempenharam papel imperioso para o empobrecimento da disseminação do conhecimento científico na terra. Cientistas e sábios necessitavam esconder suas idéias com temor de serem mortos por heresia ou bruxaria. Daí a denominação de "Séculos Escuros". Não obstante, renasce no século XVI, toda a tecnologia greco-romana com objetivo de aproveitar a energia solar.

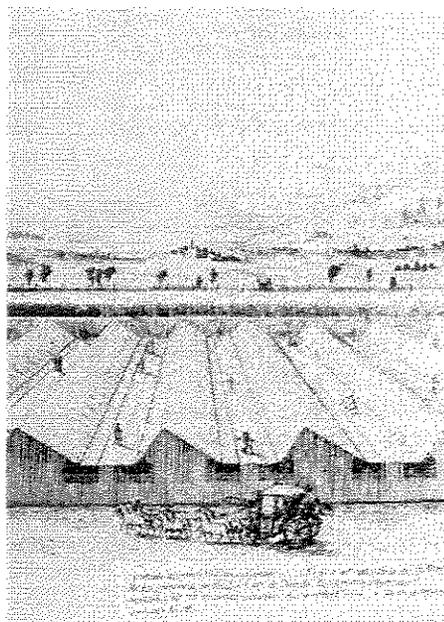


**Figura 3.6:** Espelho incendiário de Hoesen, Século XVII.

Fonte: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>, acessado em 15/07/2000.

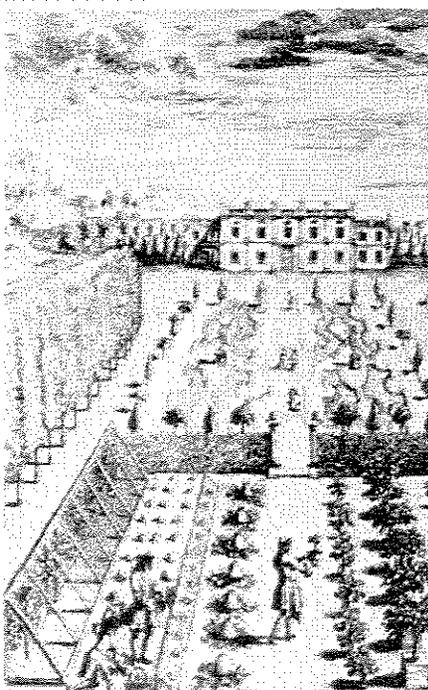
Holandeses e Flamengos livres do martírio da Santa Inquisição Católica, retomam a energia solar com afinco e sucesso na cultura de vegetais em estufas. Uma vez mais a técnica mais simples consiste na adequada inclinação de um muro, que provoca o crescimento de arbustos orientados convenientemente para o sol (ver figura 3.7).

Já no século XVIII, havia domínio no ajuste da inclinação do vidro dos coletores solares para estufas em função da latitude local, para não provocar super aquecimento ou resfriamento, conforme ilustrado na figura 3.8.



**Figura 3.7:** Horta Solar, França Século XVII.

Fonte: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>, acessado em 15/07/2000.



**Figura 3.8:** Coletores solares de vidro, Inglaterra Século XVIII.

Fonte: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>, acessado em 15/07/2000.

A popularidade das estufas com vidro chegou ao ápice no século XIX, onde todo mundo desejava possuir uma. Este anseio projetou a despreocupação com a orientação correta do coletor, bastando contemplar o *status* de possuir a estufa.

A escassez de combustíveis deflagrada na 1ª grande guerra, fez surgir novamente os recursos solares com sábio aproveitamento da tecnologia ancestral, mas logo a introdução dos recursos energéticos fósseis faz decair por completo a utilização da mesma.

Remonta a 1767 a experiência científica do franco sueco Horace de Saussure, que comprovava a eficácia do armazenamento do calor solar no interior de 5 caixas sobrepostas de vidro. As cinco caixas de vidro eram abertas na base, de modo a encaixar uma com outra. Saussure mediu 87°C na caixa menor, onde cozinhou frutas utilizando energia totalmente gratuita (VÁZQUEZ, 2000).

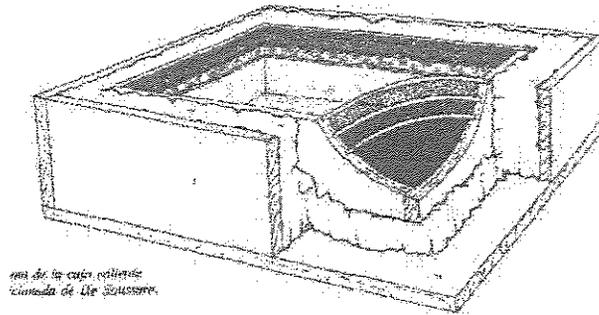
Insatisfeito, Saussure construiu uma caixa de madeira revestida com cortiça pintada de preto, e aplicou uma tampa composta de três lâminas de vidro separadas uma da outra, isolando bem o interior da mesma. Expondo a mesma convenientemente ao sol durante um dia, registrou 118°C. Tal invento recebera o nome de "caixa quente" (ver figura 3.9).

Ainda no esforço de melhorar o desempenho térmico da caixa quente, colocou a mesma no interior de outra e mediu 120° C em piores condições de insolação.

Poderia se dizer que a contribuição científica de Saussure, constitui um elo entre toda a sabedoria antiga e as atuais aplicações em aquecimento de água domiciliar, visto que Saussure deixou claro através dos experimentos que:

- A energia solar capturada independe da altitude;
- Pode-se conservar o calor solar;

- O vidro tem papel fundamental na captação e concentração do calor junto ao coletor;
- O aumento do desempenho e eficácia da caixa de calor estão associados à sofisticação do protótipo;



**Figura 3.9:** Caixa Quente de Saussure, 1767.

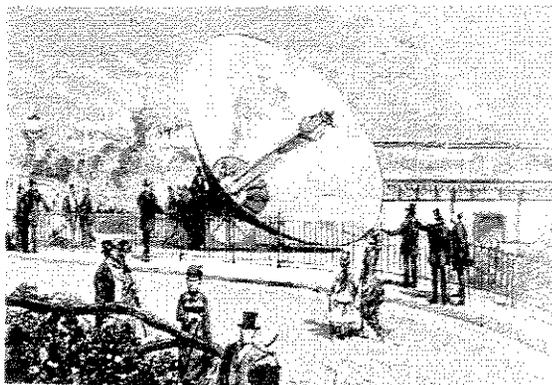
Fonte: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html> acessado em 15/07/2000.

Vários outros cientistas reproduziram com sucesso a experiência de Saussure no século XIX, destacando-se Sir John Herchel em 1830 e Samuel Pierpont Langley em 1881, famoso astrofísico que chegou a ser diretor da Smithsonian Institution. Ambos, com réplicas capazes de atingir a temperatura de ebulição da água, experimentaram o cozimento de carnes e legumes com qualidade e total economia de energia (VÁZQUEZ, 2000).

Na revolução industrial se preconizava a substituição da força humana e animal, por máquinas de elevada potência, significando a possibilidade de construção desses bens em grande escala. Elevando-se o consumo de aço e carvão, logo o petróleo e seus derivados, passam estes produtos a ser as principais fontes energéticas para movimentar, em condições impressionantes, uma desenfreada quantidade de máquinas. Trens, caldeiras, carros e muitas outras máquinas baseadas no motor e na mecânica Newtoniana, fazem com que os avanços na tecnologia solar diminuam sua velocidade.

Segundo VÁZQUEZ (2000), o professor de matemática do Liceu de Tours em 1860 Augustin Mouchot, nessa época já afirmava que a indústria e a vida urbana teriam seus anos contados até o momento de esgotar as reservas energéticas de carvão e outros fósseis, como o petróleo e seus refinados. Entretanto, sabia de antemão que o modelo de uma caixa quente de Saussure era inviável para atender com potência adequada à indústria, visto que, para isso, suas dimensões seria absurdas e empregariam muito espaço. Mesmo assim, somando as complicações da guerra franco-prussiana em 1870, Mouchot concebeu vários artefatos solares: um alambique, um fogão e dois motores solares. Na figura 3.10 é apresentada o maior motor solar de Mouchot.

A maior máquina solar de Mouchot era capaz de bombear 2000 litros de água por hora, destilava álcool e cozia qualquer alimento.



**Figura 3.10:** A maior máquina solar de Mouchot exibida na Exposição Universal de Paris em 1878.

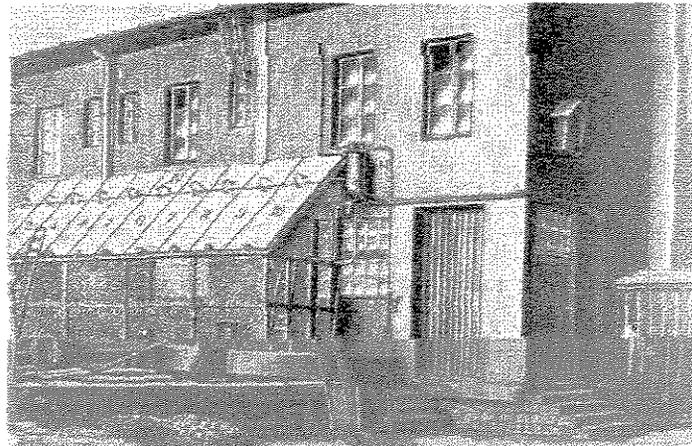
Fonte: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>, acessado em 15/07/2000.

Entre numerosos e notáveis nomes que batalharam sobre a modelagem de motores solares, não se poderia deixar de mencionar o engenheiro francês Charles Tellier que, sabiamente, ao invés de aplicar água para gerar vapor, escolheu líquidos

cujo ponto de ebulição é extremamente baixo, como o hidrato de amoníaco, que ferve aos  $-33^{\circ}\text{C}$  e o dióxido de enxofre que, ferve aos  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Graças a sua especialização em congelamento de alimentos, ficou mais conhecido por este mérito, entretanto sua bomba solar era construída com simples lâminas de metal escuro, entre as quais corria uma tubulação onde circulava o líquido para ser evaporado, contendo uma chapa metálica inferior com a finalidade de isolamento térmico com objetivo de reduzir as perdas do calor na condução. A pressão do amoníaco atingia 2,7 atm conseguindo que uma bomba desempenhasse até 3600 litros de água por hora em dias de farta insolação.

Tellier embutiu seu coletor no interior de uma caixa de calor convencional, que lhe conferia o acionamento de um motor. Este protótipo foi executado com finalidade industrial em 1880. (Ver figura 3.11)



**Figura 3.11:** Instalação Industrial de Tellier, 1880.

Fonte: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>, acessado em 15/07/2000.

Os motores solares desenvolvidos tanto por Mouchot, Ericsson e Eneas estavam baseados no emprego de refletores para concentrar os raios do sol com o exaustivo objetivo de construir um motor comercialmente viável. Estes pioneiros se empenharam em concentrar sempre os raios para atingir altas temperaturas nos

vapores. Como o conhecimento rezava que quanto mais altas tais temperaturas, maior seria a eficácia da máquina, buscaram produzir temperaturas superiores a 500°C.

Os complicadores do motor solar eram os onerosos custos de aquisição, quando comparados a outras máquinas de queima de combustível; assim mesmo realizando o trabalho com a economia energética, eram pouco vendidos.

As elevadas temperaturas no interior de um coletor originavam inevitavelmente elevadas perdas de calor. Mesmo com altas temperaturas, que significavam maior desempenho do motor, a eficiência da captação solar decrescia substancialmente, reduzindo a eficácia global da conversão de energia solar em mecânica. Porém, nota-se pela história comercial de tais equipamentos, que tudo isso não era tão imperioso quanto o elevado custo da aparelhagem.

Registra a história que dois engenheiros americanos, *Willsie* e *Boyle* se basearam em *Tellier*, introduzindo aos poucos vários melhoramentos. Entretanto, se mantiveram no anonimato, visto o fracasso de *Eneas* e a origem de fraudes sobre a falsa tecnologia solar que se praticou, na época, nos EUA, trazendo uma depreciação dessa modalidade alternativa, a tal ponto de surgir uma imperiosa difamação dos sistemas solares.

Após ficarem uma década pesquisando e melhorando o sistema original de *Tellier*, que empregava líquidos com ebulição a baixas temperaturas, os dois engenheiros se mudaram para o Arizona instalando a "*Willsie Sun Power Company*" em 1904, perdurando com sucesso até serem substituídos por uma máquina que consumia gás e que era quatro vezes mais eficiente que os motores solares, sendo fechada a empresa em 1908.

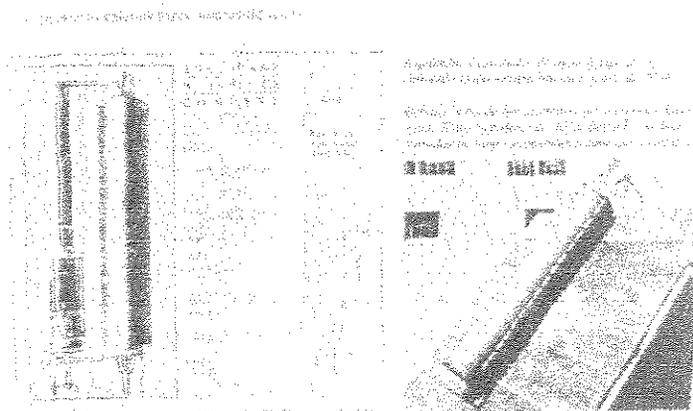
Logo em 1911, um engenheiro auto-didata, *Frank Shuman*, que residia na Filadélfia EUA, afirmava que, se a raça humana não aproveitasse a energia solar, a

mesma, regressaria à barbária. Após estudar os modelos de Willisie e Boyler decidiu seguir a mesma linha em utilização de líquidos com ebulição a baixas temperaturas.

Conseguiu instalar uma planta nos EEUU nas proximidades de sua residência na Pennsylvania precisamente em Tacony 1911.

Da antiguidade até a Revolução Industrial, podem-se justificar os fracassos da tecnologia solar devido à desenfreada credibilidade da termodinâmica e do desempenho das máquinas a combustão, como resultado de uma aceitação imediatista por grandes desempenhos e potências, centrados apenas em aspecto econômicos, sem absoluta avaliação dos aspectos ecológicos.

Uma das mais simples utilizações da energia solar que sobrevive ao tempo e às tentações da diversidade tecnológica da revolução industrial até os dias de hoje, é o aquecimento de água por termossifão, onde os primeiros aquecedores domiciliares nos EUA apareceram por volta de 1890, conforme mostram as figura 3.12 e 3.13.



**Figura 3.12:** Primeiros aquecedores de água domiciliar, período de 1890 a 1900.  
Fonte: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html> acessado em 15/07/2000.

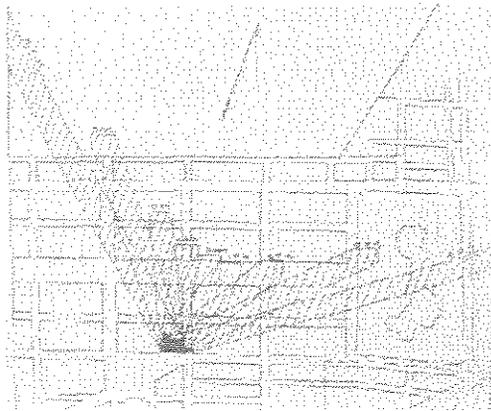


**Figura 3.13:** Casas americanas com aquecimento solar, em 1900.

Fonte: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>, acessado em 15/07/2000.

Após muitos séculos da observância e precaução dos gregos, retomam-se com seriedade os estudos sobre insolação e sombreamento, desta vez, com alteração da legislação americana na primeira década do século XX, onde se levanta a interferência dos edifícios altos sobre os mais baixos, como mostra um mapeamento da cidade de Boston em 1904, apresentado na figura 3.14.

A energia solar foi considerada como alternativa, em consequência da tecnologia convencional baseada na eletricidade, combustíveis derivados do petróleo, e outros combustíveis naturais que se arraigaram no planeta após a revolução industrial. Entretanto, toda a evolução dos sistemas solares se deve ao interesse por parte de pesquisadores e de certa forma pelo fascínio de extrair proveito dessa fonte em momentos de crise das fontes convencionais.

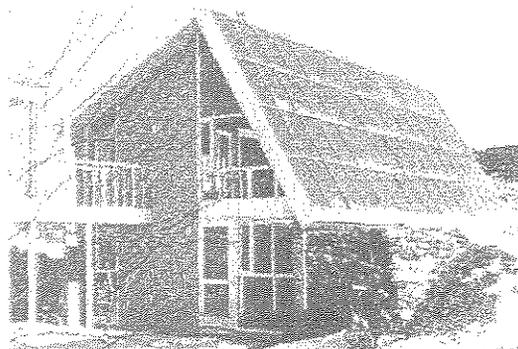


**Figura 3.14:** Obstrução solar provocada por um arranha-céu de Boston, em 1904.

Fonte: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>, acessado em 15/07/2000.

Sabe-se que foram inúmeras as crises do petróleo. Seus derivados com preços altos, e a expectativa de duração das reservas mundiais de petróleo, com os anos contados, reforçam a contínua busca por fontes alternativas.

A manifestação da energia alternativa ganhou grande força durante e após a segunda Grande Guerra, entre elas a solar recebe criteriosamente grande dedicação do MIT que, em 1958, termina por edificar a quarta residência com aproveitamento dessa fonte, para aquecer o ambiente e a água de consumo, apresentada na figura 3.15 (VÁZQUEZ, 2000).



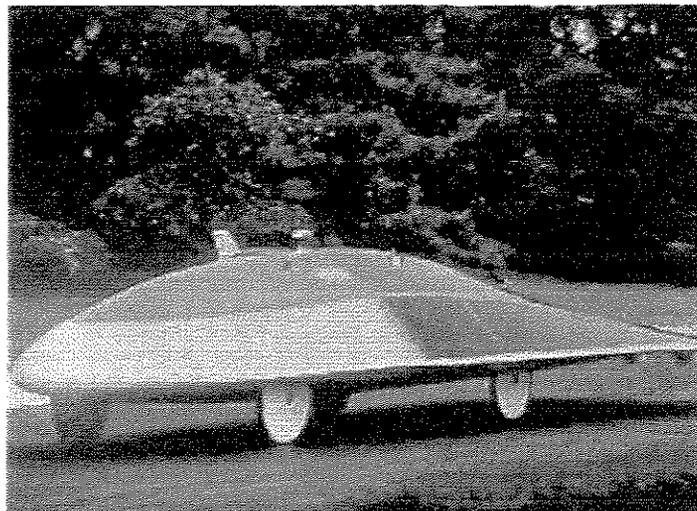
**Figura 3.15:** Execução com aproveitamento solar planejado pelo MIT.

Fonte: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>, acessado em 15/07/2000.

Em 1987, realizou-se na Austrália uma corrida de carros bastante atípica: o percurso era de 3200 km de extensão, ou seja, cortou-se o continente australiano. Não havia nenhum motor convencional nem queima de combustível, porém, a corrida se realizou sob o escaldante sol do deserto australiano com 25 automóveis movidos a energia solar. Sete países competiram (Austrália, Dinamarca, Alemanha Ocidental, Japão, Paquistão, Suíça e Estados Unidos).

O Sunraycer da General Motors (ver figura 3.16) , conquistou o primeiro lugar, registrando uma velocidade máxima de 112 Km/h e uma média de 80 Km/h.

O maior marco foi a conquista de uma prova que demonstrou que carros tal qual existem há um século, porém baseados na combustão poluente de matéria fóssil, e que podem ser um dia substituídos por estes veículos movidos a energia limpa (DUARTE, 1990).



**Figura 3.16:** Sunraycer da General Motors, 1987.

Fonte: Revista Super Interessante, Junho de 1990, Nº 6.

Todavia, nesta retrospectiva histórica sobre a utilização solar nas mais diversas formas, vale lembrar que a qualidade de vida do homem tem suas raízes na política e administração dos recursos energéticos e naturais. Nestes últimos se prevê num futuro

próximo a escassez de água no planeta, afetando sobremaneira as regiões áridas do mesmo. Mais uma vez se preconiza que as antigas técnicas de aproveitamento dos recursos naturais e alternativos sejam modelos da solução (VÁZQUEZ, 2000).

Nos países do terceiro mundo, tais como o Brasil, que não podem prescindir da tecnologia dos países industrializados, mas não devem ficar como simples espectadores, acontece um natural benefício: são contemplados por fontes naturais e alternativas em grande quantidade se comparado com os países de primeiro mundo.

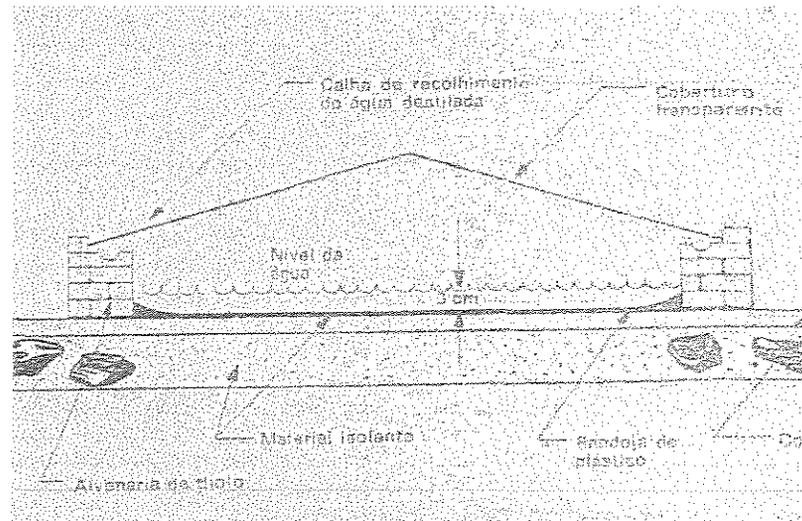
O Brasil com grandes dimensões se vê avantajado em insolação, ventos, quedas naturais de água, biomassa e outras riquezas naturais.

Em países como a Grécia, Israel, Paquistão e os remanescentes das antigas Repúblicas Socialistas, que possuem áreas desérticas próximas ao mar, utilizam-se com real sucesso destiladores solares com capacidade de remover o sal da água do mar, devolvendo água doce dentro dos padrões mundiais de saúde para o consumo humano. Tais destiladores se baseiam no princípio do efeito estufa e na condensação da água que escorre naturalmente por gravidade para uma canaleta lateral onde se canaliza a água doce, conforme pode-se ver na figura 3.17.

Segundo a **Secretaria de Tecnologia Industrial (1978)**, esta aplicação, embora, necessite de um investimento de capital inicial apreciável, é considerada viável quando não existem condições de disponibilizar água potável e transporte da mesma.

Inaugurada em 1872, uma destiladora solar para transformar água salgada em doce, trabalhou ininterruptamente até 1910 em Antofagasta, província do norte do Chile. Com capacidade de produção de 20 metros cúbicos de água por dia, o equivalente a uma produção de 4,3 litros de água por dia por unidade de área da instalação, somente deixou de funcionar pela entrada de outros meios de transporte da água potável (BEZERRA 1990).

Com a projeção de vida das atuais reservas de petróleo e seus derivados, sabe-se que o homem se obriga a mudar a tecnologia para continuar vivendo. A expectativa da energia solar, já vem sendo um ícone de expressão para a solução energética. (KREITH, 1978)



**Figura 3.17:** Destilador Solar de água do mar.

Fonte: Bezerra 1990

A energia nuclear, muito discutida para suprir a demanda mundial, teria potência e desempenho para acabar com os problemas de suprimento, lamentavelmente uma série de outros fatores fazem desta alternativa inviável, como por exemplo, altos custos tecnológicos de instalação, sérios riscos em caso de vazamento acidentais, e alto custo para armazenamento dos resíduos, tornando esta modalidade ecologicamente inviável (AGARWAL 1985).

Fala-se muito em hidrogênio como sendo a fonte de suprimento energético no futuro. Sabe-se que este elemento químico não se encontra dissociado na natureza, mas está presente em quase tudo. Por isso, deverá ser, no futuro, o que o petróleo foi neste século. Isso acontecerá quando o homem dominar os segredos da fusão nuclear, o que significa hoje um árduo desafio à ciência. (FRANÇA 1988).

## 3.4 Sistemas de Aquecimento de água com aproveitamento da Energia Solar

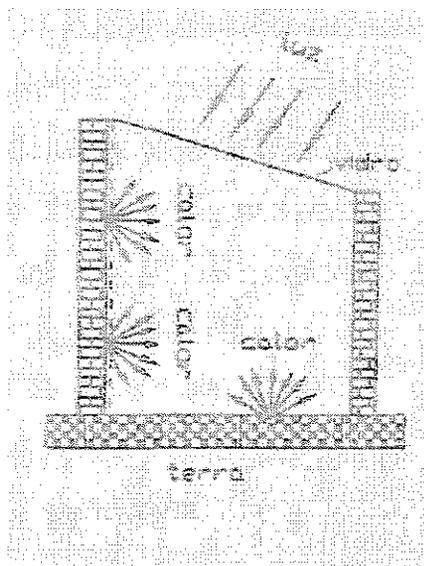
### 3.4.1 Composição Básica e Disposições Construtivas dos Coletores e Reservatórios

O processo de aquecimento de água através do aproveitamento da energia solar consiste, basicamente em absorver a radiação solar e transferi-la para um reservatório térmico na forma de calor.

Um corpo que recebe energia solar, pode ser dosado em frações de: absorvância ( $a$ ), refletância ( $r$ ) e transmitância ( $\tau$ ). A primeira parte é a fração absorvida, a segunda parte é a fração refletida e a última é a transmitida. A soma dessas três frações gera o índice 1. As substâncias que possuem absorvância unitária ou aproximadamente unitária, são o negro de fumo, a platina negra e o bismuto negro, absorvendo de 0,98 a 0,99 da radiação total incidente. Um corpo que possui refletância e transmitância nulas, é considerado um "corpo negro" (Kern, 1980).

O efeito estufa ocorre quando a luz penetra numa região cuja fronteira, obviamente transparente para a luz, não é transparente para o calor. Nesse caso, os corpos internos à região absorvem parte da luz nela incidente e se aquecem, passando a irradiar o calor como onda eletromagnética, que, não podendo atravessar a fronteira, volta a incidir sobre esses corpos, aquecendo-os cada vez mais, enquanto dura o processo.

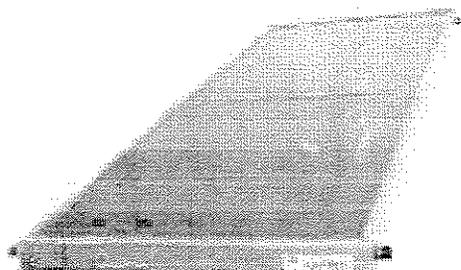
Este princípio físico é empregado pelas estufas de vidro em países de clima frio para o cultivo de plantas tropicais, aproveitando-se apenas da energia solar. Nota-se que este princípio foi o mesmo que conferiu a capacidade de cocção de alimentos na caixa de calor de Saussure, em 1767. Na figura 3.18 está ilustrado esse efeito.



**Figura 3.18:** Efeito Estufa.

Fonte: Souza (1994).

O componente do sistema dedicado à captura dos raios solares é denominado de “coletor solar”. Os coletores solares para aquecimento de água, se projetam em cor escura. A cor negra predomina, comprovando a teoria da absorção de energia, segundo um corpo negro. Neste elemento pode-se ainda potencializar o calor, promovendo o acúmulo do mesmo se ocorrer o efeito estufa. Para isto cria-se uma passagem transparente (Ver figura 3.19) que pode ser de vidro, fechando-se hermeticamente com o coletor.



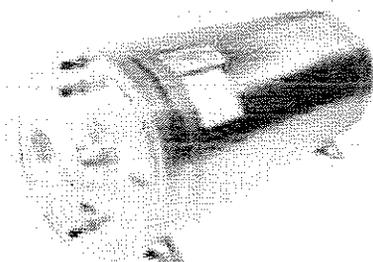
**Figura 3.19:** Coletor solar fechado.

Fonte: [www.soletrol.com.br](http://www.soletrol.com.br), acessado em 20/5/1999.

O desempenho desta categoria de coletor, segundo **HASEGAWA (1985)**, apresenta diferenças desprezíveis após 5 anos de utilização, pois os materiais e componentes do coletor (feitos em cobre, alumínio e vidro) em funcionamento não possuem uma deterioração apreciável, conferindo ao conjunto grande longevidade.

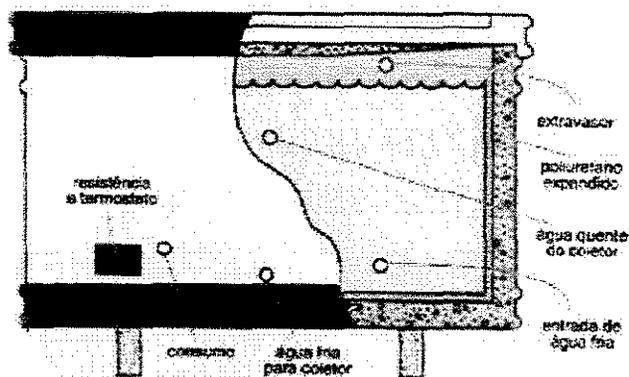
O reservatório térmico, hermético e passível de trabalhar sobre pequenas pressões ou no máximo confinado a 40 m.c.a. no Brasil, é usualmente denominado *boiler*, ver figura 3.20

Para desempenhar essa mesma função, existe também no mercado brasileiro um reservatório em fibrocimento, passível de trabalhar em nível com a reserva de água fria e sujeito à pressão atmosférica. A figura 3.21 mostra esse reservatório térmico.



**Figura 3.20:** Boiler.

Fonte: [www.soletrol.com.br](http://www.soletrol.com.br) , acessado em 20/5/1999.



**Figura 3.21:** Reservatório Térmico.

Fonte: Adaptado de Heliotek, (2000).

Termossifão, é um fenômeno que acontece quando duas massas líquidas com diferentes temperaturas, que se comunicam entre si, e que através do princípio natural de que um fluido aquecido tem menor densidade, este, acaba depositando-se sempre nas cotas mais elevadas, gerando assim uma circulação natural do fluido, que somente para quando deixa de existir um diferencial térmico **BEZERRA (1990)**.

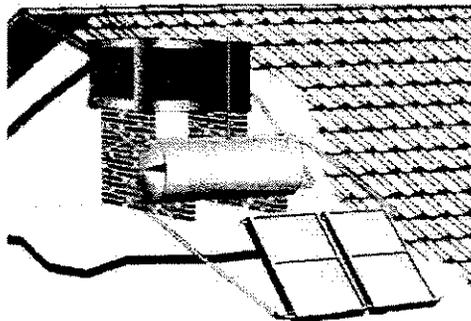
O termossifão natural, é um processo de troca de calor por convecção.

A transmissão de calor por convecção é devida ao movimento do fluido. O fluido frio adjacente a uma superfície quente recebe calor, o qual é transmitido para todo o volume do fluido frio misturando-se com ele. A convecção livre ou natural ocorre quando o movimento do fluido não é incrementado por agitação mecânica (**Kem, 1980**).

Nos sistemas de aquecimento de água através do sol, para que o fenômeno da convecção ocorra, é necessário de fato que as massas diferenciais em temperatura que realizam o fenômeno, fiquem em desnível.

Como o reservatório térmico deve estar permanentemente cheio de água, se faz necessária, uma adução constante, preferencialmente feita por gravidade, significando que, sobre o reservatório térmico, ainda seria necessário acomodar um reservatório de água fria.

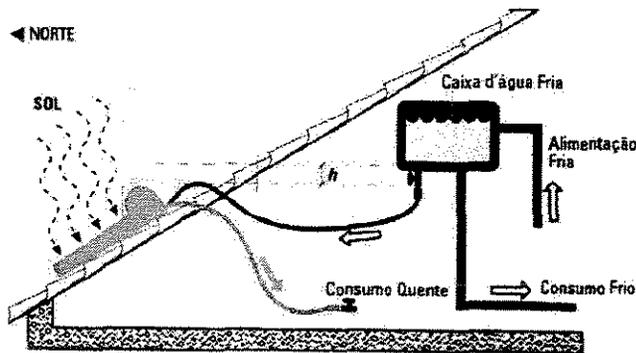
A disposição ideal para funcionamento do sistema por convecção da água projeta uma acomodação em desnível, como mostra a figura 3.22.



**Figura 3.22:** Situação em desnível de um sistema convencional.

Fonte: Enalter (2000).

De sua vez, o modelo do sistema solar mostrado na figura 3.23, corresponde a uma racionalização do volume da reserva de água quente, com objetivo de atender de forma mais flexível às edificações já executadas, que não foram planejadas para possuir aquecimento solar, e especialmente onde não existe a possibilidade de acomodação de um reservatório térmico de maiores dimensões. O volume racionalizado fica na parte superior dos coletores, realizando assim, de forma garantida, a convecção da água.



**Figura 3.23:** Sistema em desnível, com volume racionalizado.

Fonte: Adaptado de Heliotek,(2000).

O maior encargo para realizar o fenômeno da convecção, respeitando as especificações técnicas mencionadas, recai na a arquitetura necessária, geralmente onerosa para a instalação do sistema em desnível (ver figuras 3.24 e 3.25).



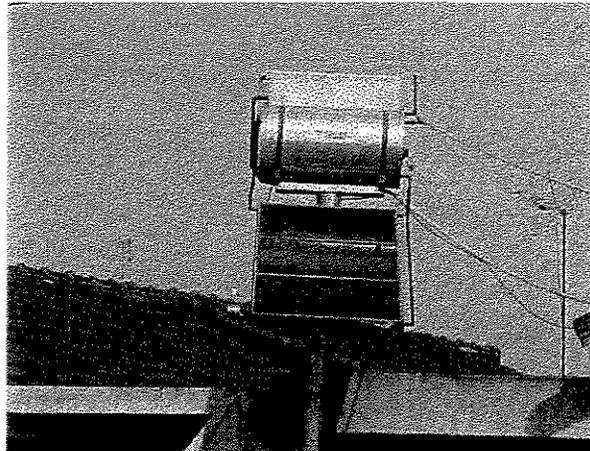
**Figura 3.24 :** Desnível necessário para proporcionar a convecção da água.

(a) Situação em telhado alto, (b) detalhe.



**Figura 3.25:** Torres salientes em telhados baixos, que possibilitam a convecção da água.

Outro exemplo é mostrado na figura 3.26, referente a uma habitação popular localizada na cidade de São Manuel, interior de São Paulo.



**Figura 3.26:** Sistema externo por convecção em habitação popular.

A condição essencial num sistema solar é a disposição e orientação correta dos coletores, apontando para o norte geográfico. Posição esta, onde os coletores são expostos ao maior número de horas de radiação solar. Esta regra, tida como principal, normalmente é a mais desrespeitada, e o motivo imperioso é a ausência de previsão no projeto por sistema de aquecimento solar.

Segundo dados fornecidos por uma casa comercial de aquecedores, 75% das pessoas que podem pagar pela implantação de um sistema solar não foram orientadas no instante do projeto quanto à forma energética para aquecer a água do banho sem ser pelo chuveiro elétrico. Vale ressaltar que a afirmação refere-se às residências unifamiliares.

A carência de informação, muitas vezes não é displicência profissional dos engenheiros e arquitetos envolvidos, mas resultado de uma conduta de mercado que prima por não reconhecer a importância do projeto dos sistemas prediais, sob a suposta idéia de economia, aliada a uma saturação de profissionais, que deflagra toda a responsabilidade de funcionamento desses sistemas na figura do instalador, o qual acaba sendo o maior especificador, decidindo sobre materiais, diâmetros e marcas no momento da execução.

Neste cenário, o sistema solar, que exige várias recomendações, pode perder seu desempenho, trazendo descontentamento ao investidor.

Mudar o cenário parece utópico, razão pela qual os bons fabricantes se empenharam em atender da melhor forma possível a todo tipo de situação, mesmo que o cliente não tenha sido orientado na fase de projeto. Estas mudanças tecnológicas incorporaram maior flexibilidade aos sistemas solares para aquecimento de água. Entretanto, mesmo assim, uma simples compra do sistema sem assistência na instalação continua por ser um detrimento do sistema.

Com relação à impossibilidade de atender à colocação dos coletores dispostos para o norte magnético, alguns fabricantes aconselham aumentar a área dos coletores para compensar essa deficiência, desde que sejam dispostos preferencialmente para o sol da tarde.

Infelizmente, tal recomendação acaba onerando o sistema, que já é caro. Caso o usuário não majore o número de coletores, sentirá a deficiência no inverno, estação onde o sol tem uma trajetória num plano mais inclinado do que no verão.

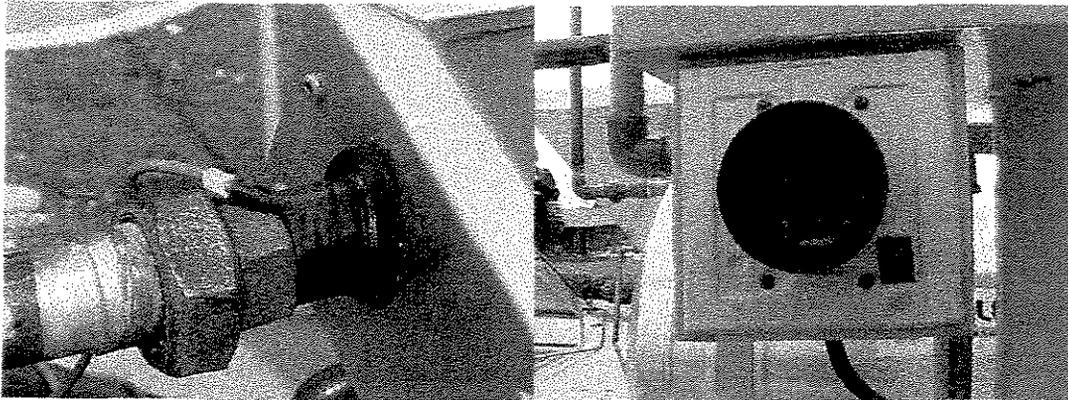
A evolução tecnológica dos diversos modelos de aquecedores solares de acumulação gira em torno das condições locais. Ocorre que, durante muito tempo, se explorou o termo-sifonamento, porém, esta técnica só é possível de implantação em telhados altos ou em torres salientes conforme visto anteriormente nas figuras 3.24 e 3.25.

As tentativas de nivelar ou desnivelar desfavoravelmente o conjunto formado pelo reservatório de água fria, de água quente e os coletores, exigem a presença de uma bomba elétrica de baixa potência (entre 1/7 a ¼ de HP), para a circulação forçada.

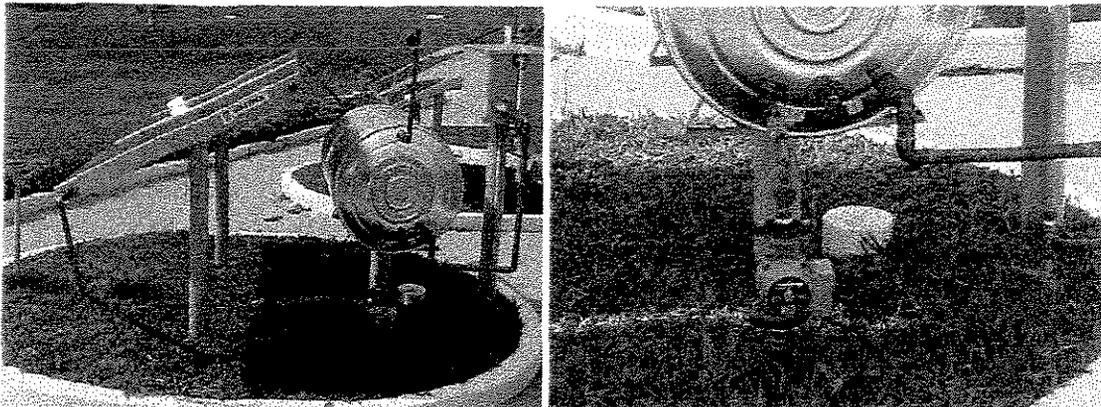
Esta técnica, define ao sistema um gasto contínuo de energia elétrica entre o período de circulação da água entre os coletores solares e o reservatório térmico. Embora seja pequeno o consumo de energia elétrica, tal quantidade incomoda a tese prioritária de excluir a eletricidade.

Além disto, esta situação particular, para oferecer um maior conforto ao usuário, exige a instalação de sensores eletrônicos de calor (ver figura 3.27) , cuja função específica é o acionamento e desligamento da bomba de forma automática através da temperatura diferencial na entrada e saída do reservatório térmico. ([witss.gdl.itesso.mx/solar/cap09.html](http://witss.gdl.itesso.mx/solar/cap09.html), acessado em 18/4/1998).

A figura 3.28 apresenta a situação de utilização de uma bomba elétrica para forçar a circulação pelos coletores.

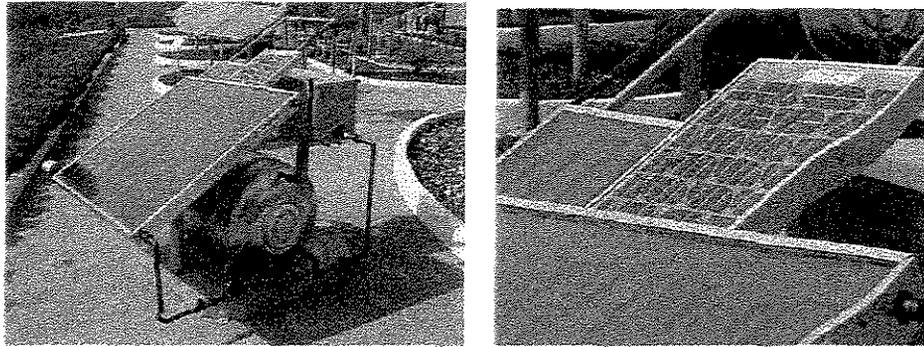


**Figura 3.27:** Sensor de calor na saída do coletor e comando eletrônico de acionamento da bomba auxiliar pressurizadora.



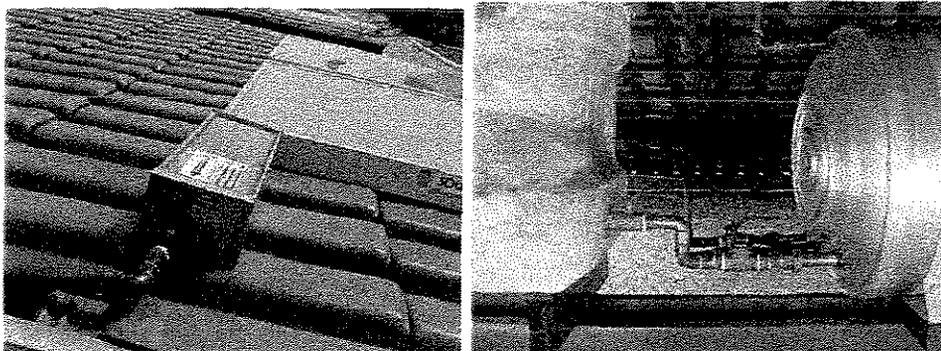
**Figura 3.28:** Circulação forçada entre coletores e reservatório térmico mediante bomba de baixa potência.

Existe também, disponível no mercado nacional, uma bomba movida pela corrente gerada por uma célula fotovoltaica, mas seu custo ainda é proibitivo. Um exemplo é mostrado na figura 3.29.



**Figura 3.29:** Circulação forçada por bomba acionada por energia elétrica gerada em célula fotovoltaica incorporada no sistema.

Inserido nesse contexto, foram desenvolvidos aquecedores solares totalmente em nível, para telhados baixos, sem bomba elétrica, mas com célula solar de desnível negativo. Um exemplo desse sistema é apresentado na figura 3.30.



**Figura 3.30:** Sistema solar totalmente em nível, para telhados baixos, com célula solar de desnível negativo.

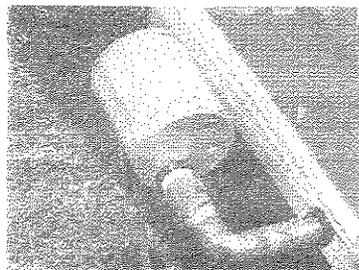
A válvula solar de desnível negativo ilustrada em detalhe na figura anterior, segundo o fabricante (Soletrol), encontra-se em fase de aperfeiçoamento, para comandar com maior sensibilidade a abertura e fechamento da mesma num horário de maior amplitude. Atualmente, este dispositivo, demora muito para abrir e fecha rápido demais, ainda na presença de radiação solar, desperdiçando o aproveitamento da energia em algumas horas do dia, motivo pelo qual tal acessório não está ainda disponível para venda.

Um problema que pode ocorrer acidentalmente nos sistemas solares, é o congelamento da água presente na tubulação do coletor, evento esse bastante provável nas madrugadas de invernos rigorosos.

Os hidrogênios presentes na molécula de água se arranjam numa estrutura mais volumosa, provocando, nas tubulações e suas conexões, forças radiais com a capacidade de romper esses materiais. Este fenômeno tem causado grandes avarias nas instalações de sistemas solares de muitas cidades brasileiras. Em Americana, cidade do interior de São Paulo, por exemplo, este fenômeno ocorreu duas vezes em menos de 15 anos.

Para contornar esse problema, os sistemas de aquecimento solar, incorporaram a denominada “válvula anti-congelamento”, a qual consiste, essencialmente numa válvula solenóide de baixa potência elétrica, que regula um dispositivo de abertura e fechamento de um mini registro, cuja função específica, é esvaziar os coletores na presença de água a 4°C. Esse acessório pode ser visualizado na figura 3.31.

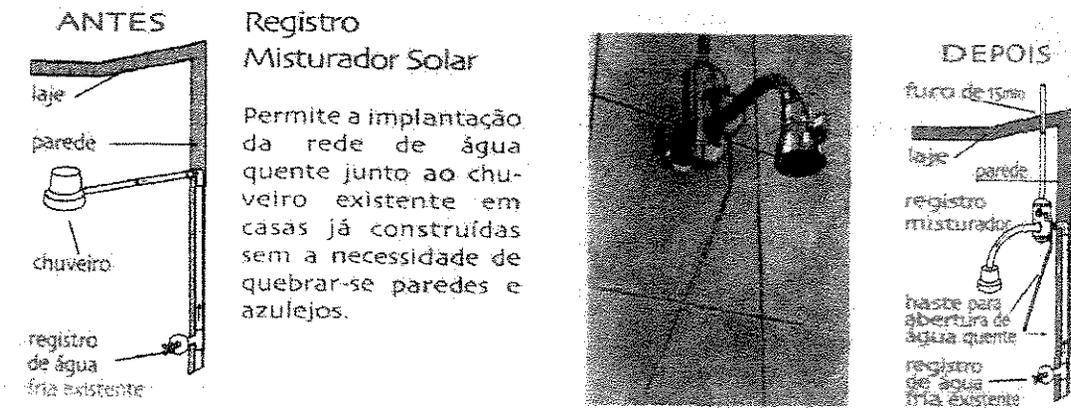
Outro fato a ser considerado é a dificuldade de implantação de sistemas solares para aquecimento de água, em edificações existentes, nas quais foi empregado chuveiro elétrico. *A priori*, seriam necessárias instalações de tubos e misturadores resistentes a maiores temperaturas, provocando grande intervenção na edificação. Entretanto, um fabricante nacional desenvolveu um sistema onde as modificações necessárias são mínimas, bastando apenas um pequeno furo na laje para oferecer a passagem de um tubo de 15mm.



**Figura 3.31:** Válvula Anti-congelamento.

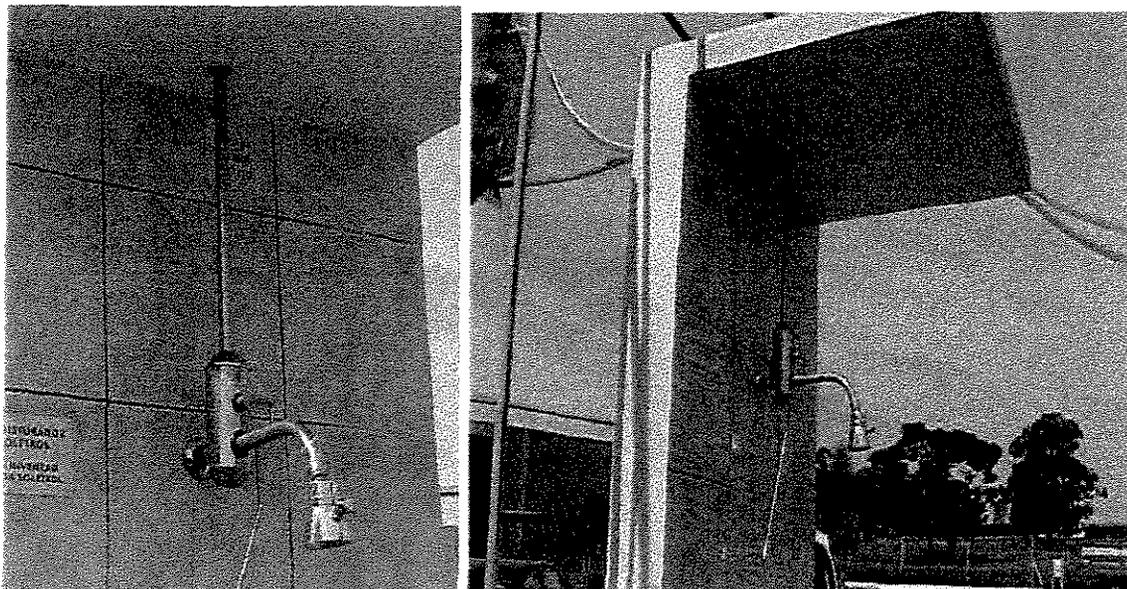
As figuras 3.32 e 3.33 mostram um registro misturador que aproveita a instalação existente e provoca um pequeno impacto na substituição tecnológica do chuveiro elétrico por um sistema de aquecimento solar numa edificação existente.

Tal disposição depende apenas da insolação, pois o pequeno reservatório, pode ser abastecido diretamente do ramal da rua, já que o mesmo é provido de uma chave-de-bóia.



**Figura 3.32:** Substituição do chuveiro elétrico em edificação existente.

Fonte: [www.soletrol.com.br](http://www.soletrol.com.br), acessado em 20/05/99.



**Figura 3.33:** Ducha solar instalada.

Porém, este *kit* solar, composto pelo reservatório, coletor acoplado, ducha e registro misturador, somente pode ser adquirido por completo e não por partes, segundo exigências do fabricante, o que impossibilita o seu emprego em conjunto com sistemas de outros fabricantes.

### 3.4.2 Tubulações do sistema predial de água quente

Existem basicamente três materiais nas tubulações dos sistemas prediais de água quente, empregados independente da fonte energética utilizada para aquecer a água: cobre; Cloreto de polivinila pós-clorado (CPVC) e polietileno reticulado (PEX).

Vale ressaltar que o custo do sistema solar não é composto apenas pelo preço dos coletores e do reservatório térmico, devendo ser considerado também o arranjo arquitetônico favorável ou não à implantação dos sistemas e os materiais resistentes ao calor (tubos, conexões, registro, misturadores, isolantes) além da mão de obra empregada na execução, o que resulta em um valor bem superior ao do preço do equipamento isolado.

Os pesos financeiros das partes componentes dos sistemas solares são diferentes. O cobre, por exemplo, é um metal de boa transmissão do calor, razão pela qual é largamente empregado em tubulações para água quente. Por se tratar de material extraído da natureza e escasso em muitos países possui um custo normalmente elevado.

Desenvolvido pela BF Goodrich Chemical Group em 1958 o Cloreto de Polivinila Pós-Clorado (CPVC) é um material plástico e rígido que suporta temperaturas em torno de 80 a 100 °C ( **FILER, 1983**).

Os resultados positivos dos testes realizados com materiais plásticos resistentes às altas temperaturas, tem garantido a substituição do cobre pelo CPVC nos países industrializados.

Recentemente popularizado no Brasil, o CPVC inicia-se como potencial concorrente do cobre, com a vantagem da fácil operação de solda e a dispensa do isolante térmico, oferecendo um custo de aplicação inferior ao cobre. Entretanto, quando empregado em aparelhos de alto desempenho térmico, torna-se necessária a utilização de uma termo-válvula para, em caso de falha no aquecedor, não existir comprometimento desse material.

Essa possibilidade econômica de mercado se deve principalmente à fabricação do CPCV em território nacional.

Mais recentemente, tem sido empregados no Brasil os tubos de polietileno reticulado (PEX), também resistentes a temperaturas elevadas (95°C).

Segundo **LENMAN (1983)** a marca Wirsbo-PEX, comercializada em grande escala nos países europeus desde 1972, foi mundialmente reconhecida pelo PEX .

Conforme esse mesmo autor, o PEX apresenta as seguintes características

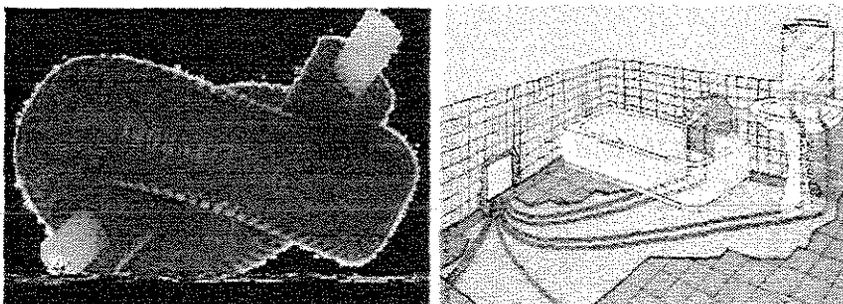
- Alta resistência no estágio de tensão última de fissuração;
- Mesmo curvado, atinge as mesmas tensões de ruptura na água aquecida ou gelada;
- Grande flexibilidade;
- Elevada resistência aos choques térmicos e,
- Longevidade na resistência térmica.

Até 1983 havia, mais de dois milhões de metros instalados e funcionando com água aquecida no mundo apenas da marca Wirsbo-PEX .

Para compreender o relativismo tecnológico, Israel, em 1983, já possuía mais de dezoito mil habitações empregando o plástico nos sistemas prediais de água quente.

Segundo pesquisa piloto realizada nesse país por **SILBERSTEIN (1983)**, o PEX apresentou superioridade sobre o CPVC com relação ao número de patologias relativas a vazamentos.

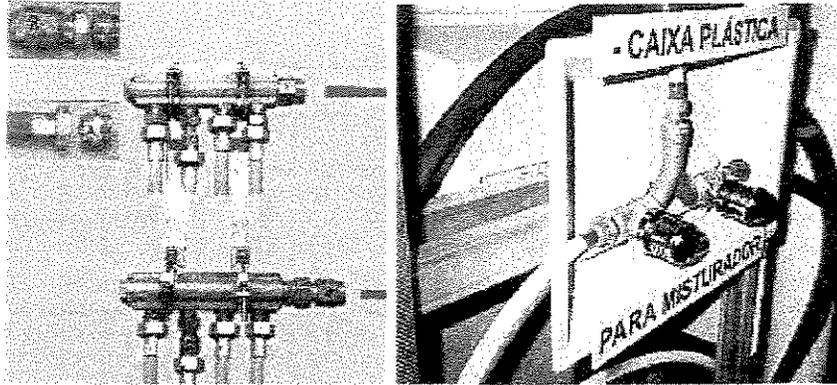
Consagrado como o mais versátil e eficiente material de condução de água quente, o PEX, pode ser aplicado com a filosofia do sistema elétrico predial, isto é, o tubo de polietileno corre no interior de uma outra tubulação, conferindo a este sistema absoluta acessibilidade na manutenção, sem comprometimento das paredes e revestimentos (ver a figura 3.34).



**Figura 3.34:** Sistema de água quente com tubulação em polietileno reticulado (PEX).

Fonte: PEX do Brasil (2000).

Na utilização do PEX, um dos sistemas consiste no abastecimento da água quente para os pontos de consumo, a partir de caixas de distribuição (ver figura 3.34).



**Figura: 3.35:** Sistema de água quente em PEX – Caixa de distribuição.

Fonte: PEX do Brasil (2000).

Com alto coeficiente de expansão os sistemas em PEX, dispensam as juntas tradicionais das tubulações executadas, por exemplo, em cobre.

O PEX, somente é comercializado no Brasil por importadoras, que o trazem da Europa e Israel, ainda com preços elevados. Além disso, a carência de literatura, faz desse material uma prática de pequenas elite, em número ainda insignificante para considerá-lo um material popular.

Consultas informais, realizadas com alguns comerciantes de materiais hidráulicos e projetistas de sistemas prediais, revelaram que por enquanto fica como opção econômica a utilização do CPVC no Brasil, ainda que com relativa resistência do usuário, por não conhecer as características e garantias desse material.

### **3.4.3 Sistemas Complementares ao Aquecimento Solar**

Conforme IBGE, apud <http://www.mre.gov.br/ndsg/textos/brinfg-p.htm> (2000) o Brasil tem uma superfície de 8.547.403 km<sup>2</sup>, temperatura média entre 18 a 22 °C, e está situado em região tropical, privilegiado ainda por 2.500 horas de insolação ao ano (SAGLIETTI, 1997) conferem a este país, grande possibilidade de aproveitamento da energia solar.

Entretanto, em função da variação sazonal da insolação, os sistemas solares são normalmente complementares a um sistema de aquecimento que emprega outra fonte energética, usualmente eletricidade ou gás combustível (PRADO, 1991). Por esta razão serão comentados esses vetores tecnológicos que obrigatoriamente devem fazer parte dos sistemas de aquecimento solar como medida de garantia no aquecimento na ausência de radiação solar (dias muito nublados, frios ou chuvosos).

### **3.4.3.1 Aquecedores Centralizados a Eletricidade e Gás Combustível**

O apoio elétrico nos sistemas solares têm sido utilizado em grande escala sob efeito da política energética e da cultura brasileira. Nota-se essa conduta delineada já no processo fabril dos aquecedores solares em terreno nacional, cuja opção por esse vetor energético vem definido da linha de produção nas mais variadas fabricações, fazendo desse apoio térmico um verdadeiro paradigma.

Cabe frisar, que tal preferência está associada à economia, conforto e facilidade na instalação.

Podem-se observar as seguintes características dos sistemas a gás em prol da preferência elétrica nos sistemas solares:

- Exigem tubulação especial para condução do mesmo;
- Exigem de sistemas exaustores dos gases residuais, de ambientes ventilados e visitáveis;
- Não existe distribuição de gás de rua na maioria das cidades brasileiras;
- A administração de botijões de gás liquefeito de petróleo (GLP), oferece incômodo aos usuários, mesmo com entrega a domicílio;
- No caso de reserva maior de GLP, o usuário fica comprometido ao sistema de comodato junto ao fornecedor que concede um tanque reservatório, obrigando-se a comprar o gás desse único fornecedor;

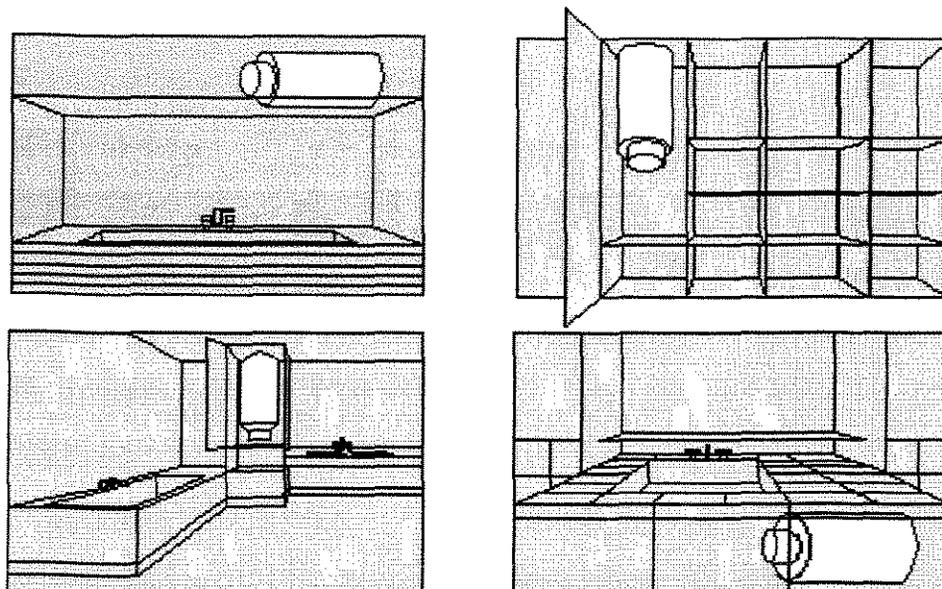
- Preconceito do combustível quanto à segurança nos sistemas aquecedores de água;

Outros fatores que reduzem a escolha dos sistemas a gás como apoio térmico dos sistemas solares têm cunho físico.

Os sistemas a gás existem em duas modalidades, reservatórios térmicos e aparelhos instantâneos de passagem. Os primeiros mantêm um volume de água sempre na temperatura desejada através de um termostato que controla o acendimento do fogo no queimador do reservatório.

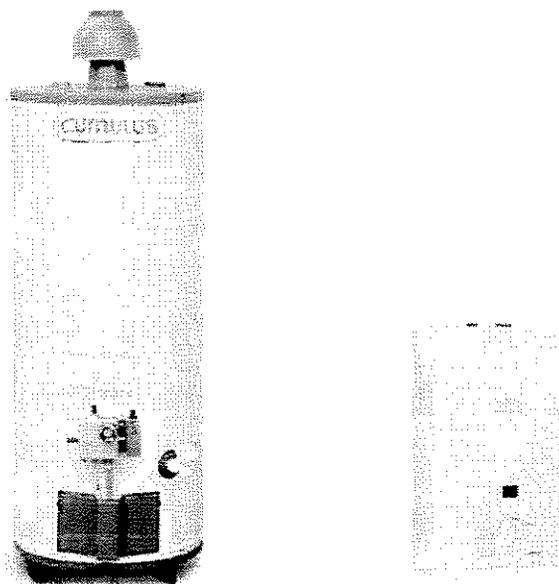
Este tipo de aquecedor, por razões óbvias deve permanecer na vertical para realizar sua função, razão pela qual é concebido de fabricação na forma cilíndrica e vertical, forçando-os a permanecerem em lugares ventilados e acessíveis, reduzindo assim, a flexibilidade de locação dos mesmos dentro de uma habitação. Ainda neste aspecto os *boilers* elétricos têm a vantagem de serem produzidos verticais e horizontais, conferindo maior flexibilidade de instalação desses aparelhos em pequenos espaços, como mostra a figura 3.36.

A figura 3.37, mostra os dois tipos mais comuns de aquecedores a gás introduzidos no mercado brasileiro, o de passagem e o *boiler*.



**Figura 3.36:** Flexibilidade na instalação de *boiler* elétrico.

Fonte: [www.ibrerdrola.es/actualidad/agua/3.htm](http://www.ibrerdrola.es/actualidad/agua/3.htm), acessado em 25/04/1998



**Figura 3.37:** Modelos tecnológicos de aquecedores a gás, tipo boiler e instantâneo.

Fonte: [www.cumulus.com.br](http://www.cumulus.com.br), acessado em 15/04/2000

Os aparelhos instantâneos de passagens, embora mais flexíveis que os reservatórios, devido ao reduzido tamanho, também se obrigam a ficar em lugares acessíveis e ventilados. Munidos de longa serpentina de 3/8" a 1/2" tais aparelhos oferecem grande perda de carga na passagem da água, razão pela qual fabricantes estabelecem pressões mínimas de funcionamento ao redor de 4 metros de coluna de água (m.c.a.), inviabilizando-se nas habitações térreas onde a rede de água trabalha em baixa pressão, a não ser que seja incorporado ao sistema uma bomba elétrica de baixa potência, que soma mais um fator negativo ao custo benefício, ou a ligação direta com a rede da rua, que pode trazer os inconvenientes da intermitência do abastecimento público e pressões superiores a 40 m.c.a. podem danificar o aparelho. Neste caso as válvulas redutoras de pressão, também encarecem o conjunto.

Outro aspecto físico do aparelho a gás instantâneo é devido ao bom funcionamento entre pressões de 4 a 40 m.c.a. sendo assim, aceitável em edifícios altos, que por sua vez têm pouca ou nenhuma possibilidade de locar espaço aos coletores solares se pensado este sistema para o edifício todo.

Hoje, esta bateria de inconvenientes restringe a utilização do sistema conjugado sol e gás, às classes mais favorecidas que através de elevado investimento inicial, poderão ter um *payback* precoce apostando no custo do GLP e da esperança que com a popularização do gás natural (GN) que vem da Bolívia, hajam tarifas atrativas num futuro próximo para todas as classes desses combustíveis se comparadas às crescentes tarifas da energia elétrica.

Não obstante, se faz necessário a título de investigação, a menção de estudos sobre a combinação do aproveitamento solar e a utilização de aparelhos a gás de passagem em países industrializados, como por exemplo, recentemente no Japão como estão sendo empregados esses vetores energéticos de forma crescente, e percebendo-se que a temperatura da água varia dramaticamente entres esses dispositivos e os pontos terminais de consumo, ENOMOTO (1997) apresentou um sistema de pré-aquecimento solar associado a um aquecedor a gás instantâneo,

segundo duas montagens, e o objetivo desta pesquisa foi avaliar a temperatura nos pontos terminais de consumo com a preocupação da conformidade dos padrões de segurança contra queimaduras devido à dinâmica da mistura desses vetores energéticos.

A disposição que esse autor apresentou, mostrou resultados satisfatórios centrado nas características dinâmicas do funcionamento. Tal experiência, além de todos os equipamentos citados, utilizou tubulações em PEX na condução da água quente, cabendo dizer que a reprodução dessa experiência, ainda é proibitiva à realidade brasileira conforme visto anteriormente.

Todavia, é importante dizer que o âmbito deste trabalho está centrado na habitação de baixa renda, onde o chuveiro elétrico é o equipamento mais empregado, sistema este que será abordado no próximo item e terá um espaço especial na análise experimental proposta na metodologia.

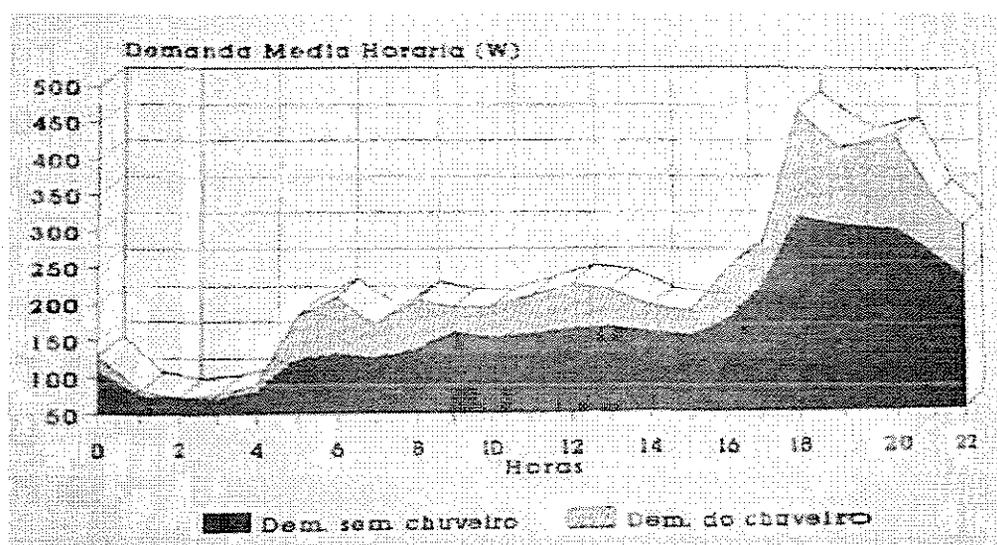
### **3.4.3.2 Chuveiro Elétrico**

Como visto em 3.2 o chuveiro elétrico pode ser considerado o “vilão” dos picos da demanda. Com preços de mercado entre R\$ 15 a R\$ 60 sem necessidade de tubulações resistentes à água quente fazem desse equipamento uma contínua preferência popular, ainda com as tarifas atuais.

**PRADO (1992)**, apresenta uma investigação de campo realizada na Região Metropolitana de São Paulo, especificamente numa obra de interesse social da COHAB/SP, onde foram entrevistadas 130 famílias e realizado o monitoramento de medidores de energia elétrica com a finalidade de averiguar a demanda e a contribuição específica do chuveiro. O resultado obtido mostrou, que o chuveiro tem realmente grande influência nos horários de ponta, e também foi concluído que o problema deveria ser resolvido através de vetores energéticos e de equipamentos.

Entre os equipamentos a serem considerados, esse autor cita o medidor de consumo para estratificação de tarifas em horários. A figura 3.38 ilustra a participação do chuveiro elétrico na curva da demanda ao longo de 22 horas.

A Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) e a Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP realizaram entre 1991 a 1997 uma importante experiência para avaliação de sistemas tecnológicos alternativos e elétricos para o aquecimento de água residencial, com a utilização do gerenciamento da energia elétrica pelo lado da demanda (GLD).



**Figura 3.38:** Demanda específica do chuveiro elétrico ao longo do dia.

Fonte: PRADO (1992).

Nesta experiência realizada, em 7 unidades residenciais, foram testados e medidos sistemas de pré-aquecimento solar com apoio elétrico de baixa potência. Foram utilizados coletores convencionais apenas para gerar o pré-aquecimento. Os resultados parciais dessa experiência são apresentadas na tabela 3.3.

**Tabela 3.3:** Investimentos em três modalidades de aquecedores

ALTERNATIVA TECNOLÓGICA	INVESTIMENTO (a)		
	POTÊNCIA (Kw)	P/Consumidor (US\$) (b)	P/Concessionária (US\$) (c)
Chuveiro Elétrico	4,4 a 6,5	10 a 40	880 a 1300
Aquecedor Solar	3,0 a 4,0	1000 a 1500	200 (d) a 800
Pré-aquecedor Solar	1,7 a 2,0	400 a 580	340 (d) a 400

(a) Considera sistemas para residências com 4 ou 5 pessoas;

(b) Preços médios de mercado em 1993;

(c) Valores de investimento para CPFL baseados em custos marginais de 1991, para horário de ponta com duração de três horas

(d) O valor inferior considera que o resistor elétrico do reservatório térmico funciona fora do horário de ponta.

Fonte: CPFL (1998)

Um estudo similar, foi realizado em um bairro de Campinas, junto a consumidores ligados à subestação transformadora de energia elétrica Bandeirantes, da CPFL, em uma amostra de cerca de 400 consumidores. **(OLIVA, 2000)**.

A tabelas 3.4 e 3.5 mostram os resultados qualitativos e quantitativos dessa experiência, cabendo frisar que além do sistema de pré-aquecimento solar, foram experimentados dispositivos limitadores de horário e estratificação da tarifa com preços atraentes fora dos horários de pico.

**Tabela 3.4:** Resultados qualitativos do estudo

ALTERNATIVA	VANTAGENS PARA O CONSUMIDOR	DESVANTAGENS PARA O CONSUMIDOR
<b>Limitador de Demanda de Energia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuição garantida do valor da conta de energia (desconto de 20%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impossibilidade do banho (com água quente) no horário de ponta</li> </ul>
<b>Tarifa Amarela</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexibilidade no horário de banho</li> <li>• Diminuição da conta de energia se mudar o hábito de banho (horário)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento do valor da conta de energia se não mudar o hábito de banho</li> </ul>
<b>Aquecedor Solar de Baixo Custo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não é necessário mudar o hábito (horário) de banho</li> <li>• Diminuição do valor da conta de energia</li> <li>• Aumento do conforto (mais água quente)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento na aquisição do aquecedor solar (financiado)</li> <li>• Aumento (eventual) do valor da conta de água</li> </ul>

Fonte: OLIVA (2000)

**Tabela 3.5:** Resultados Quantitativos

ITEM PESQUISADO	LIMITADOR DE ENERGIA	TARIFA AMARELA	AQUECEDOR SOLAR
<b>Avaliação Conceitos (0 a 10)</b>	5,73	5,98	5,20
<b>Pontos Positivos (%)</b>	Desconto (26%) Economia (24%)	Desconto (27%) Economia (21%)	Economia (36%) Pagar menos (35%)
<b>Pontos Negativos (%)</b>	Horário p/banho (40%) Corte inesperado (24%)	Maior gasto na ponta (34%) Horário p/banho (28%)	Custo Alto (54%) Muito tempo p/pagar (28%)
<b>Escolheria em 1º lugar</b>	30%	28%	20%

Fonte: OLIVA (2000)

Os chuveiros elétricos disponíveis no mercado nacional, têm potência nominal entre 4.500 e 6000 Watts, a maioria com regulagem para as estações de inverno e verão.

Segundo experiências com emuladores em software na observação de chuveiros elétricos, **BELINAZO (1993)** concluiu que seria necessário um chuveiro de 12,5 KW para elevar a temperatura da água fria de 10°C à temperatura de utilização de 40°C nas condições de vazão mínima de conforto ( 0,10 l/s ou 6 l/min ), o qual consumiria 0,208 KWh/min.

A luta para implantação de baixas potências elétricas no aquecimento da água de banho, não tem único objetivo de economia para o usuário, mas principalmente, atenuar os picos da demanda, sendo esta visão administrativa denominada de GLD.

### **3.5 Racionalização do Sistema de Aquecimento Solar**

As informações até aqui apresentadas, representam a realidade mercadológica a disposição do consumidor final.

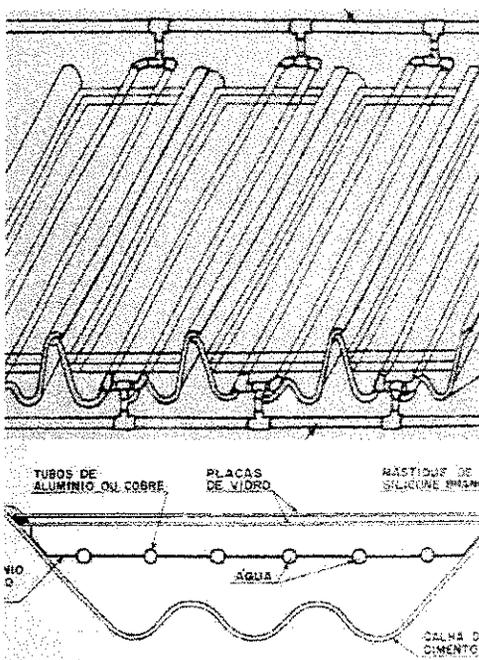
Lamentavelmente, por maiores que sejam os esforços dos fabricantes e/ou pesquisadores, os preços finais dos equipamentos aquecedores de água com energia solar, possuem em média, preços entre R\$ 1.000,00 a R\$ 2.500,00 (US\$ 541 a US\$ 1.351,00 - Agosto de 2000), sem considerar os insumos necessários para a condução da água quente e a mão de obra para execução da rede e instalação dos equipamentos.

Inserido neste contexto, serão citados alguns trabalhos alternativos, entre outras informações técnicas, que buscam uma racionalização financeira que contemple a possibilidade de complementar o chuveiro elétrico por sistemas de aquecimento solar com custo dentro das expectativas da habitação de baixa renda.

**MACINTYRE (1996)**, cita o aproveitamento da geometria da seção transversal da telha em fibrocimento, para dispensar os custos do invólucro de alumínio, empregado normalmente nos coletores convencionais. Porém, o referido autor não apresenta resultados de qualquer tipo de ensaio dessa configuração.

A figura 3.39 apresenta a solução proposta, devendo-se considerar como uma grande restrição a posição da telha com relação ao norte. Além disso é proposto um fechamento com vidro (efeito estufa), porém não são mencionadas as dificuldades de montagem dos painéis nas extremidades, as quais são atravessadas por tubos e cujo contorno é de complicada vedação.

Não estão explicitados nessa referência os custos do protótipo, apesar do autor citar o aspecto econômico do sistema.



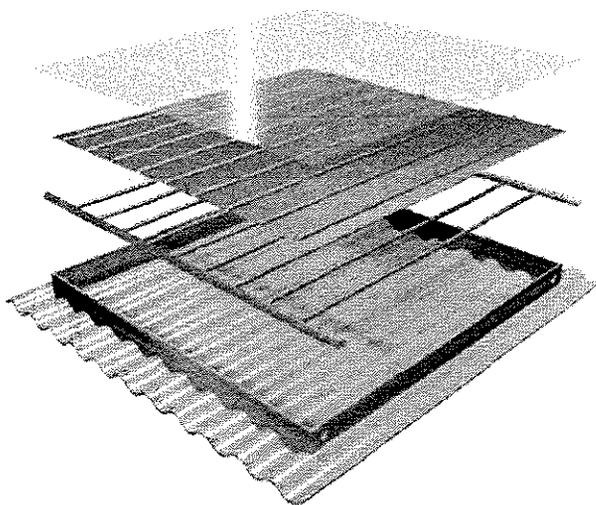
**Figura 3.39:** Telha de fibrocimento como coletor solar.

Fonte: MACINTYRE (1996).

**ALENCAR (1999)**, realizou importante trabalho, com o desenvolvimento de um coletor alternativo na Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade do Estado de São Paulo (UNESP), com ligeira semelhança à citação de Macintyre.

O Coletor desenvolvido aproveita a ondulação da telha de fibrocimento, sendo esse material parte integrante de uma caixa fechada, com painel de vidro, conforme mostra a figura 3.40.

O protótipo foi e o seu desempenho foi comparado com o de um coletor disponível no mercado.



**Figura 3.40:** Coletor solar alternativo.

Fonte: ALENCAR (2000).

O rendimento energético do protótipo foi calculado para regime de circulação forçada do fluido de trabalho, com vazões controladas e medidas de cinco em cinco minutos, no período entre 10 e 14 horas. Foram registradas temperaturas de entrada e saída do fluido nos equipamentos, por meio de termopares ligados à uma placa de aquisição de dados de um computador.

Com intenção de correlacionar a luminosidade com o desempenho térmico do sistema de aquecimento solar, foi medida a radiação solar através de um piranômetro Kipp-Zonen com médias de cinco minutos. A seguir são dadas as descrições dos protótipos empregados nessa experiência.

Protótipo 1: Coletor solar alternativo com serpentina em cobre e estrutura de cimento amianto.

- Dimensões: 1,10 x 1,20 m;
- Área absorvedora: 1,00 m<sup>2</sup>;
- Peso do coletor vazio: 22,400 kg;
- Capacidade volumétrica da serpentina : 1.400 ml;
- Preço da telha Eternit 1,10 x 1,2 m: US\$ 7,50;
- Preço da serpentina em cobre (Soletrol): US\$ 54,17;
- Preço do vidro (2 mm espessura/1,00 m<sup>2</sup>): US\$ 13.33;
- Preço do coletor em amianto: US\$ 75,00;
- Dólar comercial Dez/98 = R\$ 1,20.

Protótipo 2: Coletor convencional, marca Soletrol, com serpentina e aletas em cobre:

- Dimensões: 1,00 x 1,00 m;
- Área absorvedora: 1,00 m<sup>2</sup>;
- Peso do coletor vazio: 12,5 kg;
- Capacidade volumétrica da serpentina: 1.400 ml.

Entre várias conclusões formuladas por esses autores destacam-se:

- O coletor padrão convencional, apresentou rendimento sempre superior a 50%, mesmo em dias de baixa insolação, mostrando, sob certas condições de vazão, um alto desempenho, que não foi alcançado por nenhum dos protótipos;
- Com relação aos coletores propostos, o que apresentou melhor rendimento, foi aquele, desenvolvido a partir de uma telha de fibrocimento, com área de captação da radiação solar em cobre (aletas e serpentinas). Em algumas situações, seu

desempenho chegou a aproximar-se do coletor convencional (80% em relação ao padrão);

- O custo final do protótipo em fibrocimento é 60% inferior do que o coletor convencional.

Esta investigação representa importante contribuição na racionalização energética e grande impacto nos custos dos equipamentos através de formas não convencionais.

É importante salientar alguns aspectos, os quais são citados pelo autor no trabalho: os protótipos e padrão foram ensaiados em regime forçado e não através da convecção natural da água.

Em conseqüência da obstrução dos canais da telha pelo próprio formato do coletor proposto (conforme ilustrado anteriormente pela figura 3.4) , pode-se provocar derrame das águas pluviais para o interior da edificação.

Já em 1997, SAGLIETTI, realizou uma experiência, com protótipo de custo inferior ainda ao desenvolvido em 1999. Tratava-se de um sistema coletor composto por uma bateria 6 de sub-coletores ligados entre si.

Cada unidade sub-coletora tinha 50 metros em forma tronco helicoidal em tubo de polietileno de 12,7mm sem nenhum invólucro.

Com a mesma tecnologia de medição e registros de temperaturas empregados na experiência de 1999, esse protótipo foi mensurado em termos de rendimento ( $\eta$ ). Foram ensaiados dois arranjos: um em série e outro em paralelo, como mostra a figura 3.41.

O arranjo em série a uma vazão de 400 ml/min e uma temperatura de entrada ( $T_e$ ) de 25°C com temperatura ambiental de 21°C, apresentou uma temperatura de

49°C em T4, T5 e TS, significando que os dois últimos sub-coletores da série não apresentam ganho de temperatura entre os terminais do sistema, registrando-se uma diferença de temperatura de 28°C desde a entrada e saída do sistema. Conclui, **SAGLIETI (1997)**, que os rendimentos dos dois últimos sub-coletores são iguais a zero e poderiam ser desprezados.

Usando-se de ajuste linear com coeficiente de correlação igual a 0,95 com as leituras experimentais, processadas por equacionamento básico da termodinâmica, Saglietti modelou para esse protótipo a função do rendimento, resultando em:  $\eta = 0,71 - 23Te$ . Na tabela 3.6 são apresentados os rendimentos do arranjo dos coletores em série estratificados em 3 vazões.

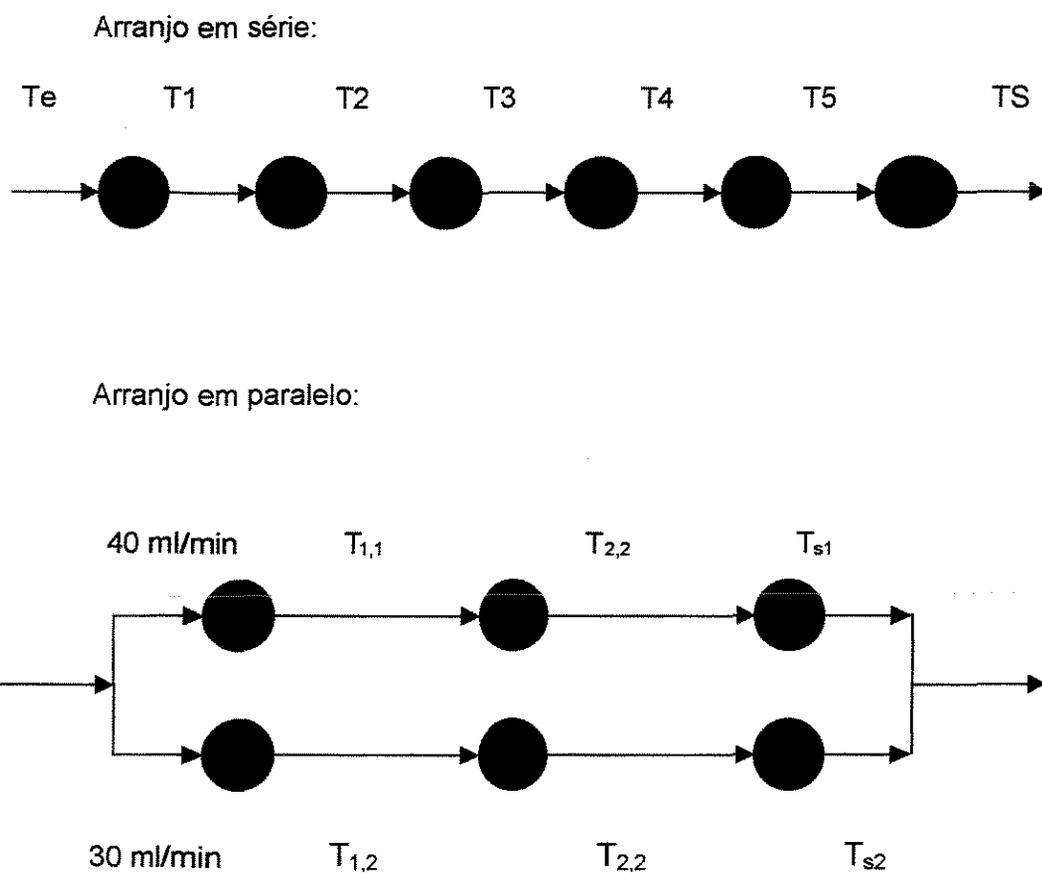
O segundo arranjo apresentou desempenhos similares, registrando uma diferença de temperatura máxima entre a entrada e saída do terminal igual a 29°C. Os dois protótipo receberam água de um reservatório elevado a 4m do piso,

Os resultados econômicos representaram 1/13 do valor do coletor convencional e seu desempenho foi aprovado para o uso em baixa renda e meio rural.

Apesar do sucesso que revelou esta experiência com utilização do polietileno para fins de aquecimento, o autor atribui o pouco interesse dos fabricantes nesse sistema, em vista da durabilidade desse material se comparado com os coletores convencionais, fabricados para durar mais de 10 anos.

Entretanto durante os seis meses de experimentação, não houveram indícios patológicos nos protótipos, ficando em aberto uma investigação de maior duração, para avaliar o estado de deterioração e assim, definir a relação custo benefício, na utilização do polietileno com fins de utilização racional nas habitações de baixa renda.

Na figura 3.41 estão ilustrados os dois arranjos ensaiado.



**Figura 3.41:** Dois arranjos ensaiados em polietileno.

Fonte: SAGLIETTI (1997).

A conservação do material plástico de baixo custo nessa experiência, talvez se deva a exclusão do efeito estufa, promovido pelo fechamento do coletor, garantindo temperaturas inferiores a 55°C que em tese tal material resistiu sem problemas.

A tabela 3.6 mostra os rendimento da configuração em série.

**Tabela 3.6:** Rendimento da situação em série

Sub Coletor	Q (ml/min)	rendimento (%)
1	620	75,50
2	620	26,10
3	620	17,40
4	620	5,80
5	620	0,00
6	620	0,00
1	420	52,70
2	420	23,40
3	420	9,80
4	420	2,00
5	420	0,00
6	420	0,00
1	400	53,90
2	400	20,40
3	400	11,20
4	400	3,70
5	400	0,00
6	400	0,00

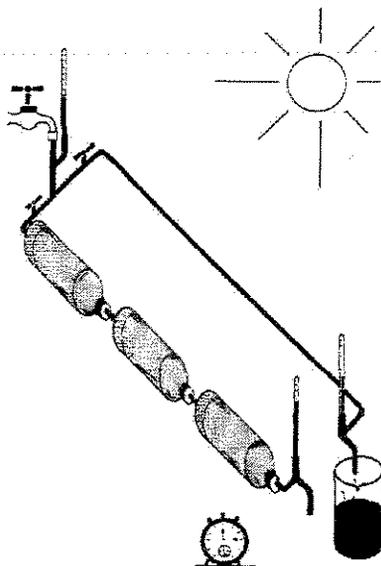
Fonte: SAGLIETTI (1997).

Apenas como parâmetro de comparação o tubos de policloreto de vinila (PVC) começam a amolecer a 60°C, temperatura que confere a pressão de serviço de 2 Kgf/cm<sup>2</sup> (20 m.c.a.) **MACINTYRE (1996)**. E segundo a normalização estariam desapropriados para conduzir água quente.

Aproveitando as experiências e resultados de desempenho obtidos nos trabalhos desses autores, pode-se atribuir a materiais de baixo custo um baixo desempenho. Porém, como a finalidade é proporcionar apenas um pré-aquecimento a um determinado volume de água, um menor desempenho pode ser aceitável.

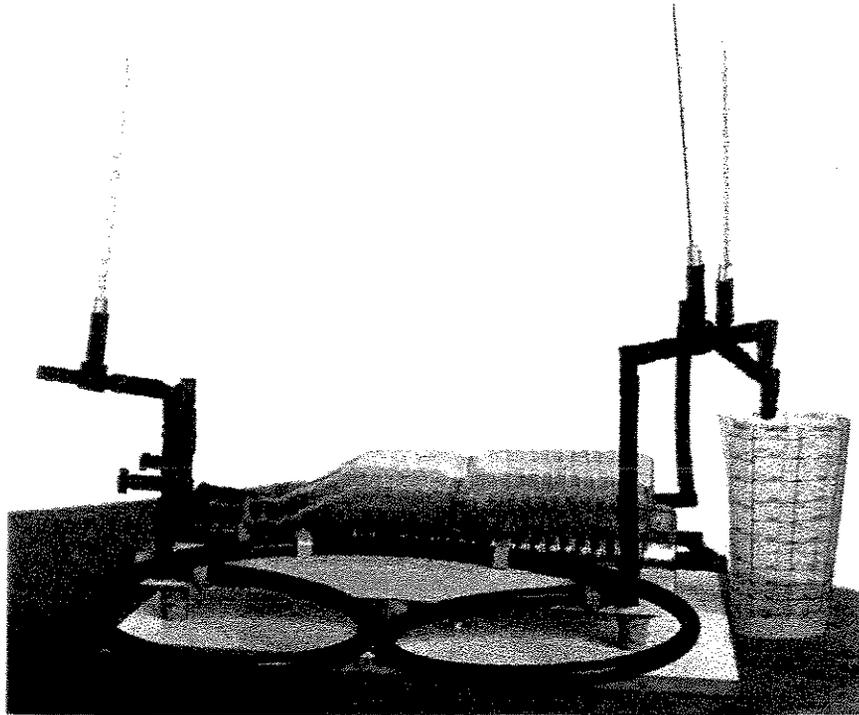
A parcela de um pré-aquecimento, por menor que seja, representa importante contribuição no uso racional da eletricidade, ou de outra fonte energética associada à solar. Considerando a nobreza dos materiais empregados e a longevidade dos coletores convencionais do mercado brasileiro, transformaram esse acessório do sistema solar um dos componentes mais caros.

Alguns pesquisadores tentam exaustivamente aproveitar-se de materiais alternativos, em bom estado, para substituir os onerosos custos de um coletor convencional (como o apresentado anteriormente na figura 3.19), como por exemplo usando radiadores de veículos automotivos na substituição da serpentina (CARVALHO,1992) ou aproveitando-se do efeito estufa em garrafas comuns, que podem ser de vidro ou mesmo plásticas como se sugerem na experiência ilustrada nas figuras 3.42 e 3.43.



**Figura: 3.42:** Efeito estufa com garrafas, para aquecer água.

Fonte: [http://nti.educa.rcanaria.es/blas\\_cabrera/per/SOLAR/S08l.htm](http://nti.educa.rcanaria.es/blas_cabrera/per/SOLAR/S08l.htm), acessado em 03/08/2000.



**Figura 3.43:** Estufa improvisada com material plástico.

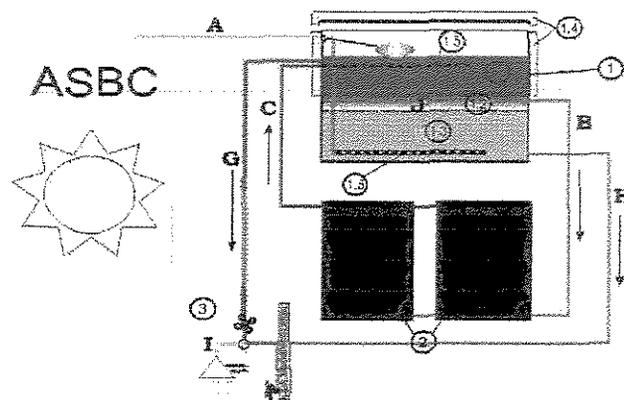
Fonte: [http://nti.educa.rcanaria.es/blas\\_cabrera/per/SOLAR/S08I.htm](http://nti.educa.rcanaria.es/blas_cabrera/per/SOLAR/S08I.htm), acessado em 03/08/2000.

Desde 1992, uma equipe composta por pesquisadores, sob a coordenação dos engenheiros José Ângelo Contini e Augustin Woelz (equipe original) estão desenvolvendo um trabalho sobre aquecimento solar de água de baixo custo no Brasil, pensado para 27 milhões de residências unifamiliares no Brasil, presumindo-se uma economia equivalente à metade da energia gerada pela usina de Itaipu no horário de pico entre 18:00 e 21:00, ou seja, cerca de 6 milhões de kW (Woels, 2000).

O trabalho teve início após a apresentação de um protótipo no evento ECO 92 no Rio de Janeiro, quando a equipe foi convidada a participar do Centro Incubador de Empresas Tecnológicas (CIETEC), da Universidade de São Paulo (USP), sob o nome de *Sunpower*, onde está presente desde 1999.

Atualmente, a equipe se estende para mais de 130 voluntários, conta também com professores da USP e de vários laboratórios, para consulta e ensaios técnicos, além de um portal na Internet com informações detalhadas, algumas delas comentadas a seguir. O autor aborda minuciosamente o problema energético e a questão da energia solar a baixo custo, propondo, a partir de dados do Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica (PROCEL), um reservatório de 170 litros com temperatura não superior a 40° C associado ao chuveiro convencional. Limites que permitem a utilização de materiais econômicos e a preservação da instalação existente.

A expectativa, em 1999, era não ultrapassar R\$ 100,00 de custo para o sistema, tendo em vista o poder aquisitivo da população de baixa renda. Um protótipo está ilustrado na figura 3.44, o qual oferece inúmeras vantagens de racionalização.



- A = Adução de água fria;
- B = Adução de água dos coletores;
- C = Retorno de água quente por termo sifão;
- G = Ramal de consumo unitário, específico para o banho;
- H = Ramal de água fria para consumo unitário específico para o banho;
- 1 = Caixa de água tradicional com as adaptações de 1.1 a 1.5
  - 1.1 = Camada de água quente;
  - 1.2 = Camada de transição;
  - 1.3 = Camada de água fria;
  - 1.4 = Isolamento térmico que cobre a camada quente;
  - 1.5 = Difusor da entrada de água fria para o interior do reservatório;
- 2 = Coletores solares simplificados;
- 3 = Misturador de água quente;

**Figura 3.44:** Protótipo de aquecedor solar de baixo custo.

Fonte: [www.sunpower.com.br](http://www.sunpower.com.br), acessado em 20 de Janeiro de 2001.

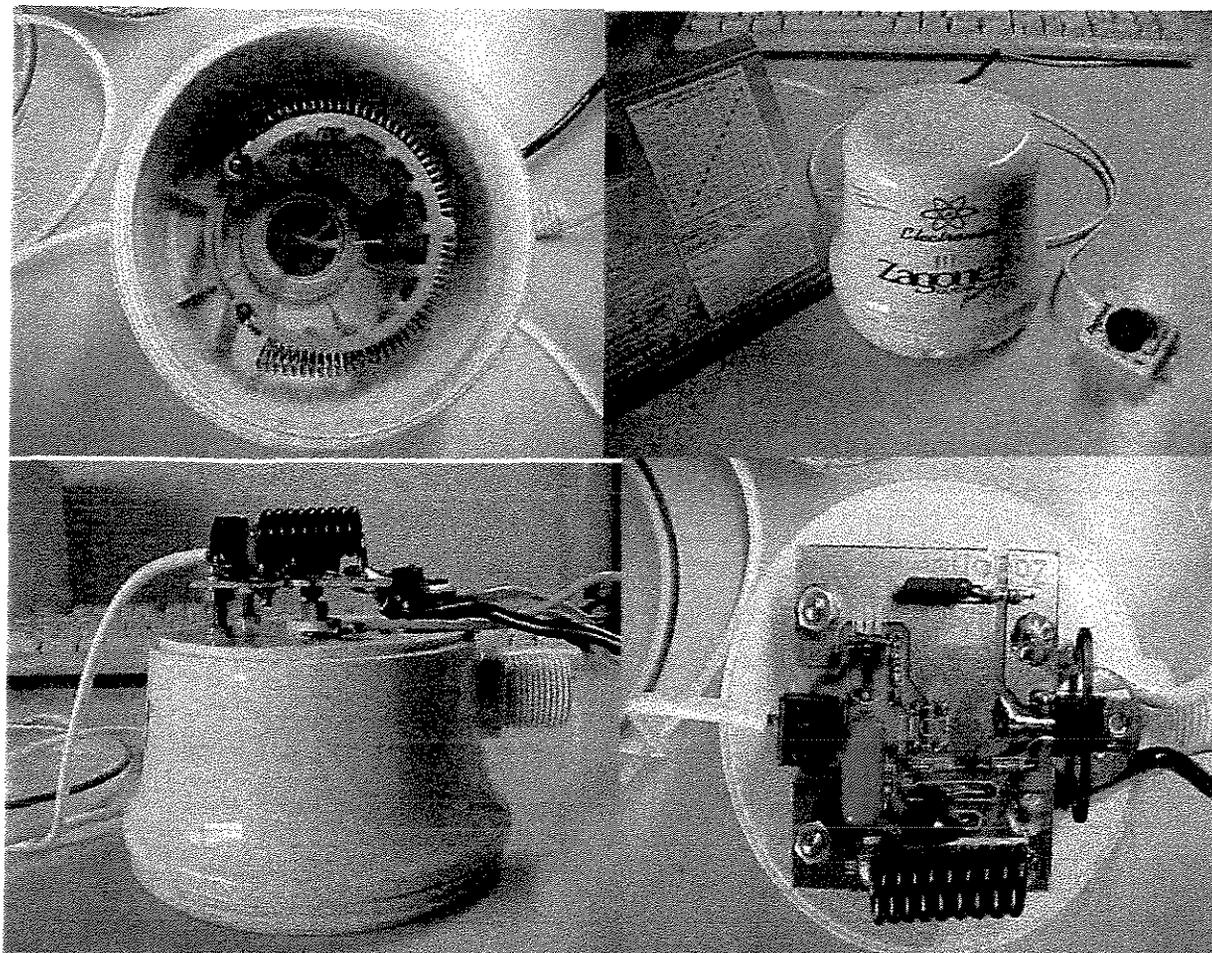
Observa-se que um reservatório comum supre a água quente e a fria, simultaneamente, para o banho, racionalizando assim o reservatório. Percebe-se o cuidado para não provocar a mistura das águas fria e quente no interior do reservatório, mediante a adução de água fria dirigida para o fundo do reservatório por sub-sistema de bóia adequada.

O estudo não tem por objetivo erradicar o chuveiro elétrico, mas sim racionalizar seu uso, sem perder o conforto. Assim, como torna-se necessário um chuveiro em baixa potência, o autor aconselha a utilização de chuveiro 220 V em rede de 127V, de tal forma que a potência de 5,5 KW (inverno), em 220V, passa a gerar 1,37 KW em 127V; e a potência de 4KW (verão), em 220V, passa a gerar 1KW.

A utilização de chuveiros em redes alternativas de tensão inferior ao do especificado pelo chuveiro, sujeita-se a uma situação provável de dia frio durante o inverno, sem insolação, onde a potência máxima disponível, de 1,37 KW, não desempenha uma temperatura confortável para o banho. Portanto, tal alternativa, aparentemente simples, deve ser estudada com maior critério.

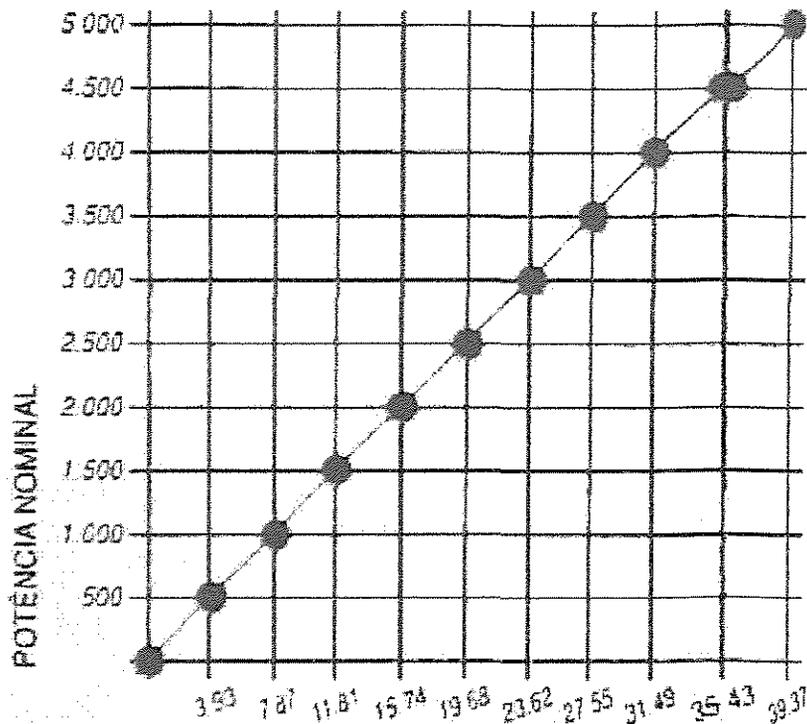
O problema da estratificação da potência do chuveiro elétrico, tendo em vista a utilização de água pré aquecida, sem adotar a solução proposta por WOELS (2000), qual seja, a utilização de chuveiros em redes alternativas de tensão inferior ao especificado, pode ser resolvido através de um produto já disponível no mercado brasileiro.

Alguns modelos recentemente patenteados e lançados no mercado contemplam um acessório eletrônico de regulagem confortável da potência elétrica, o qual é incorporado ao chuveiro elétrico. O *chuveiro* da marca Zagonel®, com valor de R\$ 45,00 (US\$ 22,50) parece ser uma alternativa razoável, entre outros fabricantes. Na Figura 3.45 é ilustrado o referido equipamento.



**Figura 3.45:** Chuveiro elétrico munido de regulação eletrônica da potência entre 0 e 5000 W.

O fabricante apresenta um gráfico, o qual encontra-se reproduzido na figura 3.46, a potência em função da corrente instantânea de trabalho.



**Figura 3.46:** Função linear entre a potência e a corrente instantânea de trabalho do chuveiro Zagonel®.

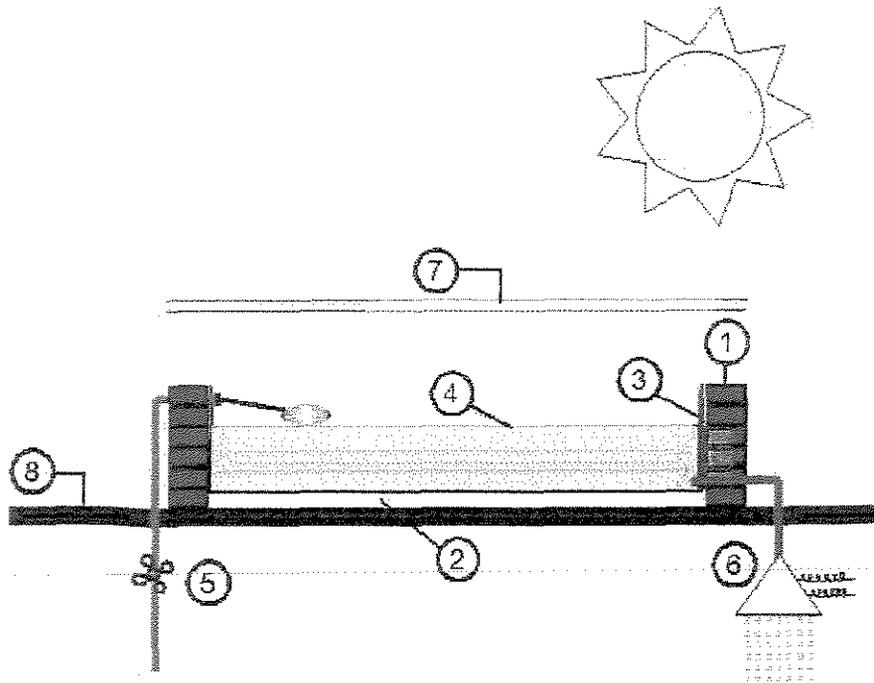
Fonte: Manual do fabricante

Outro modelo, denominado de coletor integrado, não menos importante, porém atípico ao exposto neste trabalho, merece menção. É uma proposta parecida ao destilador solar apresentado na figura 3.17, com dimensões e configurações apropriadas para uma laje plana residencial. A figura 3.47 ilustra o referido coletor.

Evidentemente, a principal restrição deste modelo é a superfície plana, descaracterizando o modelo tradicionalmente empregado em unidades unifamiliares de baixa renda, ou seja, telhado convencional e forro de madeira, tipificando o modelo exclusivamente para lajes impermeabilizadas.

A operação diária de uma cobertura em isopor torna o modelo um tanto incômodo para o usuário. Outra preocupação é relativa à possibilidade de contaminação da água exposta às intempéries. Mesmo assim, o modelo é válido e

merece estudos visto que, segundo o autor, um volume de 150 litros pode ser obtido a partir de uma pequena área de 1,5 m<sup>2</sup> com profundidade de 0,10 m, capaz de produzir uma temperatura estimada em 40°C no final de um dia ensolarado de Maio<sup>2</sup>.



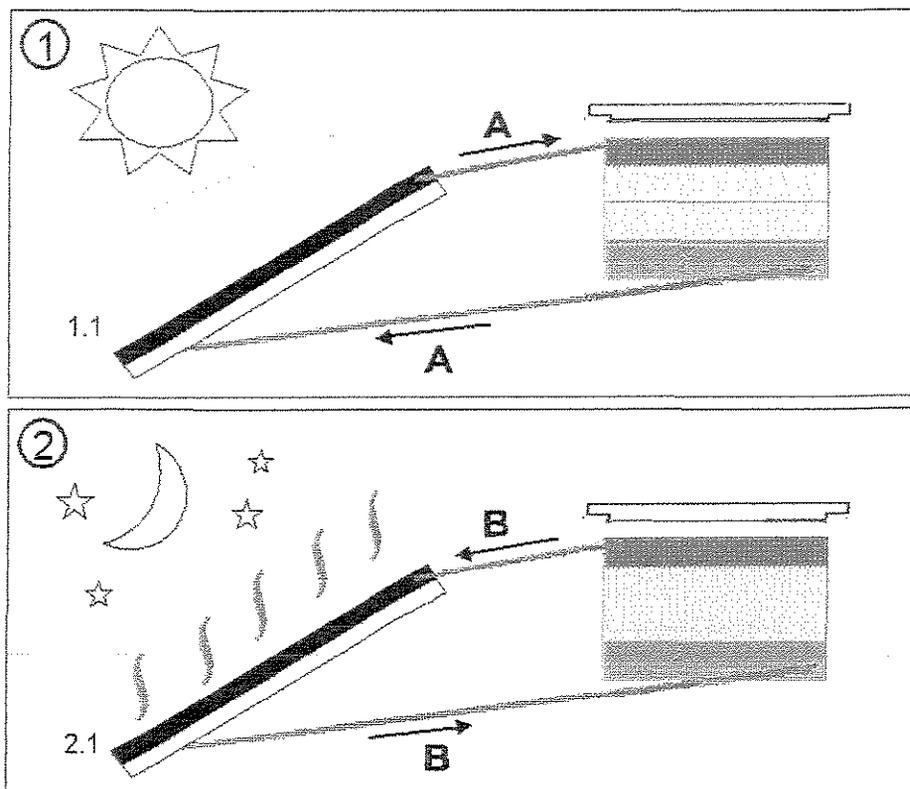
- 1 - Parede lateral de alvenaria;
- 2 - Isolamento térmico inferior do coletor;
- 3 - Filme plástico negro para aquecer e sustentar a água;
- 4 - Cobertura plástica transparente da água;
- 5 - Registro de reenchimento após o uso da água quente;
- 6 - Ducha;
- 7 - Cobertura opcional para manter o calor durante a noite (isopor);
- 8 - Laje superior da casa;

**Figura 3.47:** Coletor Integrado.

Fonte: [www.sunpower.com.br](http://www.sunpower.com.br) , acessado em 20 de Janeiro de 2001

O trabalho de Woels e sua equipe, sobre as soluções econômicas, conceitos físicos, e detalhes construtivos é bastante extenso e rica. A seguir apresenta-se uma sinopse das figuras que caracterizam os detalhes mais importantes desse estudo.

<sup>2</sup> Segundo cálculo desenvolvido tendo como base a região de Água Branca AL

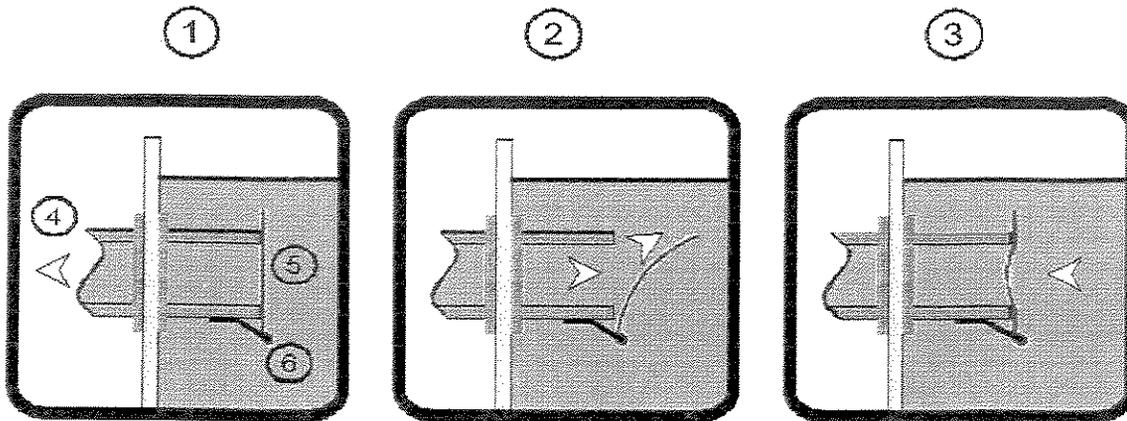


- 1) Termo sifão natural (diurno) - fluxo da água sentido a;
  - 1.1) Coletor recebe energia do sol;
- 2) Termo sifão inverso (noturno) - fluxo da água sentido b;
  - 2.1) Coletor emite energia térmica da água quente .

**Figura 3.48:** Fenômeno da inversão térmica desfavorável à reserva de água quente.

Fonte: [www.sunpower.com.br](http://www.sunpower.com.br) , acessado em 20 de Janeiro de 2001.

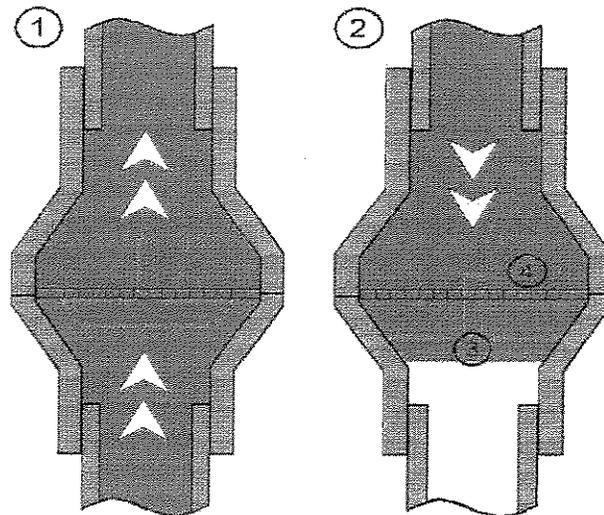
Uma única válvula, para evitar o fluxo contrário devido à inversão térmica é recomendada para colocação na flange superior, onde chega a água quente do coletor para o reservatório (ver Figura 3.49). O autor também cita uma válvula que pode ser utilizada verticalmente, conforme ilustra a Figura 3.50.



1 - Estado de equilíbrio; 2 - Vazão com irradiação solar; 3 - Vazão sem irradiação solar;  
 4 - Direção ao coletor; 5 - Filme flexível de plástico; 6 - Eixo (arame) de fixação do filme.

**Figura 3.49:** Válvula para evitar o fluxo contrário da inversão térmica.

Fonte: [www.sunpower.com.br](http://www.sunpower.com.br) , acessado em 20 de Janeiro de 2001.

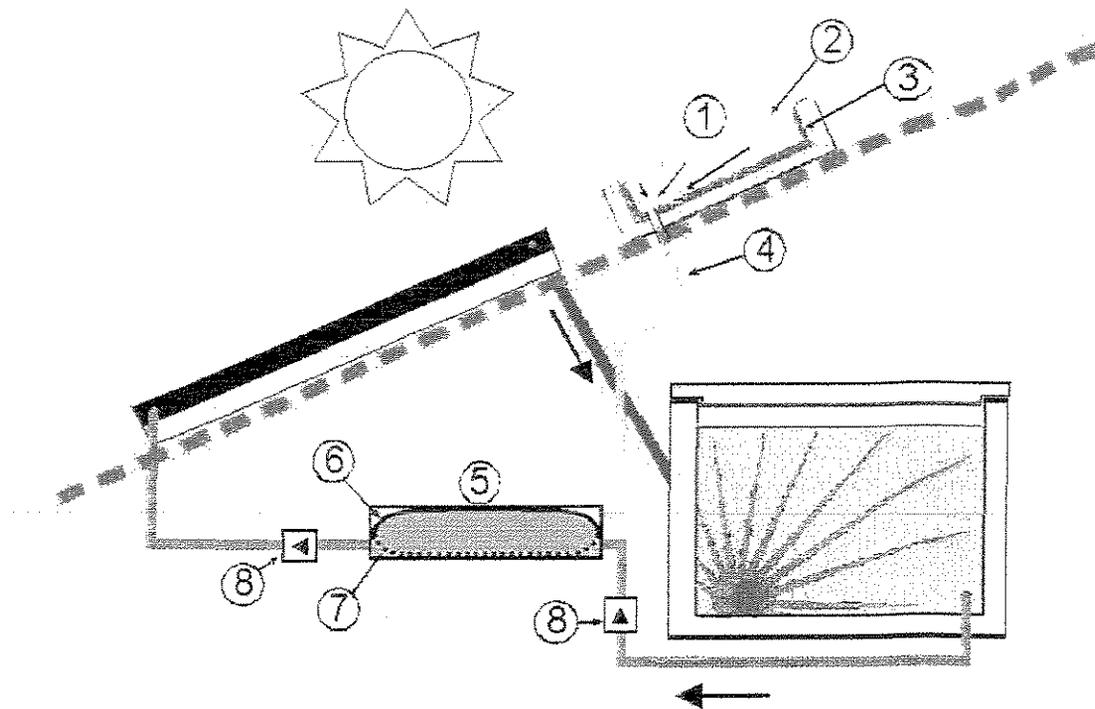


1 - Vazão com irradiação solar; 2 - Vazão sem irradiação solar; 3 - Êmbolo leve e sensível;  
 4 - Encosto com guia.

**Figura 3.50:** Válvula de retenção térmica de fluxo vertical.

Fonte: [www.sunpower.com.br](http://www.sunpower.com.br) , acessado em 20 de Janeiro de 2001.

Finalmente, o autor aborda situações onde não se contempla o termo sifão natural, detalhando sistemas de circulação forçada através de uma instalação comum de recalque associado a um controlador digital de temperatura, além de um sistema com bomba termo mecânica, conforme a figura 3.51.



- 1 - Cavidade de aquecimento e expansão pneumática;
- 2 - Cobertura transparente;
- 3 - Isolamento térmico com função de corpo negro (pintado de preto);
- 4 - Tubo de transferência do ar pressurizado;
- 5 - Módulo de bombeamento;
- 6 - Cavidade de acionamento do diafragma;
- 7 - Cavidade de movimentação da água;
- 8 - Válvulas de retenção da água;
- X - Ainda em aberto o princípio da substituição do ar quente pressurizado por ar ambiente a temperatura e pressão atmosféricas.

**Figura 3.51:** Circulação forçada mediante bomba termo mecânica.

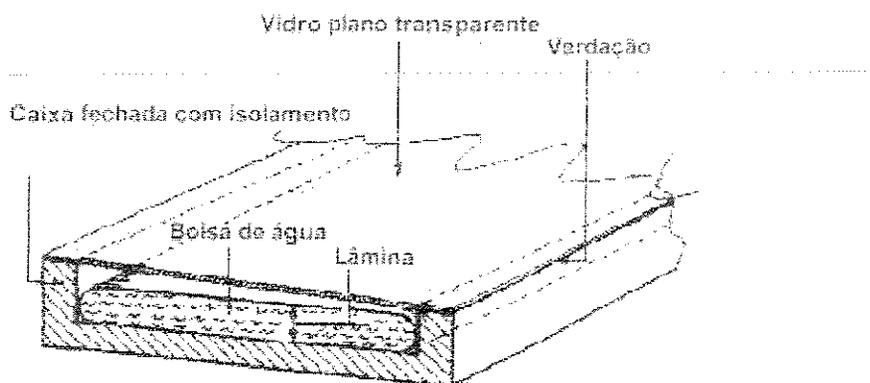
Fonte: [www.sunpower.com.br](http://www.sunpower.com.br), acessado em 20 de Janeiro de 2001.

Segundo DAYEM (1999), o coletor é o principal elemento que confere desempenho a um sistema de aquecimento solar. A temperatura de operação e a

facilidade de transmissão do calor medem esse desempenho. O elemento metálico é um dos maiores insumos do coletor solar. Materiais substitutos, a base de polímeros, são uma das saídas para reduzir o custo. Pesquisadores buscam soluções racionais e eficazes em novos projetos, para situações particulares de utilização.

Uma das observações científicas a respeito provém de **TSILINGIRIS** (1997), que define a utilização de bolsas plásticas (térmicas) para insolação moderada, no aquecimento de água domiciliar.

A maior agressão de uma bolsa plástica é a radiação UV, que degrada o polímero e conseqüentemente provoca sérias patologias. Uma medida para atenuar o problema, é a utilização de vidro comum de 3 ou 4mm de espessura, conforme a figura 3.52.



**Figura 3.52:** Coletor solar plano, com bolsa plástica e demais isolamentos.

Fonte: **TSILINGIRIS** (1997).

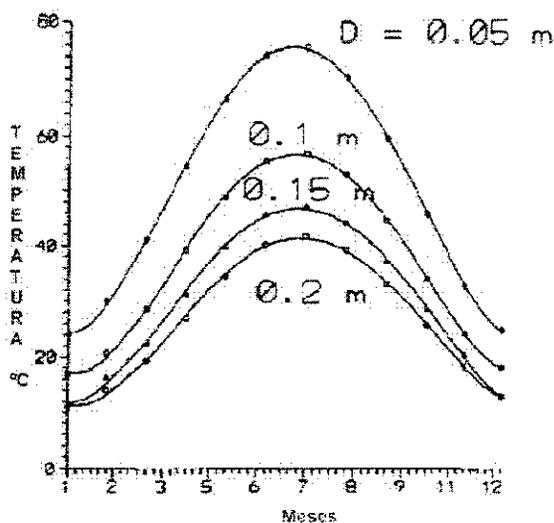
A utilização de materiais desse tipo, provocam uma redução dramática no custo do coletor. A fabricação, instalação e manutenção, também contribuem com economia.

Este modelo, orçado na Grécia não ultrapassa 30,00 Dólares por metro quadrado, sendo que desse montante, 6,00 Dólares são gastos em mão de obra, contra os 350 Dólares por metro quadrado dos coletores convencionais na Grécia.

O modelo se adapta em edifícios com lajes planas (comuns na Grécia). Neste sistema não é possível que a bolsa permaneça com inclinação, e sua vida útil está em função da proteção da caixa.

Os resultados do desempenho destes coletores, foram obtidos através de um modelo computacional e diversos bancos de dados meteorológicos com um refinado exame geográfico.

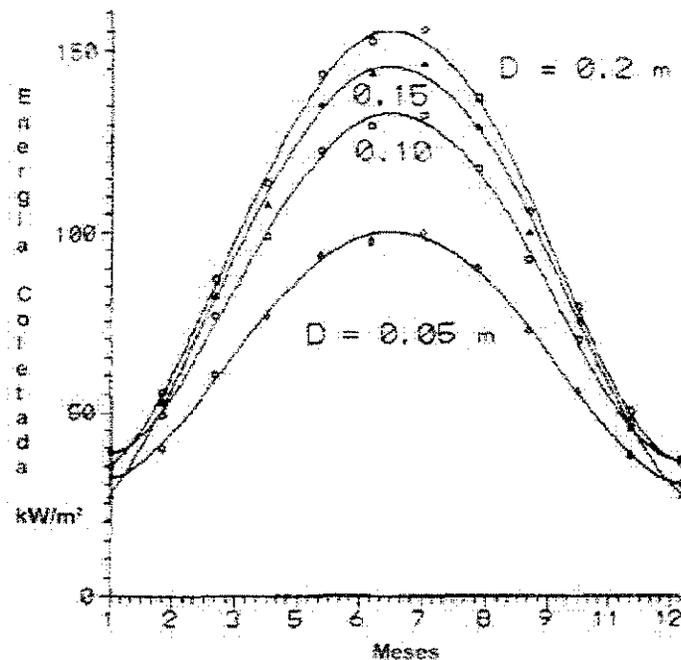
As temperaturas obtidas no interior da bolsa, são função da espessura da lâmina de água que pode variar de 5 a 20cm. Faixas entre 40 a 77 °C podem ser encontradas ao longo do ano, nestes coletores, em função das lâminas, conforme ilustra a figura 3.53.



**Figura 3.53:** Temperaturas máximas no interior da bolsa, ao longo do ano, para quatro espessuras diferentes.

Fonte: TSILINGIRIS (1997).

A figura 3.54, retrata a capacidade de energia coletada em kW/m<sup>2</sup> mês ao longo do ano, para as quatro lâminas de água.



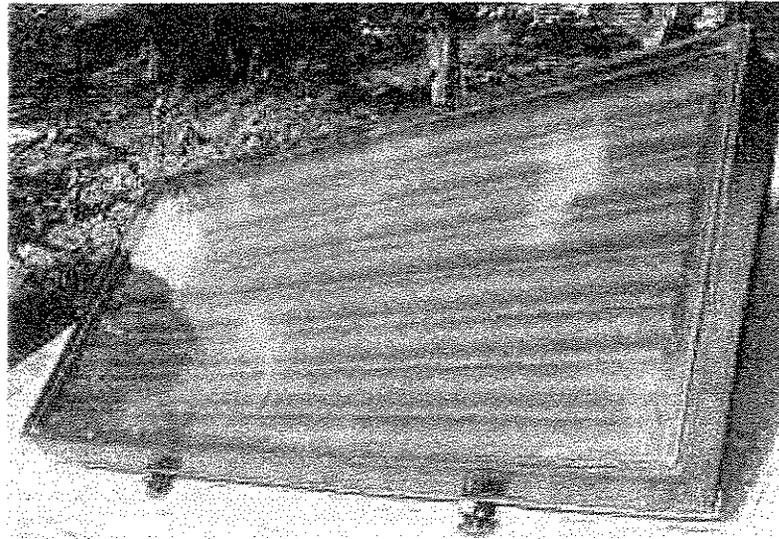
**Figura 3.54:** kW/m<sup>2</sup>, ao longo do ano, para quatro espessuras diferentes.

Fonte: TSILINGIRIS (1997).

Deste trabalho científico se concluiu que mesmo com a contínua manutenção da bolsa (uma por ano), a utilização se justifica em baixo custo, se observada a energia capturada e utilizada. Estes sistemas podem operar perfeitamente para o pré aquecimento.

Em países industrializados como nos Estados Unidos, existem projetos com resultados positivos na racionalização da energia elétrica, como é o caso de um projeto social aplicado na habitação de baixa renda na Flórida (1994) que substituiu 800 boilers elétricos convencionais por sistemas solares com apoio elétrico a um custos de US\$ 1500 por unidade, conseguindo uma economia anual de 50% de energia elétrica para a amostra e deixando a população satisfeita, segundo pesquisa pós implantação ([http://www.jxj.com/magsandj/rew/1999\\_01/free\\_hot\\_water.html](http://www.jxj.com/magsandj/rew/1999_01/free_hot_water.html), acessado em 30/07/2000).

Como os recursos desse país são superiores aos países do terceiro mundo, os coletores empregados, mesmo tidos como econômicos, surpreendem pela qualidade dos materiais e desempenho se observado um modelo convencional, justificando o custo de implantação. A figura 3.55 mostra o modelo empregado nesse projeto.



**Figura 3.55:** Coletor solar de baixo custo aplicado na Flórida EUA 1994.

Fonte: [http://www.jxj.com/magsandj/rew/1999\\_01/free\\_hot\\_water.html](http://www.jxj.com/magsandj/rew/1999_01/free_hot_water.html), acessado em 30/07/2000.

Racionalizar um sistema significa reduzir o custo sem prejudicar a qualidade e o desempenho do referido sistema. Segundo esta visão moderna, uma das preocupações nos sistemas solares e seus custos, centram-se no coletor solar. Parte de grande responsabilidade e de elevado valor.

A capacidade, eficiência, ou desempenho dos coletores solares planos tem despertado muito a curiosidade da comunidade científica no mundo todo, razão pela qual , a seguir, são apresentados dois trabalhos sobre o assunto.

SHARIAH (1999) afirma que, com a reprodução do efeito de termo sifão, simulado em computador, pode-se determinar alguns parâmetros relativos à condutividade térmica em coletores solares com aletas metálicas, assim como o desempenho dos mesmos.

Na investigação realizada por este autor, foi utilizado um programa computacional de simulação de transientes, para o qual foram assumidas situações de adução de água quente em temperaturas de 55°C e 80°C, que caracterizam patamares de utilização doméstica e industrial, respectivamente. Os volumes testados para fins domiciliares foram de 50, 125 e 250 litros, os quais sugerem dimensões para diferentes tamanhos de família. Foram considerados três materiais diferentes: alumínio, aço e cobre.

Os resultados foram agrupados em três parâmetros de interesse: fator de eficiência da aleta do coletor, fator de eficiência global do coletor e fator de transferência de calor do coletor.

Além das características geométricas representadas na Figura 3.56, foram consideradas neste estudo as seguintes variáveis:

- Área do coletor;
- Diâmetro dos tubos horizontais de encabeçamento e verticais empregados no coletor ;
- Diâmetros das tubulações de entrada e saída no coletor;
- Fluxo de calor de teste do coletor;
- Número de coletores ligados em paralelo;
- Potência do apoio elétrico;
- Energia introduzida no tanque pelo apoio elétrico e energia entregue para leitura ;
- Temperatura da água principal de suprimento e da água liberada para leitura;

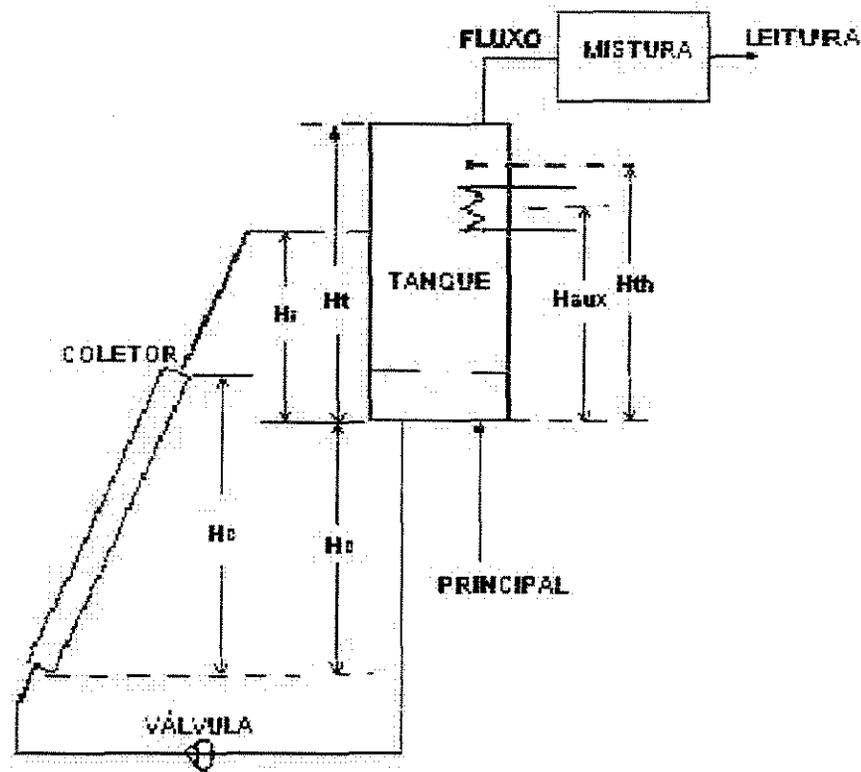
- Coeficientes de perda de calor entre tubos e conexões e global no interior do tanque;
- Volume de água do tanque e volume diário medido ;
- Largura e inclinação do coletor;
- Fração solar anual e latitude;
- reflexão do solo.

O autor conclui que o fator característico das aletas, eficiência do coletor e a transferência do calor têm grande dependência da condutividade térmica do coletor plano em si, para uma faixa de valores compreendidos entre 10 a 100 W/m°C.

Também foi comprovado que a fração solar anual do sistema empregado aumenta de 4% para 7% quando se substitui o aço pelo alumínio na constituição do coletor, e quase não muda quando o cobre é usado ao invés do alumínio, considerando que o fator característico do coletor tem um aumento de 12% para 19%.

Ressalta ainda que quase não há vantagem em se utilizar o cobre em lugar do alumínio, a menos que outros fatores não contemplados, como corrosão, ou outras patologias possam colocar em risco a eficiência do coletor. Apesar desta afirmação, se aconselha atenção em outros fatores no momento de selecionar um coletor plano, como por exemplo, seu custo, vida útil, garantia, etc.

Na figura 3.56 está ilustrado o modelo simulado.



$H_{aux}$  : Altura entre o fundo do tanque e o apoio elétrico auxiliar;  
 $H_c$  : Distância vertical entre a saída e entrada do coletor;  
 $H_o$  : Distância vertical entre o fundo do tanque e a parte inferior do coletor;  
 $H_t$  : Altura do tanque;  
 $H_r$  : Altura vertical, entre o fundo do tanque e a chegada do coletor;  
 $H_{th}$  : Altura entre o termostato auxiliar e o fundo do tanque;

**Figura 3.56:** Modelo de aquecedor simulado.

Fonte: SHARIA (1999).

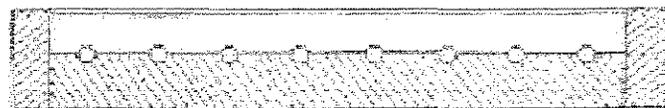
Um outro trabalho, desenvolvido pelo departamento de Física da Universidade de Patra, na Grécia, levantou a eficiência de diversos coletores solares residenciais em cores diferentes com e sem vidro (TRIPANAGNOSTOPOULOS, 2000).

Os pesquisadores defendem a idéia da utilização do coletor em harmonia com o projeto arquitetônico e cores da edificação, como por exemplo, uma residência branca, com bordas azuis nas esquadrias, combinando com coletores solares da mesma cor, ou então, coletores marrons estrategicamente associados a telhas cerâmicas, disfarçando a presença dos mesmos.

Os coletores, nas cores preto, azul e marrom foram produzidos no laboratório da Universidade. Todos foram produzidos com as dimensões de 0,64 m por 1,27 m, totalizando uma chapa solar plana de 0,81m<sup>2</sup> em cada cor. Estas dimensões são inferiores às comumente empregadas no mercado (1,5 a 2,5 m<sup>2</sup>), visto ser apenas um teste de laboratório.

Foi empregado vidro liso transparente de 3mm, também abaixo dos padrões de comercialização. Nos modelos protegidos foi empregada uma camada fina de poliuretano.

Os modelos experimentados sem vidro, foram consideradas em duas situações: com e sem poliuretano, conforme representado na figura 3.57.



a - Aletas, Caixa fechada, vidro e isolamento



b - Aletas e fundo isolado - sem caixa



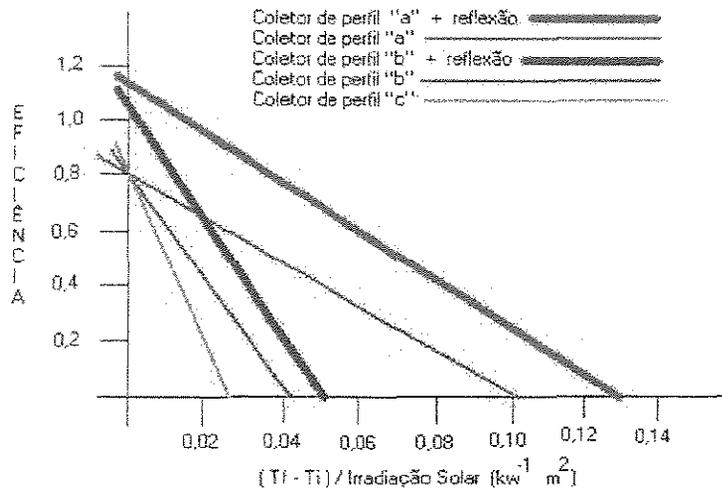
c - Somente aletas metálicas

**Figura 3.57:** Perfis coloridos experimentados como coletores solares.

Fonte: Tripanagnostopoulos (2000).

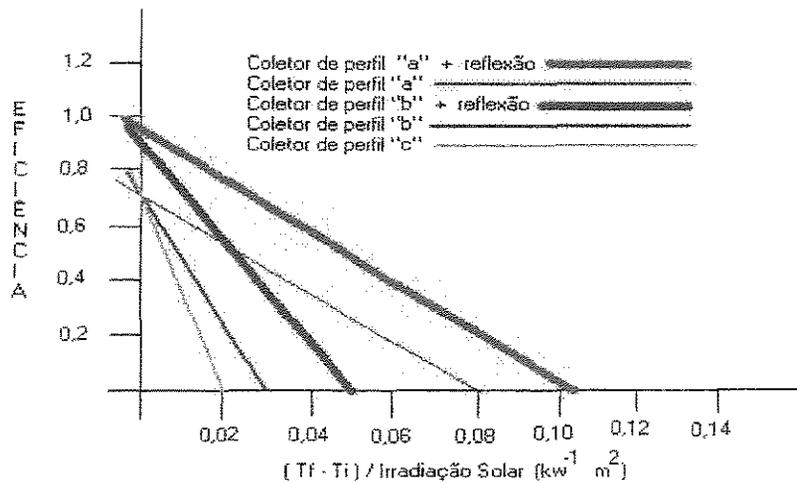
Os resultados experimentais e os modelos teóricos formulados tiveram muita semelhança. Nas Figuras 3.58 a 3.60 são apresentados os resultados obtidos, em

termos da eficiência<sup>3</sup> do coletor em função do fator (diferencial de temperatura/irradiação solar), para as três cores citadas.



**Figura 3.58:** Eficiência do coletor solar em cor preta.

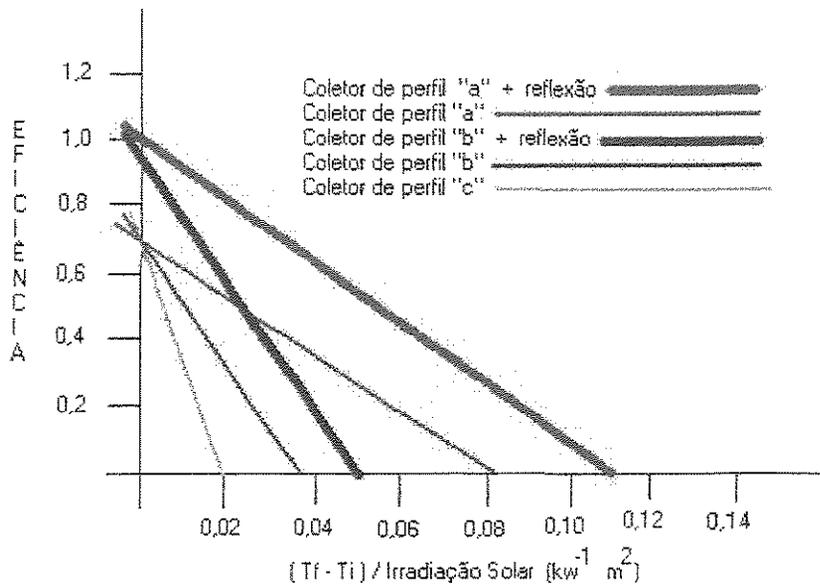
Fonte: TRIPANAGNOSTOPOULOS (2000).



**Figura 3.59:** Eficiência do coletor solar em cor azul.

Fonte: TRIPANAGNOSTOPOULOS (2000).

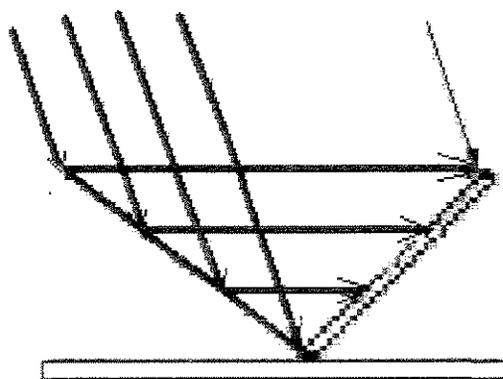
<sup>3</sup> Medida em função da diferença de temperatura entre terminais comunicantes para tamanhos fixos de coletores, nas diferentes cores e seções empregadas



**Figura 3.60:** Eficiência do coletor solar em cor marrom.

Fonte: TRIPANAGNOSTOPOULOS (2000).

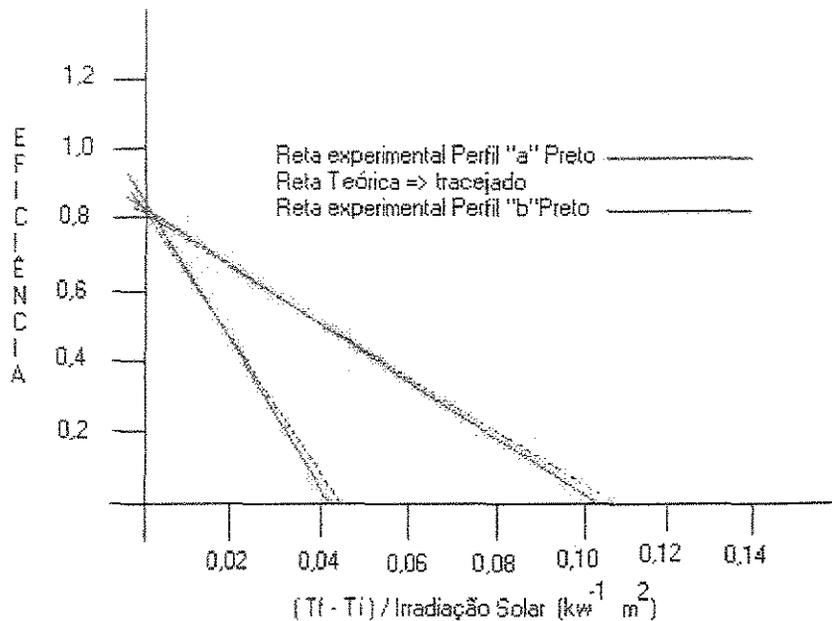
A situação assinalada anteriormente por Reflexão nas Figura 3.58 a 3.60, corresponde a um teste particular, onde o coletor, além da insolação direta, recebia mais uma contribuição de raios refletidos por uma superfície adjacente, como ilustrado na figura 3.61.



**Figura 3.61:** Contribuição de reflexão de superfície adjacente.

Fonte: TRIPANAGNOSTOPOULOS (2000).

A relação gráfica entre os modelos experimentais e teóricos é ilustrada na figura 3.62.



**Figura 3.62:** Comparação Experimental e teórica para o Perfil "a" e "b" na cor Preto.  
Fonte: TRIPANAGNOSTOPOULOS (2000).

Esta experiência comprovou que os modelos sem vidro, em situações de vento, possuem sempre uma eficiência inferior aos protegidos em caixa fechada e com tampa de vidro. Os coletores solares coloridos sem vidro, segundo o autor, servem somente para um pré aquecimento, pelo baixo desempenho obtido. Além disso, o melhor resultado continua sendo para a cor preta.

### 3.6 Contaminação da Água Aquecida

Um aspecto não menos importante que a produção de calor na água predial mediante recursos econômico e aproveitamento solar, é a qualidade sanitária da água.

É imprescindível encomendar uma análise toxicológica da água circulante em material de polítileno, visto que esse material é recomendado para fins agrícolas e sua fabricação provém geralmente da reciclagem do polítileno.

Outro ponto que merece atenção é sobre a contaminação da água por bactérias.

Identificou-se em 1976 a bactéria *Legionella* que pode sobreviver na água e é capaz de levar à morte se não tratada a tempo, tendo registrado uma taxa de mortalidade entre 10 a 20% das pessoas infectadas, ainda com 5% de óbitos mesmo na administração de antibióticos.

Estas taxas de mortalidade, levam a concluir que a profilaxia da doença, está justamente no tratamento da água.

Estudos recentes mostraram experimentalmente que se a água recebe aquecimento até 60°C, a bactéria sobrevive apenas três minutos, com 70° chega no máximo a 8 segundos e numa temperatura de 50°C é capaz de sobreviver até duas horas **WARMERDAM (1998)**.

Em conformidade ao tratamento centrado na elevação da temperatura em patamares dignos de reservatórios térmicos, o pré-aquecimento com apoio terminal (chuveiro ou a gás ) estaria desabonado, mas não se pode abandonar a idéia, por essa causa, visto que nos ramais de água fria, a bactéria tendo bastante resistência à água clorada, representa o mesmo perigo se observado o curso desde a concessionária até os reservatórios de água fria, nas nossas instalações de baixa pressão.

Além desse aspecto, estudos indicaram que essa bactéria sobrevive em águas naturais e também ambientes artificiais como na rede de distribuição de água potável das próprias concessionárias, chegando aos pontos terminais de consumo.

Também pode sobreviver junto aos aparelhos de ar condicionado, nestes casos a contaminação se dá por aspiração.

A sobrevivência e reprodução desse organismo nos sistemas de água se justifica basicamente pela presença de materiais oxidados e outros materiais que servem de substrato para o crescimento e reprodução da Legionella, o que confere ao sistema de aquecimento de água, na verdade um ambiente final e não o único (<http://www.alitecnic.com/esp/legionella.htm>, acessado em 5/8/2000).

Este gênero de bactéria sustenta 39 espécies diferentes, mas somente 19 delas têm sido prejudiciais à saúde humana. Sua morfologia na espécie letal corresponde a um bacilo gramnegativo batizado com o nome de Legionella pneumophila que é causadora da legionelosis, ou doença do legionário, pois sua descoberta em 1976 se deu com a morte de legionários americanos hospedados num hotel. Outro diagnóstico classificado como legionelosis não pneumônica é conhecida como febre de Pontiac.

Desde a identificação desse bacilo em 1976 até hoje, vêm se registrando numerosos casos de contaminação e óbitos entre Canadá, EUA, França, Itália e Espanha entre outros países, provocando uma verdadeira movimentação dos pesquisadores para combater e exterminar a bactéria.

Alguns infectologistas afirmam que as medidas de aquecimento e cloração, são soluções transitórias, mas que a administração de sistemas de ionização à base de prata e cobre tem dado bons resultados em mais de 170 hospitais dos Estados Unidos.

(<http://www.imbiomed.com.mx/Patol/Ptv44n4/espanol/Wpt74-1.html>, acessado em 27/7/2000)

### 3.7 Comentários Finais

Esta revisão bibliográfica, aportou três fatos de relativo valor: o primeiro explicita a grande interrupção do aproveitamento da energia solar na história da humanidade, responsabilizando-se por isso, a desenfreada corrida aos combustíveis fósseis e geração de energia elétrica em grande escala desde a revolução industrial.

O outro aporte, tange sobre valor de implantação dos sistemas solares para aquecimento de água, cujo esforço tem sido na verdade uma guerra comercial entre fabricantes que procuram o máximo desempenho por um preço que exclui a classe menos favorecida, a qual representa a grande maioria da população brasileira.

E, finalmente sugere uma possibilidade, de transferir energia solar a água de banho, utilizando materiais de baixo custo, dividindo a potência necessária, para não comprometer o conforto dos usuários, em dois vetores tecnológicos e, assim, contribuir para a melhoria da edificação de baixa renda e para a administração da energia pelo lado da demanda.

Nesta revisão não houve ênfase sobre uma literatura específica a respeito do sol, entretanto, está no anexo C uma sintética revisão sobre este tópico que completa o assunto.



## **4 APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES DE BAIXA RENDA**

Este capítulo justifica e define o sistema global proposto, aborda o processo de medição de tensão, corrente e potência elétrica de alguns chuveiros comuns em funcionamento, ilustra os protótipos experimentados e os materiais empregados, as condições físicas e a metodologia de coleta de dados.

### **4.1 Descrição Global do Sistema de Aquecimento em Baixo Custo**

A vida moderna estabelece uma série de contingências com horários marcados. Como por exemplo, o horário de banho, de manhã cedo e ao anoitecer. A classe social operária cumpre com rigor os horários de trabalho e conseqüentemente os de banho. Geralmente os filhos ficam na escola, ou em outros ambientes, praticando os mesmos horários de banho dos pais.

O sistema de aquecimento proposto neste trabalho, leva em consideração que o banho de manhã não tem a mesma freqüência do banho do anoitecer, sustentado nas figuras 3.1 e 3.38 da revisão bibliográfica. Também se defende a hipótese de que uma reserva exclusiva para uso do chuveiro elétrico pode definir um volume estático de água durante grande parte do tempo, exceto no momento de utilização exclusiva do banho nos horários de contingência.

Coincidentemente, as contingências de horário de banho estão fora do horário de insolação.

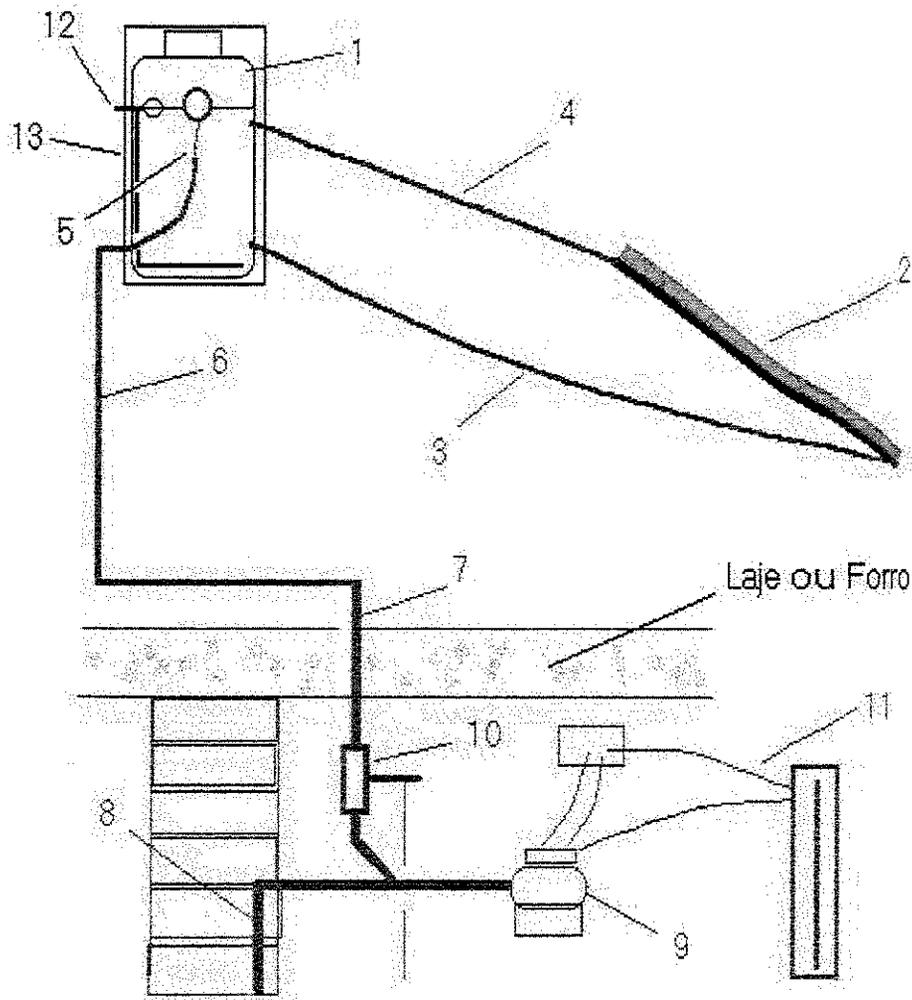
Assim sendo, a pretensão do sistema global de aquecimento deste trabalho não tem por objetivo a exclusão radical de uma resistência elétrica, e sim a racionalização do uso da potência da mesma, especialmente durante o banho da noite, através do aproveitamento do calor solar transferido durante o dia e conservado até a noite.

Outra hipótese considerada é sobre a temperatura da sub reserva da água para banho, a qual não deve superar 50°C no final de um dia ensolarado. Premissa que oferece a possibilidade de utilização de materiais de baixo custo, geralmente plásticos, à base de polímeros, além do próprio PVC, reduzindo dramaticamente os custos do sistema, se comparado com os convencionais. O tamanho reduzido do coletor, a insolação abundante e em grande potência privilegiam a redução dos tamanhos e, conseqüentemente dos custos.

A indiscutível preferência popular pela utilização do chuveiro elétrico foi a base decisória do aproveitamento desse instrumento como acessório terminal do sistema solar aqui proposto.

Um ponto positivo na escolha do chuveiro elétrico deve-se ao maior aproveitamento das instalações existentes, menor intervenção na obra e a facilidade na operação e manutenção do equipamento.

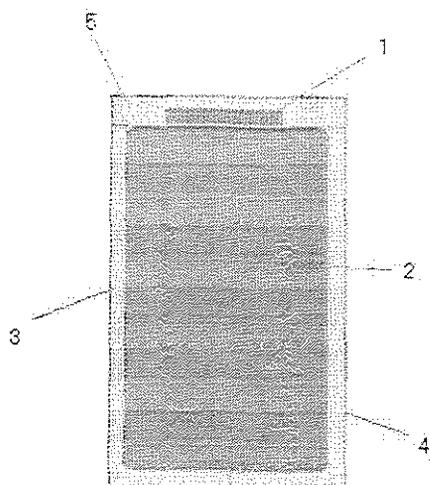
A figura 4.1 ilustra de forma sintética o sistema de aquecimento com apoio solar em baixo custo com um único coletor, modelado e previsto para operação.



- 1 = Reservatório térmico exclusivo para um chuveiro elétrico;
- 2 = Coletor solar;
- 3 = Tubulação que desce do reservatório térmico ao coletor;
- 4 = Tubulação, que sobe do coletor ao reservatório térmico;
- 5 = Subsistema pescador de água morna;
- 6 = Tubulação para consumo único de um chuveiro elétrico;
- 7 = Tubulação de admissão de água morna em cobre;
- 8 = Tubulação de água fria existente (em baixa pressão);
- 9 = Chuveiro monofásico existente;
- 10 = Registro misturador com alavanca rígida;
- 11 = Subsistema variador de tensão;
- 12 = Subsistema de entrada de água fria;
- 13 = Isolamento térmico;

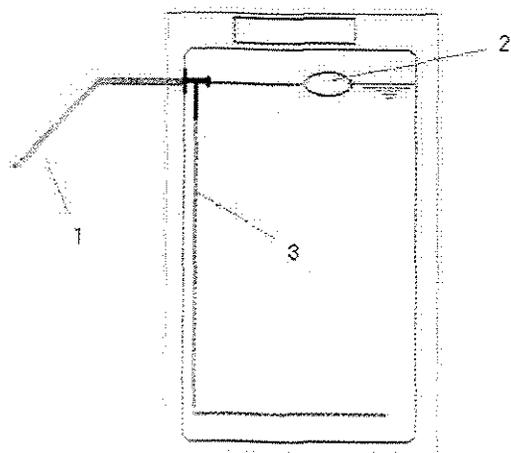
**Figura 4.1:** Sistema global de aquecimento de água de banho em situação sugerida para operação.

As figuras 4.2 a 4.7 detalham cada componente individual do sistema global apresentado.



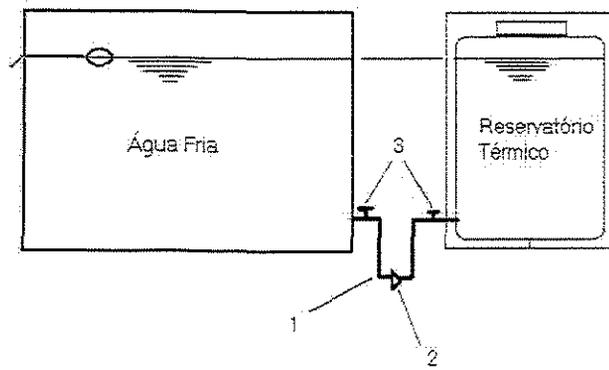
- 1 = Tampa removível;
- 2 = Parede do reservatório (plástico ou qualquer material de baixo custo que suporte até 50°C);
- 3 = Isolamento térmico (cerca de 0,03 m de espessura), em isopor ou jornal com tratamento anti-mofo;
- 4 = Lona plástica aderida com fita adesiva;
- 5 = Tampa térmica removível, para efeito de inspeção e limpeza.

**Figura 4.2:** Reservatório térmico e isolamento sugerido.



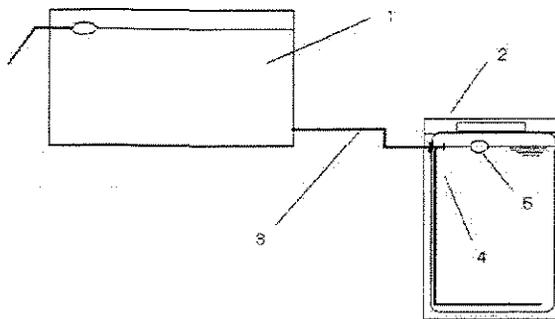
- 1 = Adução de água que provém do cavalete;
- 2 = Torneira de bóia com escape inferior;
- 3 = Difusor da água para o interior inferior do reservatório térmico.

**Figura 4.3:** Opção de alimentação do reservatório térmico com água diretamente da rede pública.



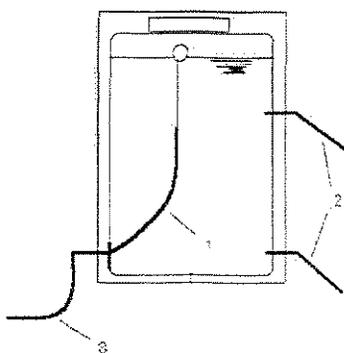
- 1 = Cavalete;
- 2 = Válvula de retenção;
- 3 = Registros de gaveta brutos.

**Figura 4.4:** Opção de alimentação do reservatório térmico por reservatório de água fria em nível.



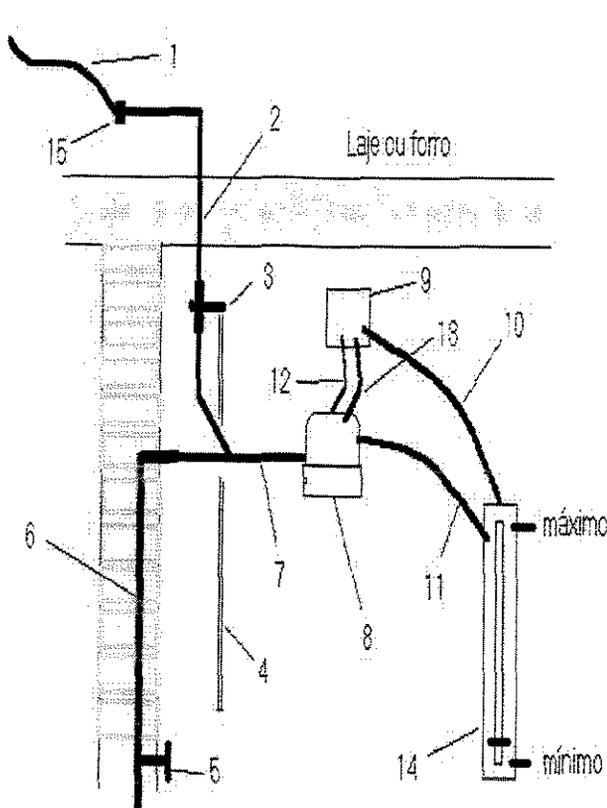
- 1 = Reservatório de água fria;
- 2 = Reservatório térmico;
- 3 = Tubulação entre os reservatórios;
- 4 = Bóia de escape inferior;
- 5 = Difusor de água fria.

**Figura 4.5:** Opção de alimentação do reservatório térmico por reservatório de água fria em desnível



- 1 = Tubo flexível preso a uma bóia;
- 2 = Tubos comunicados ao coletor;
- 3 = Ramal de abastecimento do chuveiro unitário.

**Figura 4.6:** Subsistema "pescador" de água morna no interior do reservatório térmico.



- 1 = Tubulação que vem do reservatório térmico;
- 2 = Tubulação de admissão de água quente;
- 3 = Registro metálico de esfera;
- 4 = Alavanca rígida para operação de abertura e fechamento da água morna;
- 5 = Registro de pressão da instalação de água fria existente ou a construir;
- 6 = Tubulação da instalação de água fria existente ou a construir;
- 7 = Braço misturador;
- 8 = Chuveiro elétrico;
- 9 = Caixa 4x2 da instalação elétrica existente ou a construir;
- 10 = Fio fase a variar de tensão;
- 11 = Fio fase de tensão variada;
- 12 = Fio neutro;
- 13 = Fio terra;
- 14 = Sub sistema variador da tensão da fase destinada ao chuveiro
- 15 = Transição de tubo plástico semi flexível para cobre rígido.

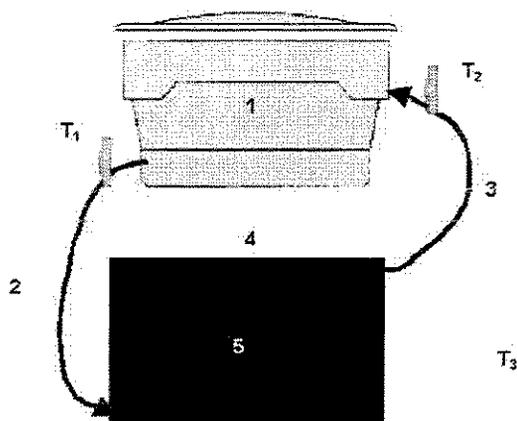
**Figura 4.7:** Subsistema terminal de utilização, com chuveiro elétrico de 127 V.

Foram estudados diferentes materiais e configurações para a confecção do coletor solar, resultando em sete protótipos, os quais serão descritos no item a seguir.

## 4.2 Investigação Experimental

### 4.2.1 Protótipos Experimentados e Seleção dos Materiais Empregados

Os experimentos realizados em campo restringem-se à observação da capacidade de transferência de calor entre o coletor solar e reservatório térmico em baixo custo. A figura 4.8 apresenta esse desenho esquemático dos protótipos que serão abordados nos itens seguintes.



$T_1$  = Termômetro instalado na saída do reservatório junto à tubulação que desce para o coletor solar;

$T_2$  = Termômetro instalado na chegada do reservatório junto à tubulação que vem do coletor solar;

$T_3$  = Termômetro de bulbo seco para medição da temperatura ambiente;

1 = Reservatório;

2 = Tubulação que desce para o coletor solar;

3 = Tubulação que sobe do coletor solar para o reservatório;

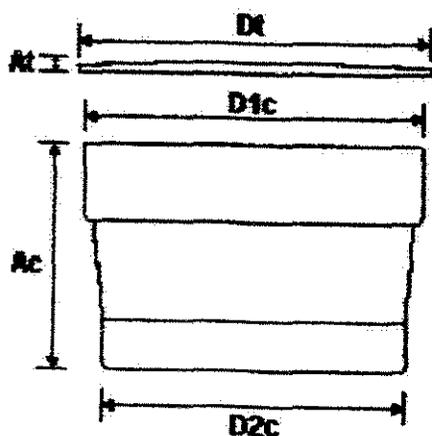
4 e 5 = Coletor solar.

**Figura 4.8:** Esquema genérico dos protótipos estudados.

### 4.2.1.1 Descrição do Protótipo 1

O protótipo 1 é composto essencialmente, pelos seguintes componentes:

- Coletor solar constituído por 65,00 m de tubo de polietileno preto de 1/2", com espessura de parede igual a 2,50 mm, enrolado em forma de semi tronco cônico e pintado com tinta látex cor preto fosco; Área máxima de captação solar de 2m<sup>2</sup>;
- Tubulação em polietileno, para interligação do coletor a um reservatório de fibrocimento de 500 litros onde, por convecção a água aquecida sobe naturalmente para o reservatório, cujas dimensões estão ilustradas na figura 4.9;
- Adaptação para encaixe de termómetro próximo às flanges superior e inferior, conforme detalhe da figura 4.10.



Massa com tampa = 68 kg

D1c = 1,09 m

D2c = 0,97 m

Ac = 0,67 m

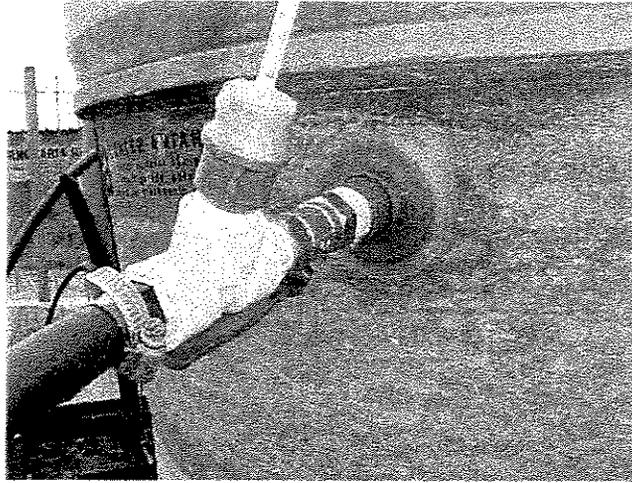
At = 0,040 m

Dt = 1,130 m

Espessura da parede = 0,008 m

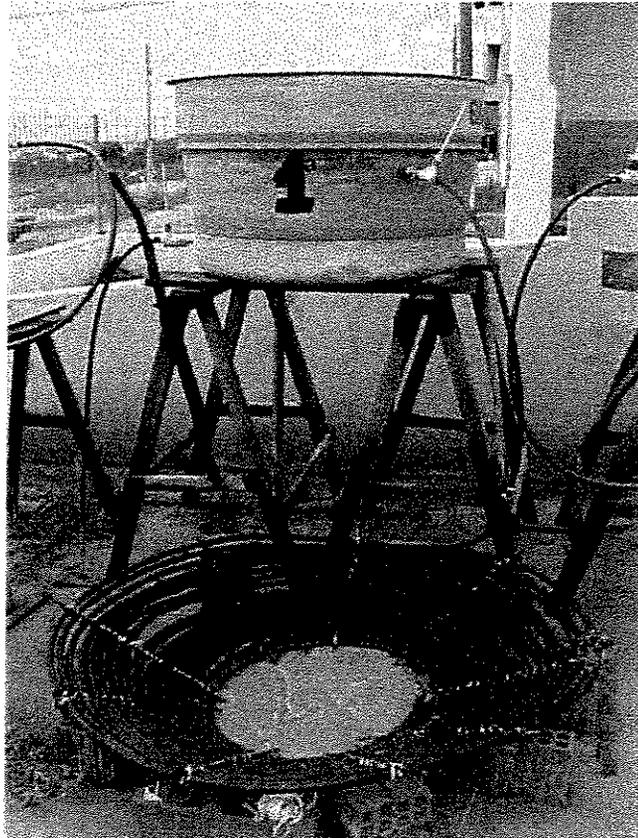
Altura com tampa = 0,71 m

Figura 4.9: Dimensões do reservatório de fibrocimento utilizado.



**Figura 4.10:** Detalhe da fixação de termômetro.

A figura de 4.11 ilustra a montagem do protótipo 1.

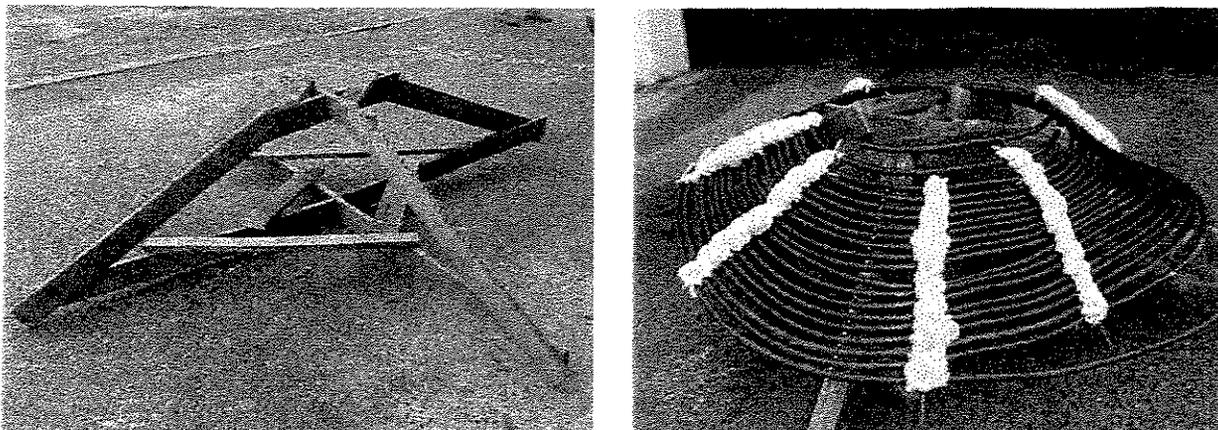


**Figura 4.11:** Protótipo 1 em operação.

Essencialmente, os materiais empregados nesse protótipo e respectivas quantidades, foram:

- 65m de tubo em polietileno preto de 1/2 " e 2,5 mm de parede;
- 9 barras de Ø 6,3 mm de ferro comum com 0,90 m de comprimento;
- Barbante plástico resistente;
- Uma caixa em fibrocimento de 500 litros com tampa;
- Três flanges curtas de 1/2";
- Quatro niples em PVC roscável de 1/2";
- Três registros metálicos de esfera de 1/2";
- Dois tês em PVC roscável de 1/2";
- Dois adaptadores em polietileno preto 1/2" rosca macho;
- Dois adaptadores PVC DN 20 mm x 1/2";
- Dois termômetros de leitura manual;
- Quatro braçadeiras comuns;
- Um cavalete em madeira de 1,10 m de altura com duas tábuas de para apoio do reservatório;
- Seis tijolos cerâmicos para suportar a forma do coletor;
- 1/2 litro de tinta PVA preto fosco e uma trincha pequena;
- Fita veda rosca;
- Silicone industrial.

Para a obtenção da forma de semi tronco cônico na mangueira de polietileno do protótipo 1, empregou-se uma forma auxiliar em madeira, conforme ilustra a figura 4.12.



**Figura 4.12:** Forma em madeira para confecção do coletor solar do protótipo 1.

#### 4.2.1.2 Descrição do Protótipo 2

O protótipo 2 foi assim construído:

- Mini coletor solar de linha de produção industrial com preço reduzido, de 1,03 m<sup>2</sup> (1 x 1,03 m) com caixa fechada em alumínio e tampa de vidro liso plano de 4mm transparente; 9 tubos internos verticais em cobre de 3/8" de diâmetro envolvidos por aletas de alumínio pintadas em preto fosco, 2 tubos horizontais de 22 mm em cobre que recebem os verticais e fundo em camada de poliuretano;
- Tubulação em polietileno, para interligação do coletor com um reservatório em fibrocimento de 500 litros de forma cônica, com tampa de dimensões específicas ilustradas anteriormente. na figura 4.9;
- Adaptação para encaixe de termômetro próximo às flanges superior e inferior, conforme detalhado anteriormente, na figura 4.10

A figura 4.13 ilustra o protótipo 2 em operação.



**Figura 4.13:** Protótipo 2 em operação.

Os materiais, e respectivas quantidades, empregados no protótipo 2, foram:

- Um mini coletor convencional de 1,03 m<sup>2</sup> da marca Soletrol;
- 3,5m de tubo em polietileno preto de 1/2 " e 2,5 mm de parede;
- Uma caixa em fibro cimento de 500 litros com tampa;
- Três flanges curtas de 1/2";
- Quatro niples em PVC roscável de 1/2";
- Três registros metálicos, de esfera de 1/2";
- Dois tês em PVC roscável de 1/2";
- Quatro adaptadores em polietileno preto 1/2" rosca macho;
- Dois adaptadores em cobre DN 22 solda rosca fêmea 3/4"
- Duas buchas de redução branca em PVC de 3/4" x 1/2"
- Dois adaptadores PVC DN 20 mm x 1/2;

- Dois termômetros de leitura manual;
- Quatro braçadeiras comuns;
- Um cavalete em madeira de 1,10 m de altura com duas tábuas de para apoio do reservatório;
- Solda de estanho, pasta para solda e maçarico a gás;
- Fita veda rosca;
- Silicone industrial.

### 4.2.1.3 Descrição do Protótipo 3

Os componentes do protótipo 3 são, essencialmente:

- Coletor solar de linha de produção industrial com preço reduzido de 1,45 m<sup>2</sup> (2,05 x 0,7 m) com lateral em alumínio, sem tampa, 7 tubos internos verticais em cobre de 3/8" de diâmetro envolvidos por aletas de alumínio pintadas com tinta preto fosco, 2 tubos horizontais de 22 mm em cobre que recebem os verticais sem fundo;
- Tubulação em polietileno preto de 1/2" que interliga o coletor ao reservatório de fibrocimento de 500 litros de forma cônica, ilustrado anteriormente na figura 4.9;
- Adaptação para encaixe de termômetro próximo às flanges superior e inferior, conforme detalhado na figura 4.10.

A figura 4.14 ilustra a montagem do protótipo 3.



**Figura 4.14:** Protótipo 3 em operação.

No protótipo 3 foram empregados os seguintes materiais e respectivas quantidades:

- Um coletor de baixo custo sob encomenda, sem vidro, de 1,45 m<sup>2</sup> da marca Soletrol;
- 4m de tubo em polietileno preto de 1/2 " e 2,5 mm de parede;
- Uma caixa em fibrocimento de 500 litros com tampa;
- Três flanges curtas de 1/2";

- Quatro niples em PVC roscável de 1/2";
- Três registros de esfera de 1/2" metálicos;
- Dois Tês em PVC roscável de 1/2";
- Quatro adaptadores em polietileno preto 1/2" rosca macho;
- Dois adaptadores em cobre DN 22 solda rosca fêmea 3/4";
- Duas buchas de redução roscável em PVC de 3/4" x 1/2";
- Dois adaptadores PVC DN 20 mm x 1/2";
- Dois termômetros de leitura manual;
- Quatro braçadeiras comuns;
- Um cavalete em madeira de 1,10 m de altura com duas tábuas de para apoio do reservatório;
- Solda de estanho, pasta para solda e maçarico a gás;
- Fita veda rosca;
- Silicone industrial.

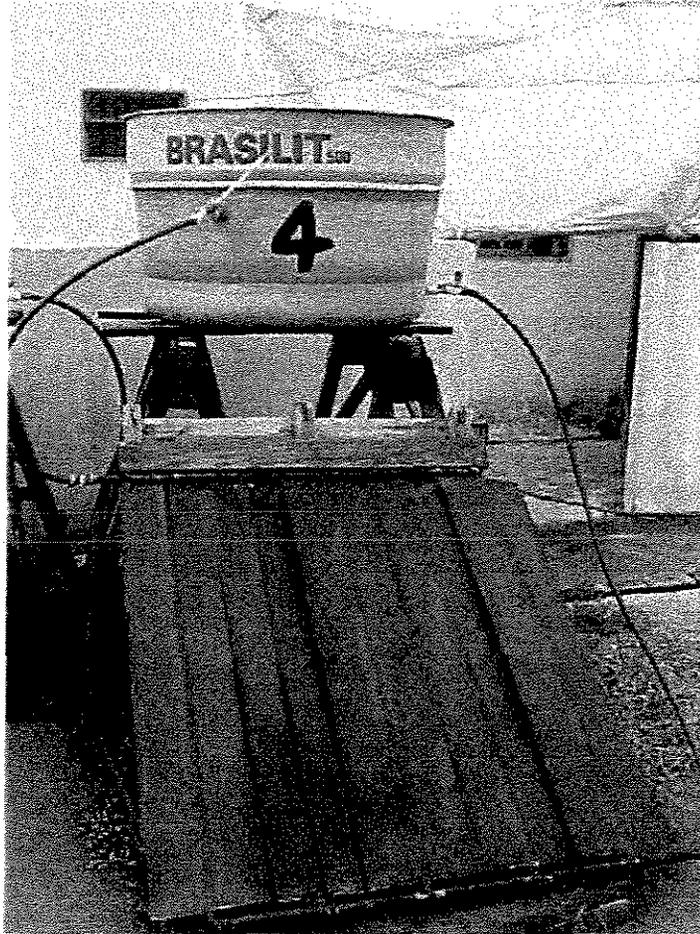
#### 4.2.1.4 Descrição do Protótipo 4

A constituição do protótipo 4 foi a seguinte:

- Coletor auto constituído por 5 aletas de 0,25 m por 1,26 m em chapa galvanizada nº 26, de 0,5 mm de espessura, com um vinco vertical em cada aleta, onde 5 tubos longitudinais em cobre de diâmetro nominal de 15 mm foram fixos através de filete de solda estanhada, (dois tubos horizontais em cobre de diâmetro nominal de 22 mm foram simplesmente soldados com os verticais utilizando-se conexões comuns, sem caixa, sem lateral nem fundo, pintado com látex comum preto fosco misturado em cola branca para madeira);
- Tubulação em polietileno preto de 1/2" que interliga o coletor ao reservatório de fibrocimento de 500 litros de forma cônica, ilustrado anteriormente na figura 4.9;

- Adaptação para encaixe de termômetro próximo às flanges superior e inferior, conforme detalhado anteriormente na figura 4.10.

A figura de 4.15 ilustra a montagem do protótipo 4.



**Figura 4.15:** Protótipo 4 em operação.

Os materiais e respectivas quantidades empregados no protótipo 4 foram:

- 1,58 m<sup>2</sup> de chapa galvanizada nº 26, em 5 aletas de 0,25 m por 1,26m, com espessura de 0,5 mm;
- 6,3 m de tubo DN 15 em cobre (5 pedaços de 1,26 m);
- 1,5 m de Tubo DN 22 em cobre;

- 2 joelhos 90° DN 22 em cobre;
- 8 Tês 90° DN 22 em cobre;
- 10 reduções DN 22 x 15 em cobre;
- 4 m de tubo em polietileno preto de 1/2 " e 2,5 mm de parede;
- Uma caixa em fibrocimento de 500 litros com tampa;
- Três flanges curtas de 1/2";
- Quatro niples em PVC roscável de 1/2";
- Três registros de esfera de 1/2" metálicos;
- Dois tês em PVC roscável de 1/2";
- Quatro adaptadores em polietileno preto 1/2" rosca macho;
- Dois adaptadores em cobre DN 22 solda rosca fêmea 3/4"
- Duas buchas de redução branca em PVC de 3/4" x 1/2"
- Dois adaptadores PVC DN 20 mm x 1/2;
- 1/2 litro de tinta PVA preto fosco e uma trincha pequena;
- 1/2 litro de cola branca para assentamento de taco;
- Dois termômetros de leitura manual;
- Quatro braçadeiras comuns;
- Um cavalete em madeira de 1,10 m de altura com duas tábuas de para apoio do reservatório;
- Solda de estanho, pasta para solda e maçarico a gás;
- Fita veda rosca;
- Silicone industrial.

#### 4.2.1.5 Descrição do Protótipo 5

O protótipo 5 apresentou a seguinte composição:

- Coletor auto constituído de 1,40 m<sup>2</sup> em chapa galvanizada nº 26 com 0,5 mm de espessura, com 5 vincos verticais onde 5 tubos longitudinais em cobre de diâmetro nominal de 15mm foram fixados através de filetes de solda estanhada (dois tubos horizontais em cobre de diâmetro nominal de 15 mm foram simplesmente soldados

com os verticais utilizando-se conexões comuns, sem caixa, sem lateral nem fundo, pintado com tinta látex comum, cor preto fosco, misturado em cola branca para madeira);

- Tubulação em polietileno preto de 1/2" que interliga o coletor a um reservatório plástico reciclado de produto alimentício, com 240 litros e 3 mm de espessura de parede, com forma semi cilíndrica munido de tampa removível tipo escotilha com borracha de vedação;
- Adaptação para encaixe de termômetro próximo às flanges superior e inferior, conforme detalhado anteriormente na figura 4.10.

A figura 4.16 ilustra o protótipo 5 em operação.

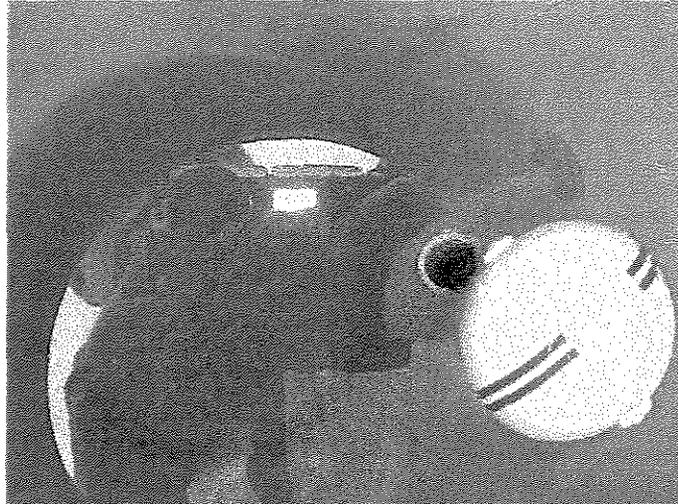


**Figura 4.16:** Protótipo 5 em operação.

A constituição do protótipo 5 foi a seguinte:

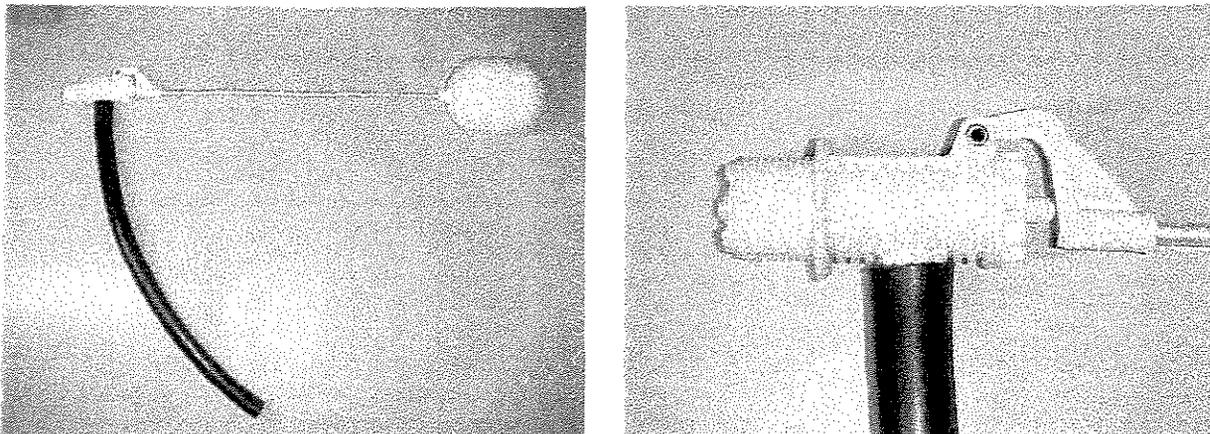
- Um reservatório plástico reciclado de produto alimentício, com tampa, de 240 litros;
- 1,40 m<sup>2</sup> de chapa galvanizada nº 26, com 0,5 mm de espessura;
- 8,5 m de tubo DN 15 em cobre;
- 2 joelhos 90° DN 15 em cobre;
- 8 têes 90° DN 15 em cobre;
- 4 m de tubo em polietileno preto de 1/2 " e 2,5 mm de parede;
- Três flanges curtas de 1/2";
- Quatro niples em PVC roscável de 1/2";
- Três registros de esfera de 1/2" metálicos ou plásticos;
- Dois Tês em PVC roscável de 1/2";
- Quatro adaptadores em polietileno preto 1/2" rosca macho;
- Dois adaptadores em cobre DN 15 solda e rosca fêmea 3/4".....
- Dois adaptadores PVC DN 20 mm x 1/2";
- Dois termômetros de leitura manual;
- Quatro braçadeiras comuns;
- Um cavalete em madeira de 1,10 m de altura com duas tábuas de para apoio do reservatório;
- Solda de estanho, pasta para solda e maçarico a gás;
- 1/2 litro de tinta látex, cor preto fosco e uma trincha pequena;
- 1/2 litro de cola branca para madeira;
- Fita veda rosca;
- Silicone industrial.
- 0,80 m de conduíte amarelo flexível corrugado de 1"
- Uma bóia plástica de 0,05 m de diâmetro;
- 1m de linha de *nylon* para pesca nº 0,75;

Na figura 4.17 ilustra-se o "pescador" de água morna disposto no protótipo 5 em funcionamento, já apresentado na configuração ilustrada anteriormente pela figura 4.1.



**Figura 4.17:** "Pescador" de água morna para colocação no interior do reservatório.

A figura 4.18 ilustra a torneira de bóia sugerida como parte do subsistema mencionado anteriormente no sistema global da figura 4.1, cuja função é impedir a mistura turbulenta de água fria no interior do reservatório térmico, preservando melhor as camadas de água morna depositadas na parte superior do mesmo.



**Figura 4.18:** Modelo de torneira de bóia sugerida para a entrada de água fria no reservatório térmico.

Um reservatório de 500 litros em fibrocimento de dimensões idênticas aos outros de fibrocimento, usados pelos protótipos de 1 a 4, apenas cheio de água, sem nenhuma adaptação, foi colocado no mesmo ambiente dos protótipos. Este reservatório auxiliar foi denominado com o nº 5.

Na figura 4.19 pode-se observar o espaço total empregado, todos os protótipos e a localização da caixa auxiliar nº 5.



**Figura 4.19:** Vista global de todos os protótipos ensaiados e da caixa auxiliar nº 5.

Foram construídos mais dois coletores solares alternativos. Um deles, com tubos de cobre DN 22 mm encamisados com garrafas recicladas de vidro, (ver figura 4.20). Este modelo foi experimentado durante cinco dias. O outro modelo de coletor solar era exatamente igual na forma, porém totalmente em polietileno e com garrafas plásticas recicladas. Também foi montado e testado, durante 3 dias, um reservatório

plástico reciclado com apoio elétrico e temporizador incorporado, mais sugestão de termostato, conforme mostra a figura 4.21.

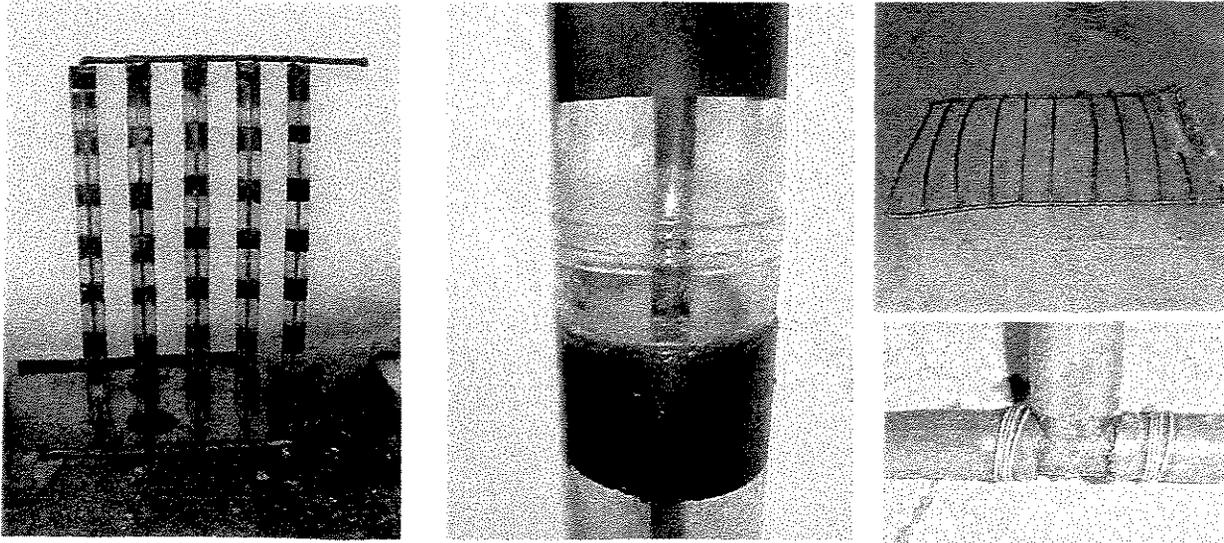


Figura 4.20: Coletor em cobre com garrafas de vidro recicladas e coletor em Polietileno.

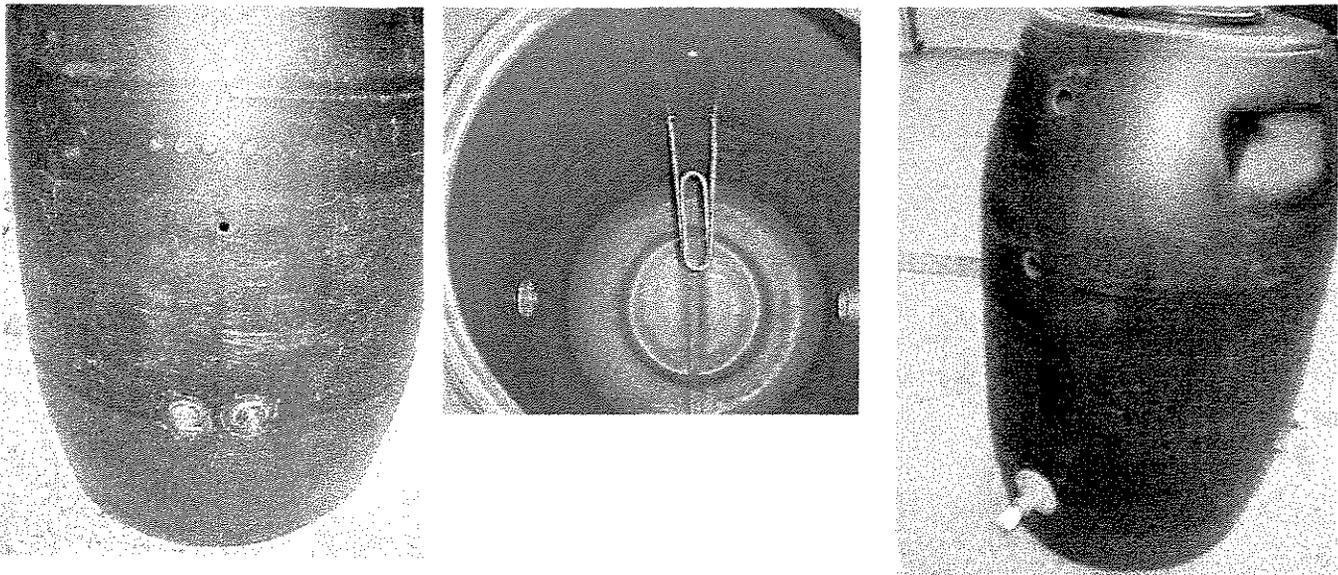


Figura 4.21: Reservatório com apoio elétrico incorporado.

Além dos já apresentados, os materiais, plásticos selecionados podem ser vistos na figura 4.22. Os materiais metálicos podem ser visualizados na figura 4.23.

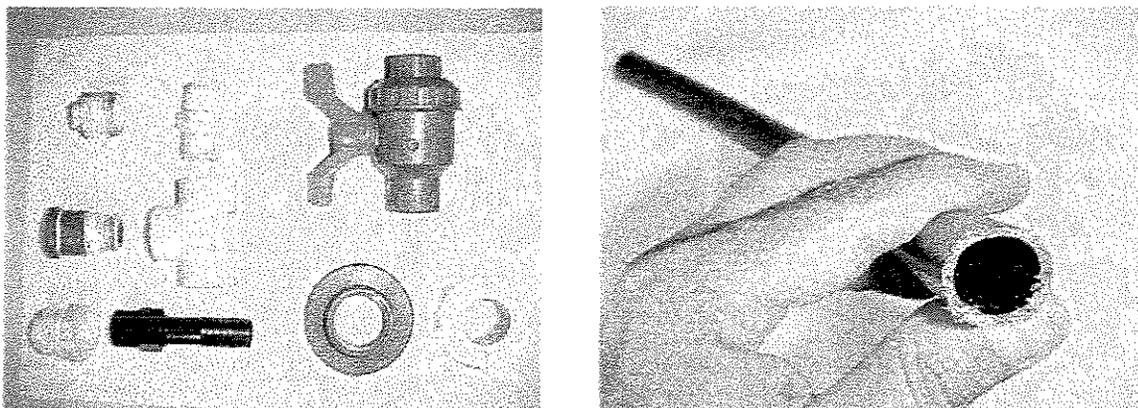


Figura 4.22: Materiais plásticos.

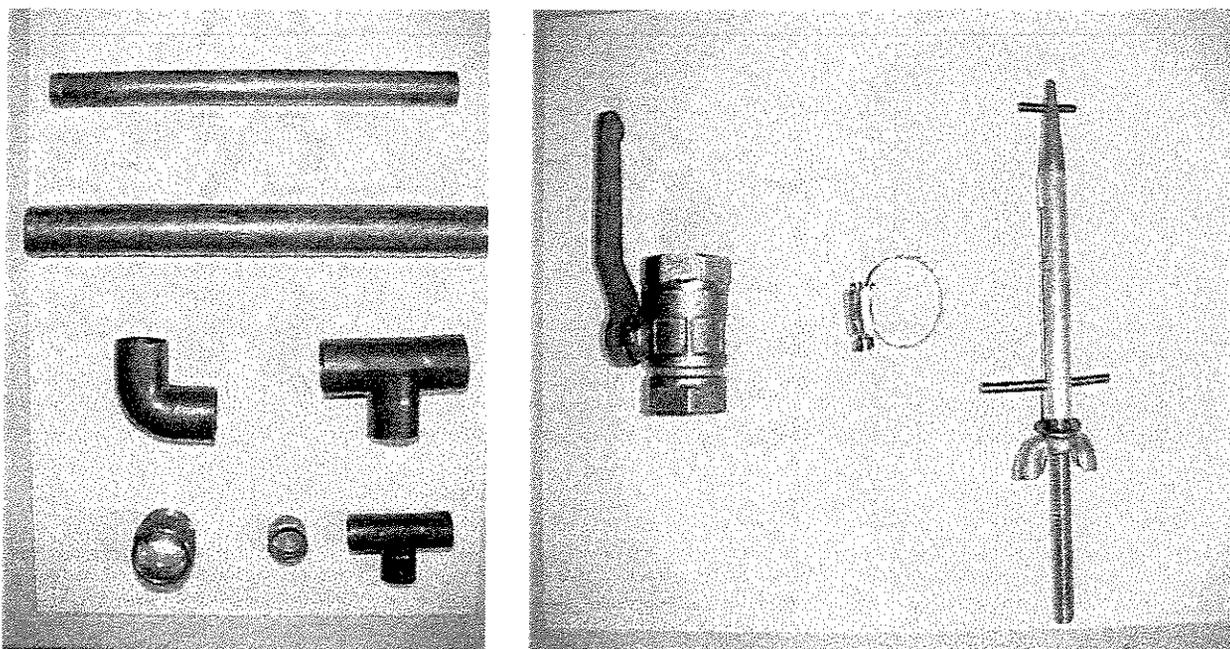
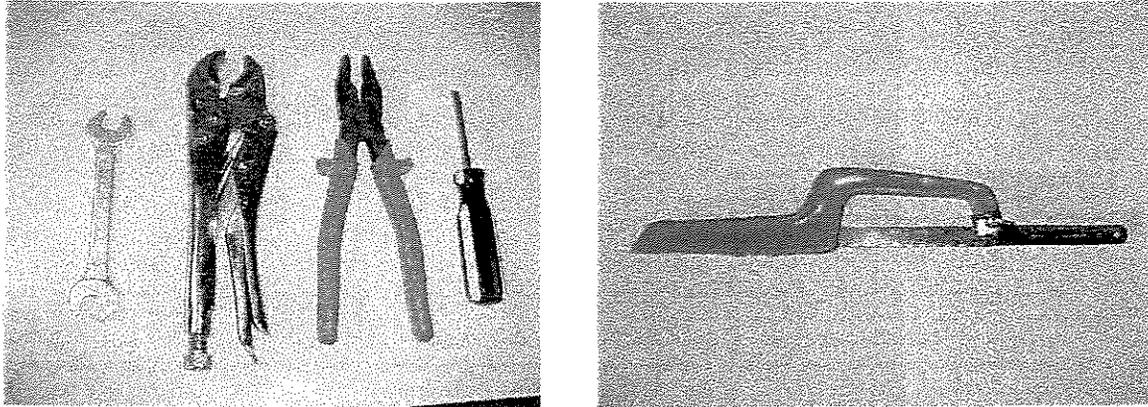


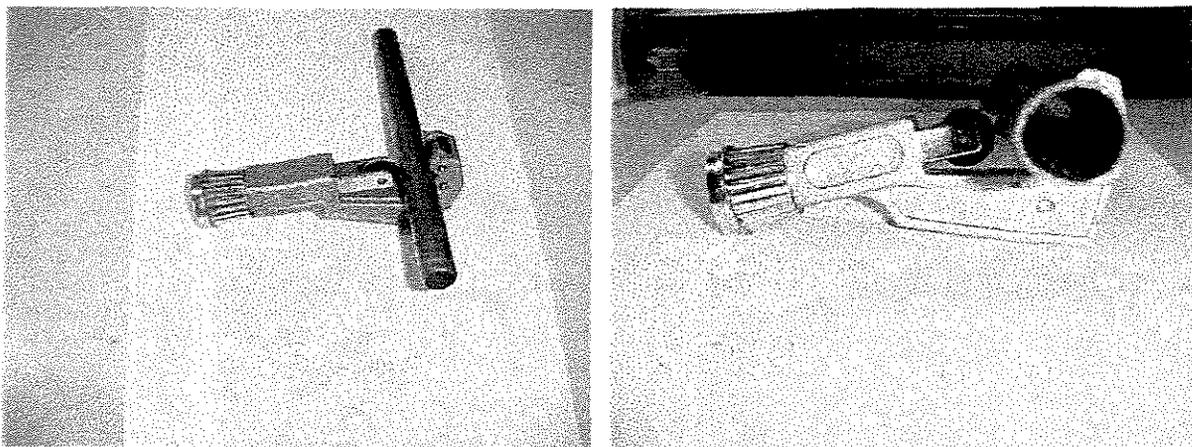
Figura 4.23: Materiais metálicos: tubos e conexões de cobre, registro e ferramenta utilizada para executar braçadeiras de arame.

As poucas ferramentas para manipulações das conexões plásticas e execução dos protótipos apresentados estão ilustradas na figura 4.24.

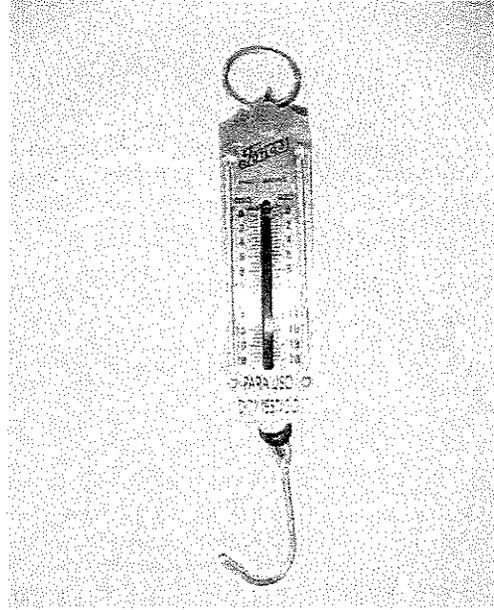


**Figura 4.24:** Ferramentas empregadas para a montagem dos protótipos.

As ferramentas para corte e solda de tubos e conexões de cobre, são apresentadas na figura 4.25 e 4.26. Na Figura 4.26, também pode ser visualizado o dinamômetro empregado para determinação da massa dos coletores.

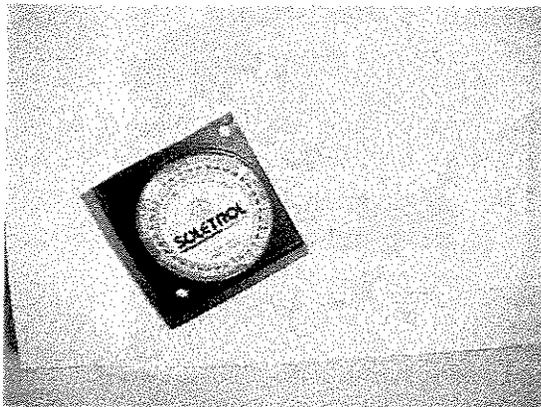


**Figura 4.25:** Ferramenta para corte de tubo de cobre.



**Figura 4.26:** Maçarico, solda de estanho e pasta para solda de tubos e conexões de cobre; dinamômetro.

A figura 4.27 ilustra o aparelho utilizado para aferir a inclinação real dos coletores solares experimentados nos protótipos de 2 a 5. Nota-se que a montagem da tomada fotográfica confere o aferimento do aparelho sobre esquadro de 30°.



**Figura 4.27:** Transferidor de campo.

Os termômetros, com seus adaptadores incorporados, podem ser vistos na figura 4.28.

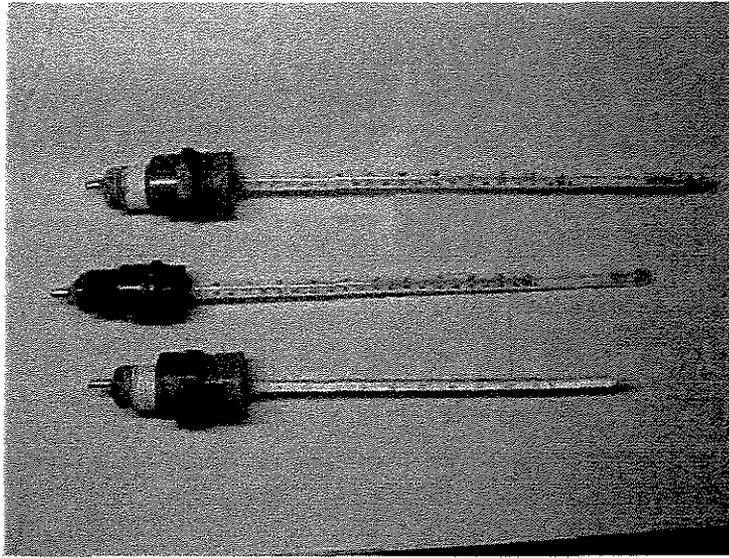
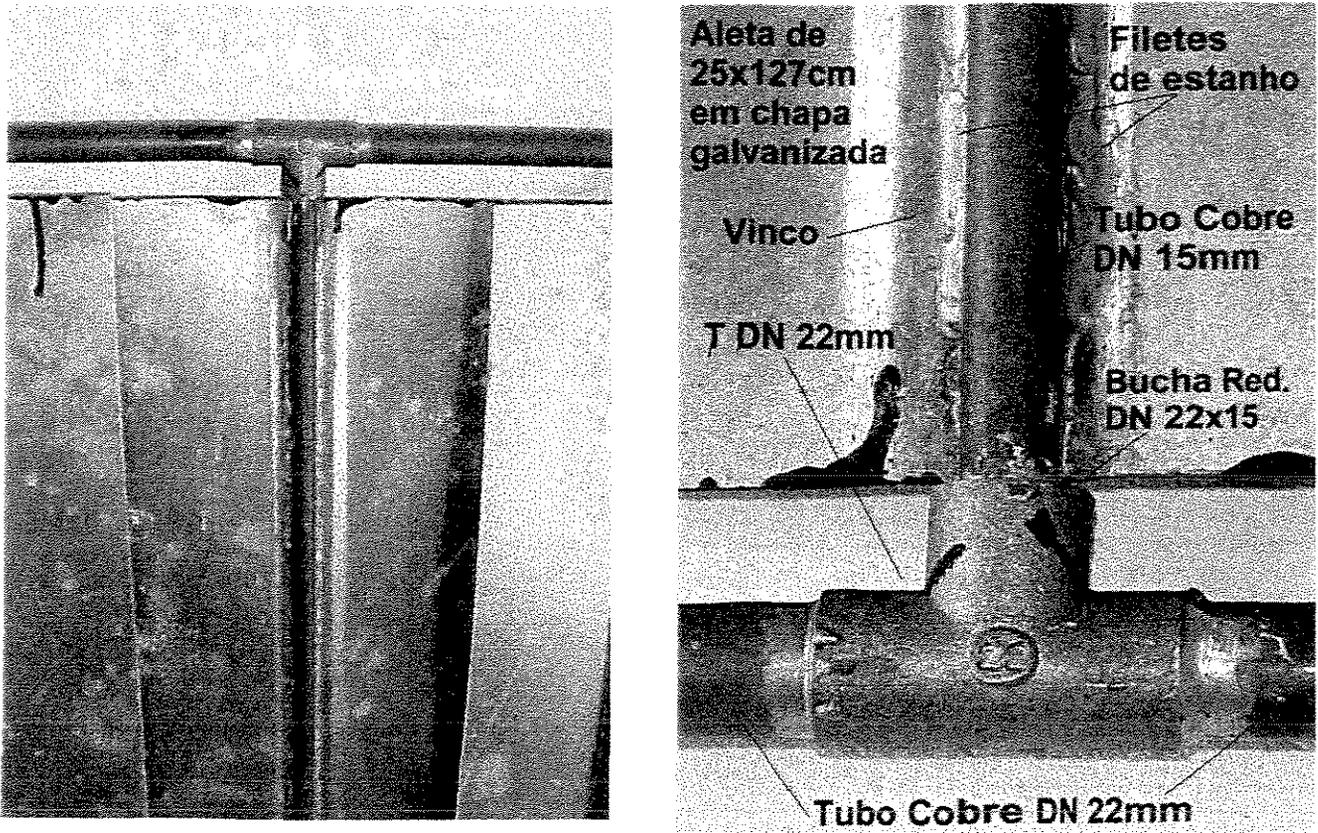


Figura 4.28: Termômetros com adaptadores.

#### 4.2.1.6 Detalhes Construtivos dos Coletores Auto Fabricados

Visando o baixo custo do sistema, optou-se primeiramente por tiras de chapas galvanizadas vendidas em rolos com espessuras variáveis. Adotou-se a largura de 0,30 m.

O coletor do protótipo 4, foi construído com 5 aletas de chapa galvanizada nº 26 de 0,5 mm de espessura. As aletas de 0,30 m de largura, foram cortadas em pedaços de 1,27 m e, com o vinco central para alocação do cano de cobre, assumiram 0,25 m de largura. Um tubo de 1,30 m de cobre DN 15 mm, foi soldado em cada vinco das aletas, através de dois filetes em estanho. As tomadas fotográficas apresentadas na figura 4.29 mostram os detalhes. Os tubos verticais condutores não ficaram expostos ao sol.



**Figura 4.29:** Detalhes das aletas do coletor do protótipo 4.

O coletor do protótipo 5 foi construído em uma única chapa galvanizada, racionalizando o tamanho da chapa padrão de fabricação. Isto significa que, de uma única chapa padrão, poderiam ser produzidos 4 coletores de 1,50 x 0,93 m. Também foi empregada chapa nº 26 de 0,50 mm de espessura.

A chapa recebeu 5 vincos, onde foram dispostos 5 tubos de cobre DN 15 mm com 0,95 m de comprimento. As duas tubulações horizontais também foram executadas em cobre soldado DN 15mm. Na posição de trabalho, os tubos verticais de condução ficaram expostos aos sol, ao contrário do protótipo 4. A figura 4.30 mostra os detalhes citados.

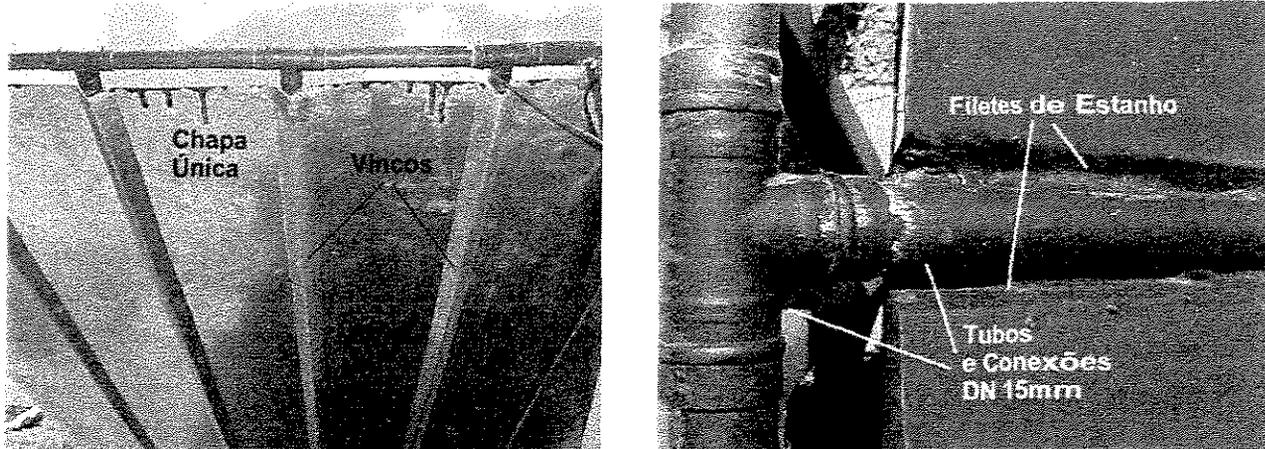


Figura 4.30: Detalhes do coletor utilizado no protótipo 5.

#### 4.2.1.7 Detalhes dos Reservatórios Utilizados

Com a finalidade de facilitar a circulação e preservar a tubulação de polietileno preto durante o processo de convecção da água, os reservatórios foram perfurados convenientemente, em um ângulo de  $135^\circ$  em planta. As medidas em elevação das perfurações para a convecção das caixas em fibrocimento, e o detalhe em planta podem ser vistos nas figuras 4.31 e 4.32.

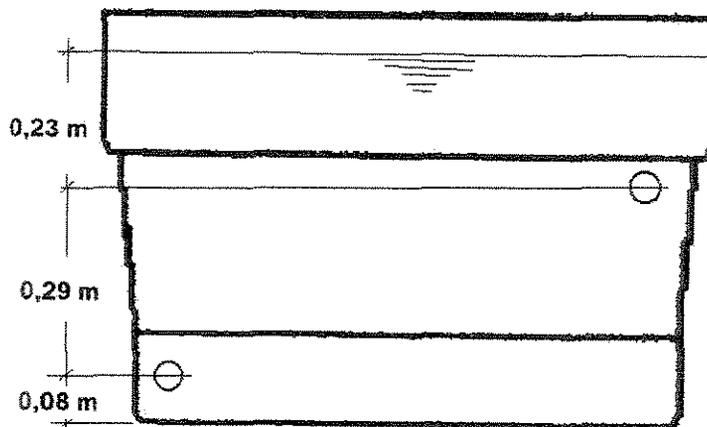
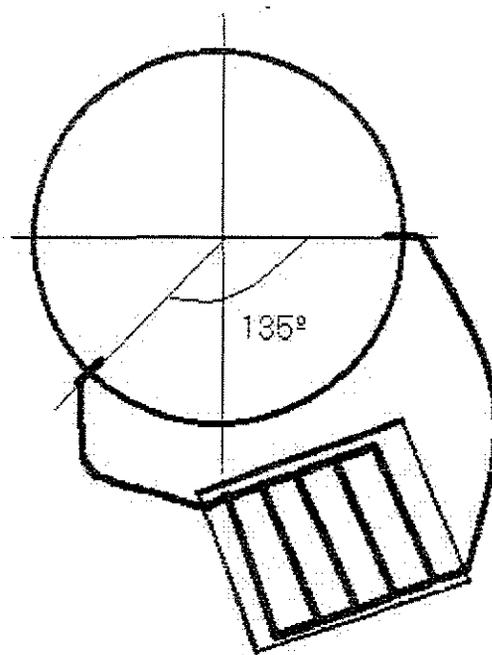


Figura 4.31: Medidas das perfurações para convecção nos reservatórios de fibrocimento.

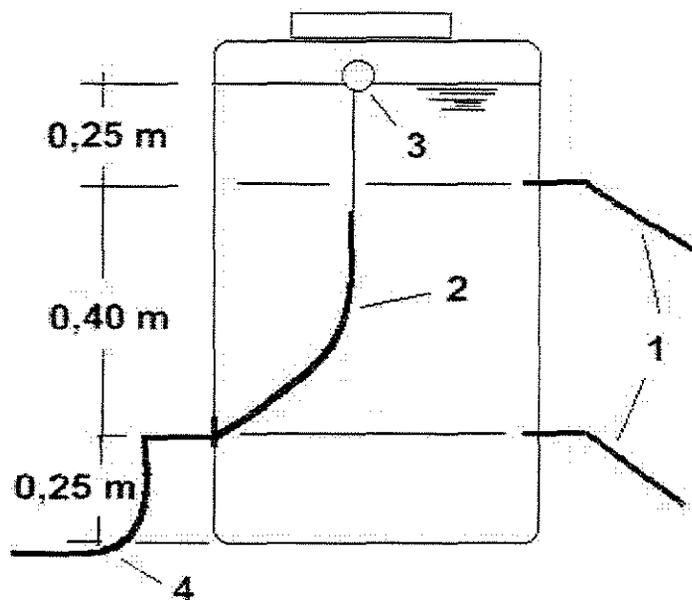


**Figura 4.32:** Localização das perfurações, em planta de todos os reservatórios.

As medidas fornecidas pelo fabricante do reservatório de fibrocimento, foram especificadas anteriormente, na figura 4.9

Quanto aos reservatórios plásticos utilizados, os mesmos foram adquiridos em depósito de reciclagem de tambores. Originários da Argentina, vieram carregados com azeítonas para o Brasil. Foram adquiridos por baixo custo. O volume unitário é de 240 litros.

Este tipo de reservatório recebeu o dispositivo "pescador" de água morna, mencionado anteriormente, composto apenas por um conduíte amarelo flexível de 1" amarrado a uma bóia plástica resistente por fio de *nylon* e simplesmente encaixado à flange de 1/2" por pressão, com um pedaço de tubo de PVC DN 20mm. A posição dos tubos responsáveis pela convecção da água e do consumo cotada em elevação, está na figura 4.33.



- 1 = Tubos de polietileno preto;
- 2 = "Pescador" Flexível em plástico;
- 3 = Bóia plástica resistente;
- 4 = Ramal de consumo, tubo de polietileno preto.

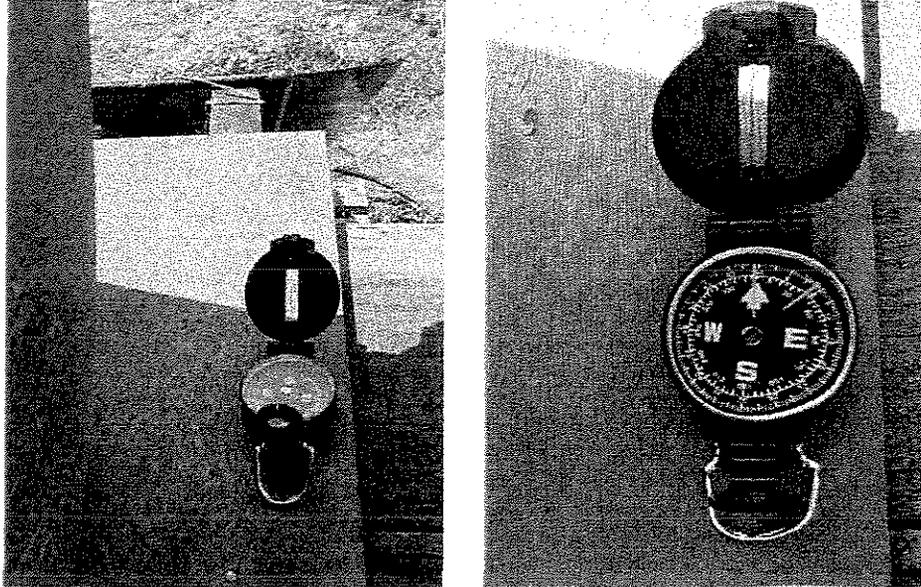
**Figura 4.33:** Locação dos tubos confinados pela convecção da água e do ramal de saída para consumo.

As espessuras das paredes dos reservatórios plásticos tiveram uma diferença de 1 mm entre as duas unidades adquiridas, desconsiderando-se que um deles recebeu uma camada de tinta esmalte sintética preto fosco.

#### 4.2.1.8 Condições Físicas da Experimentação de Campo

Os coletores solares dos cinco protótipos ficaram alinhados e posicionados apontando para o Norte Magnético, ou seja, defasados de aproximadamente 18° à

esquerda do norte verdadeiro<sup>4</sup>, que seria a melhor posição. Para o alinhamento foi utilizada uma bússola como a ilustrada na figura 4.34.



**Figura 4.34:** Posição dos coletores com relação ao Norte.

Com exceção do protótipo 1, os coletores planos ficaram inclinados em 30° com relação ao plano horizontal. Em todos os protótipos a água proveniente do coletor era aduzida ao reservatório por convecção.

### **4.3 Complementação do Pré Aquecimento Solar com Energia Elétrica**

Conforme salientado anteriormente, o sistema de pré aquecimento solar proposto, pressupõe uma complementação elétrica.

---

<sup>4</sup> No Estado de SP o Norte verdadeiro está aproximadamente 18° à direita do Norte magnético, segundo manual de instalação de sistemas solares da Soletrol Ltda. (Soletrol, 2000)

Pensando no conforto e economia, está sendo proposto neste trabalho a estratificação da potência elétrica de um chuveiro supostamente existente na habitação popular, através do incremento de um dispositivo variador de tensão em baixo custo.

Uma das preocupações com relação a um chuveiro existente, é a dificuldade na dosagem de água fria com a água morna e a própria resistência elétrica em funcionamento. Nesse sentido, foram efetuadas várias medidas das potências elétricas de 5 chuveiros disponíveis no mercado, o que se encontra descrito no item 4.3.1.

O variador de tensão para o caso específico de incorporação em chuveiro existente, se encontra ilustrado e detalhado no item 4.3.2.

#### **4.3.1 Medição de Potências Elétricas em Operação, Justificativa e Modelos Selecionados**

Imagina-se a dificuldade de um usuário em dosar a temperatura da água do banho através de duas operações manuais bastante desconfortáveis: a posição das chaves do chuveiro elétrico e a abertura dos registros de água fria e admissão de água morna. Esta preocupação designa a incorporação de um dispositivo variador da tensão junto à fase do chuveiro elétrico (de preferência mono) que forçaria a potência elétrica do chuveiro a trabalhar entre zero à máxima potência nominal, através de operação manual em alavanca deslizante.

Pensando, *a priori*, numa alavanca separada como ilustrado anteriormente na figura 4.7 (item 14), localizada próxima ao chuveiro, em local confortável, seguro e de fácil manipulação, se eliminaria a operação junto às chaves do chuveiro elétrico, que poderiam ficar estacionadas na posição máxima.

Para projetar e construir um dispositivo variador de tensão, pensando em baixo custo, deve-se pensar na amplitude e eficiência dos chuveiros de mercado, para recomendar o melhor modelo. Esta colocação justifica a investigação experimental da

medição de chuveiros em funcionamento, ainda assim é importante observar alguns aspectos qualitativos inerentes ao conforto.

Foram selecionados seis chuveiros elétricos disponíveis no mercado nacional. Os modelos e marcas escolhidas foram:

- Tradição 4 Temperaturas (uma desligado) da Lorenzetti - 127 V;
- Luxo 3 Temperaturas (uma desligado - antigo da Lorenzetti) - 127 V;
- Maxi Ducha Lorenzetti 3 Temperaturas (uma desligado) - 127 V;
- Robot da Canhos Jauense 4 Temperaturas (uma desligado) - 220 V;
- Corona 3 Temperaturas (uma desligado) - 127 V.
- Zagonel - 127 V com controle eletrônico da potência.

Todas as leituras realizadas nesta etapa, foram executadas por técnicos em eletrônica. Os equipamentos empregados foram concedidos pelo Centro Universitário UNISAL, unidade de Americana, SP.

As potências definidas pelo fabricante do modelo Tradição 127 V estão na tabela 4.1

**Tabela 4.1:** Propriedades fornecidas pelo fabricante do chuveiro elétrico modelo "Tradição 4 Temperaturas" da Lorenzetti

POSIÇÃO DAS CHAVES	POTÊNCIA MÍNIMA (W)	POTÊNCIA MÁXIMA (W)
Desligado	0	0
Morno	1800	2400
Quente	3200	4400
Muito Quente	4400	5400

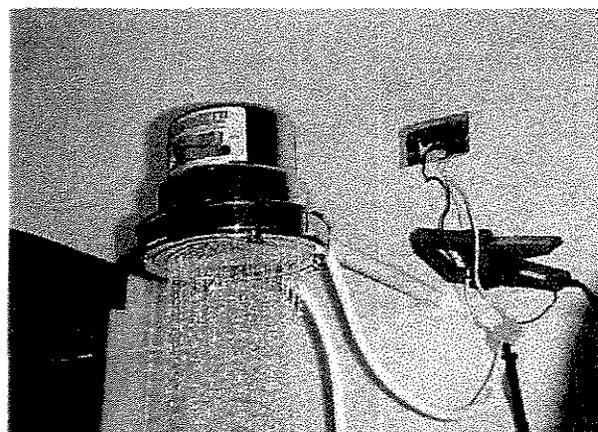
Este modelo e o da Canhos Jauense foram medidos a seco, apenas como verificação inicial, nas posições de chaveamento "morno", "quente" e "muito quente",

através de um multímetro digital, cuja leitura forneceu, em Ohms ( $\Omega$ ), a resistência na posição das chaves. A figura 4.35 mostra o instante da medição e o equipamento utilizado.

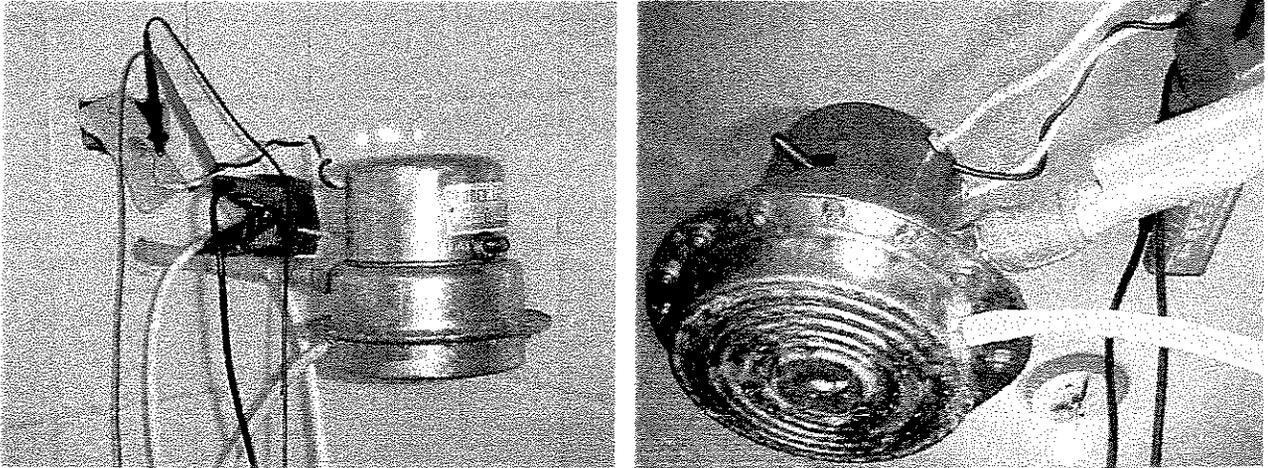


**Figura 4.35:** Medição das resistências a seco do chuveiro elétrico, modelo Tradição 4 Temperaturas da Lorenzetti.

As figuras de 4.36 a 4.42, ilustram as medições nos cinco modelos escolhidos



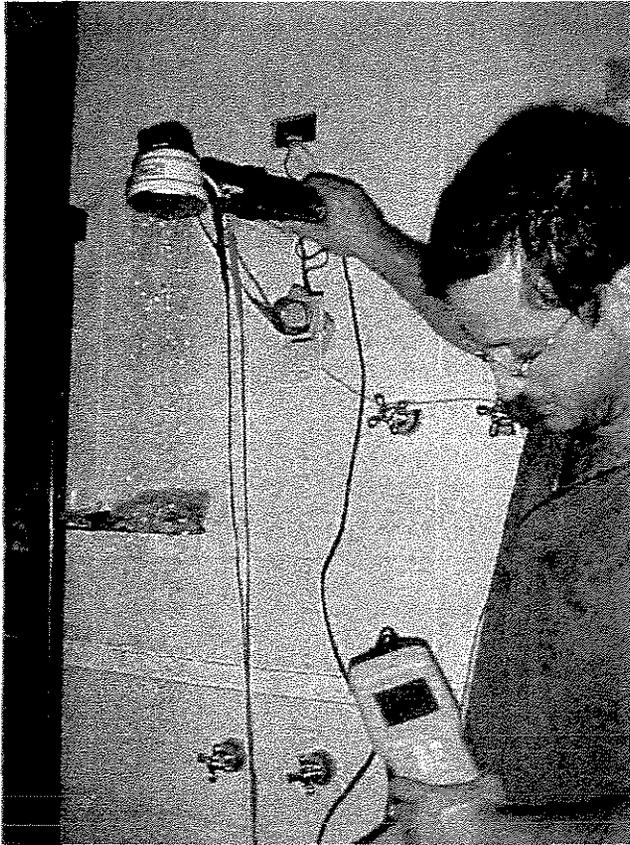
**Figura 4.36:** Medição em funcionamento do chuveiro elétrico, modelo Tradição 4 Temperaturas, da Lorenzetti, 127 V.



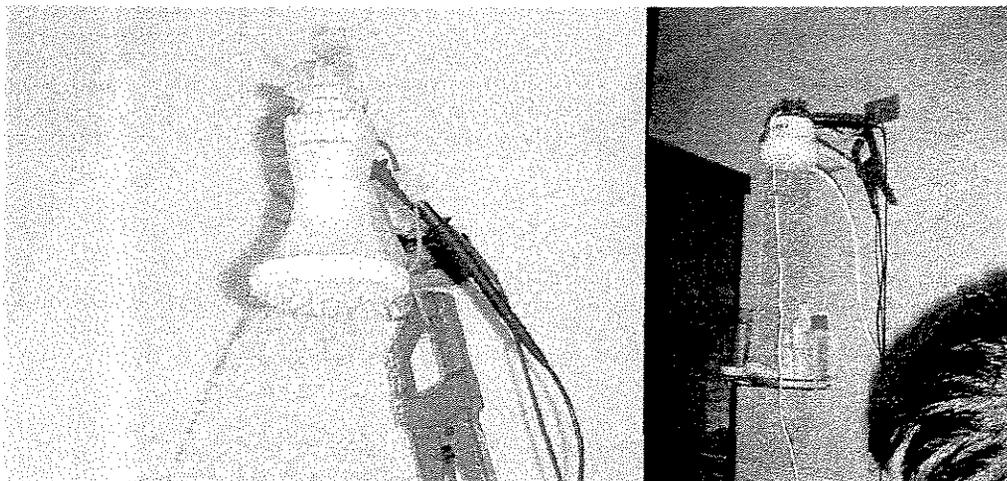
**Figura 4.37:** Medição em funcionamento do chuveiro elétrico, modelo Luxo 3 Temperaturas (antigo da Lorenzetti), 127 V.



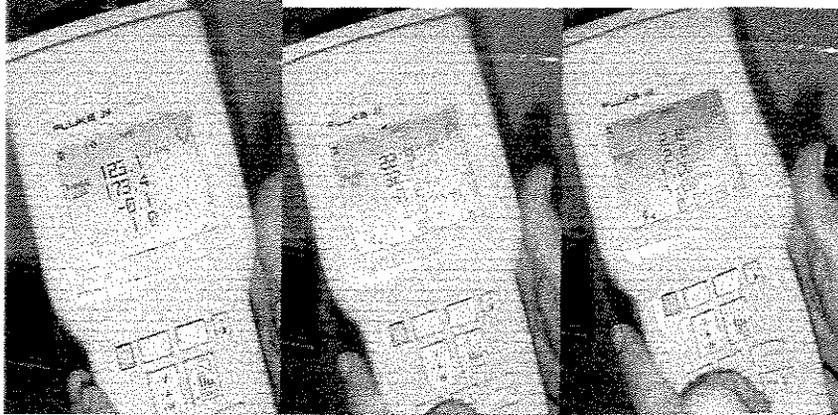
**Figura 4.38:** Medição em funcionamento do chuveiro elétrico, modelo Maxi Ducha 3 Temperaturas, da Lorenzetti, 127 V.



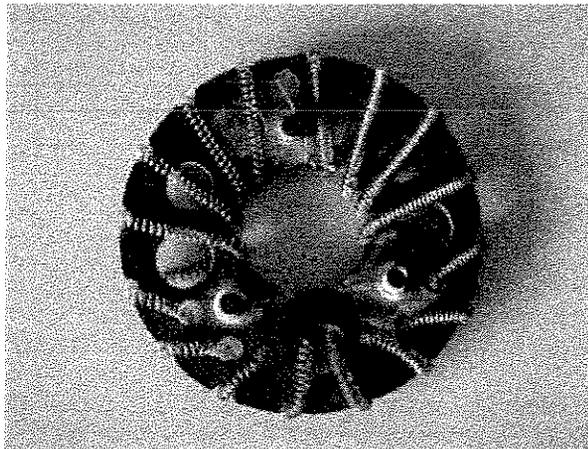
**Figura 4.39:** Medição em funcionamento do chuveiro elétrico, modelo Robot 4 Temperaturas, da Canhos Jauense, 220 V.



**Figura 4.40:** Medição em funcionamento da ducha elétrica Corona 3 Temperaturas e ducha Zagonel -127 V.



**Figura 4.41:** Aparelho Fluke 39 Power Meter, empregado para todas as situações em funcionamento, com leituras de Tensão, Corrente e Potência.



**Figura 4.42:** Resistência elétrica medida a seco do chuveiro Robot, 220 V, da Canhos Jauense.

### 4.3.2 Variador de Tensão

Pode-se estabelecer para uma fase a variação de 0 a 127 V, independente do chuveiro (monofásico) a ser empregado. Nestas circunstâncias o dispositivo variador de tensão numa primeira arquitetura de componentes eletrônicos, apresentou um custo de

R\$ 15,00, (apenas a parte eletrônica). O teste em laboratório do variador de tensão está apresentado na figura 4.43.

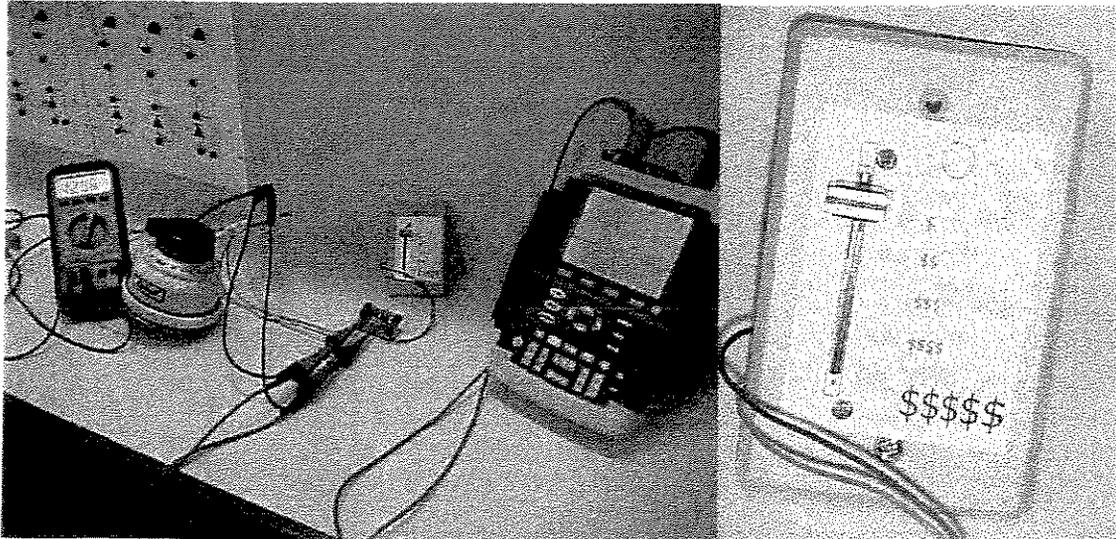


Figura 4.43: Teste e detalhe do variador de tensão.

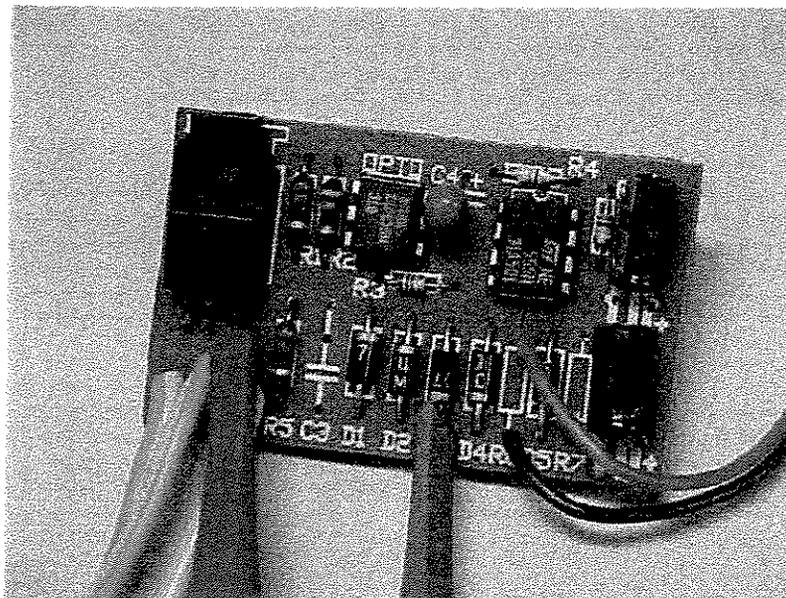


Figura 4.44: Componentes eletrônicos do variador de tensão.

#### 4.4 Metodologia de Coleta de Dados

Foram utilizados essencialmente termômetros de mercúrio para a determinação da temperatura da água circulante, em duas posições do sistema ( $T_1$  e  $T_2$ , como ilustrado anteriormente na figura 4.8). Também foram realizadas leituras da temperatura da água no interior de todos os reservatórios, numa profundidade média de 0,10 m e no fundo dos mesmos. Ainda, foi anotada a temperatura de bulbo seco ambiente (no sol e na sombra).

O intervalo adotado entre leituras foi de uma hora. Os dias escolhidos para as leituras foram os dias úteis (de segunda feira até sábado) das 7:00 às 17:00.

A tabela 4.2 ilustra os períodos de medição realizados com os protótipos 1 a 5 e da caixa auxiliar nº 5.

**Tabela 4.2:** Período de medição.

PROTÓTIPO	INÍCIO	FINAL
1	16/10/2000	30/12/2000
2	16/10/2000	18/01/2001
3	16/10/2000	30/12/2000
4	6/11/2000	30/12/2000
5	6/11/2000	18/01/2001
Caixa auxiliar Nº 5	16/10/2000	18/01/2001

Embora tenha sido curto o período de medição, o mesmo retrata bem uma estação quente do ano. Desta forma, a amostra tomada ficou do tamanho de uma estação anual, nas condições climáticas atuais para a região de Americana, interior do Estado de São Paulo.

Os termômetros fixos nos adaptadores, foram os que ofereceram leituras mais seguras em função dos operadores contratados, razão pela qual se optou por equacionar a temperatura lida nos termômetros localizados na chegada dos reservatórios em várias situações qualitativas do tempo, para todos os protótipos experimentados.

Foi levantado graficamente o comportamento interno nos reservatórios, sempre comparando com a caixa auxiliar nº 5, e/ou a temperatura ambiente para aferir o desempenho dos protótipos. As mais variadas comparações são apresentadas no capítulo 5 e em anexos.

Os modelos de planilhas empregadas para coleta de dados encontram-se no anexo D.

## 5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 5.1 Investigação de Campo

#### 5.1.1 Desempenho dos Protótipos Ensaaiados

Para a análise do comportamento das temperaturas verificadas nos cinco protótipos, os horários foram classificados, qualitativamente, segundo apresentado na tabela 5.1

**Tabela 5.1:** Convenção qualitativa do horário nos dias medidos.

Qualidade do Horário	Indicado pelo leitorista	Indicação nos gráficos
Limpo ensolarado	1	Q1
Ensolarado com nuvens brancas	2	Q2
Nublado, mas quente	3	Q3
Nublado, fechado para chuva	4	Q4
Início de chuva	5	Q5
Já está chovendo	6	Q6

Tendo em vista a possibilidade futura de correlacionar a temperatura de entrada no reservatório com a hora do dia, cruzando a informação com um dia homogêneo

qualitativamente, foram ajustadas algumas funções e verificado o coeficiente de correlação para retratar a precisão do modelo matemático encontrado.

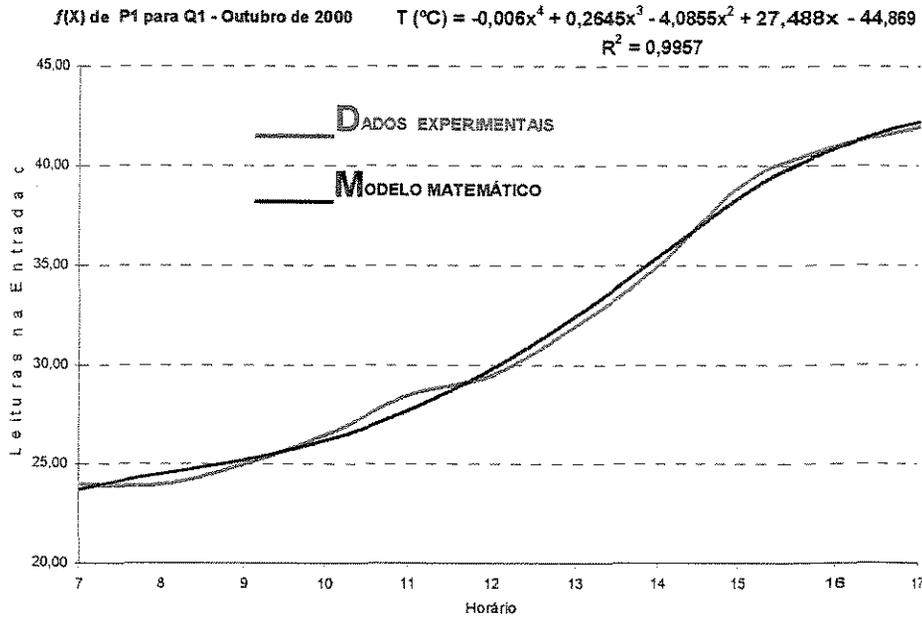
Para a obtenção das funções ajustadas, foram rastreados os dados dentro do mês em questão procurando-se o comportamento qualitativo mais homogêneo possível dentro de um mesmo dia. Por exemplo: foram tomadas todas as medições num dia limpo e descoberto no intuito de caracterizar todos os protótipos para Q1. O mesmo, quando possível se fez para caracterizar todos os protótipos para Q2, Q3, Q4 e Q6. Como Q5, representa apenas um instante do dia, o mesmo não foi equacionado.

Adicionalmente, com a finalidade de simplificação gráfica, os protótipos 1 a 5, estão descritos por P1, P2, P3, P4 e P5 e a caixa auxiliar nº5, apenas por C5.

Para facilitar a análise comparativa dos protótipos, os resultados obtidos, são apresentados conjuntamente para P1, P2, P3, P4 e P5 e separadamente.

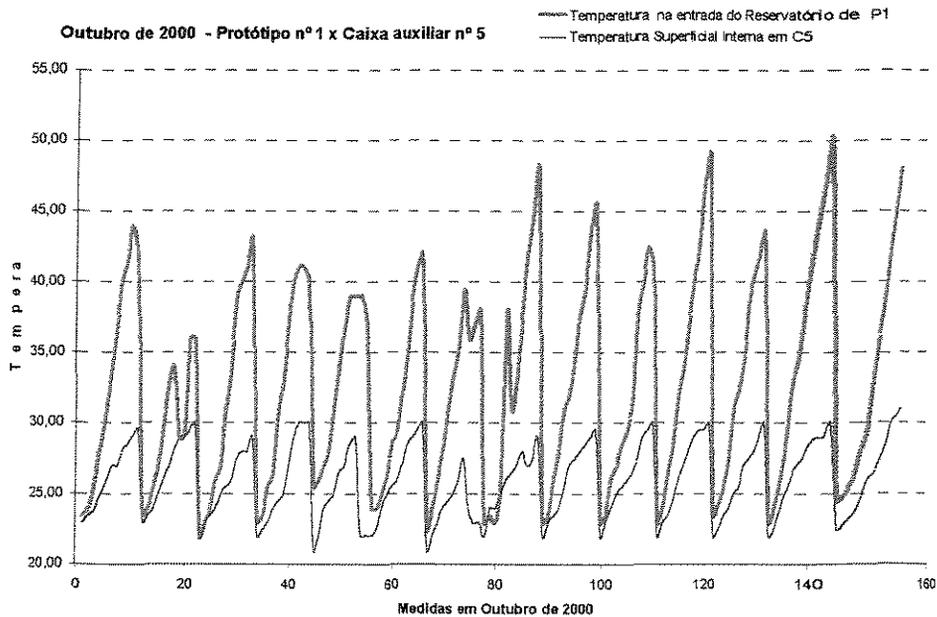
No anexo E, são apresentados os fundamentos do modelo estatístico empregado para os ajustes das funções que são comentadas na seqüência.

A figura 5.1 ilustra as leituras na entrada do reservatório de P1 para um dia que apresentou completamente a qualidade Q1, em Outubro de 2000. Também é apresentada a função com melhor correlação encontrada. A linha em destaque vermelho, representa a leitura termométrica e a outra, a função encontrada.



**Figura 5.1:** Melhor  $f(x)$  para P1, na qualidade Q1 em dia de Outubro de 2000.

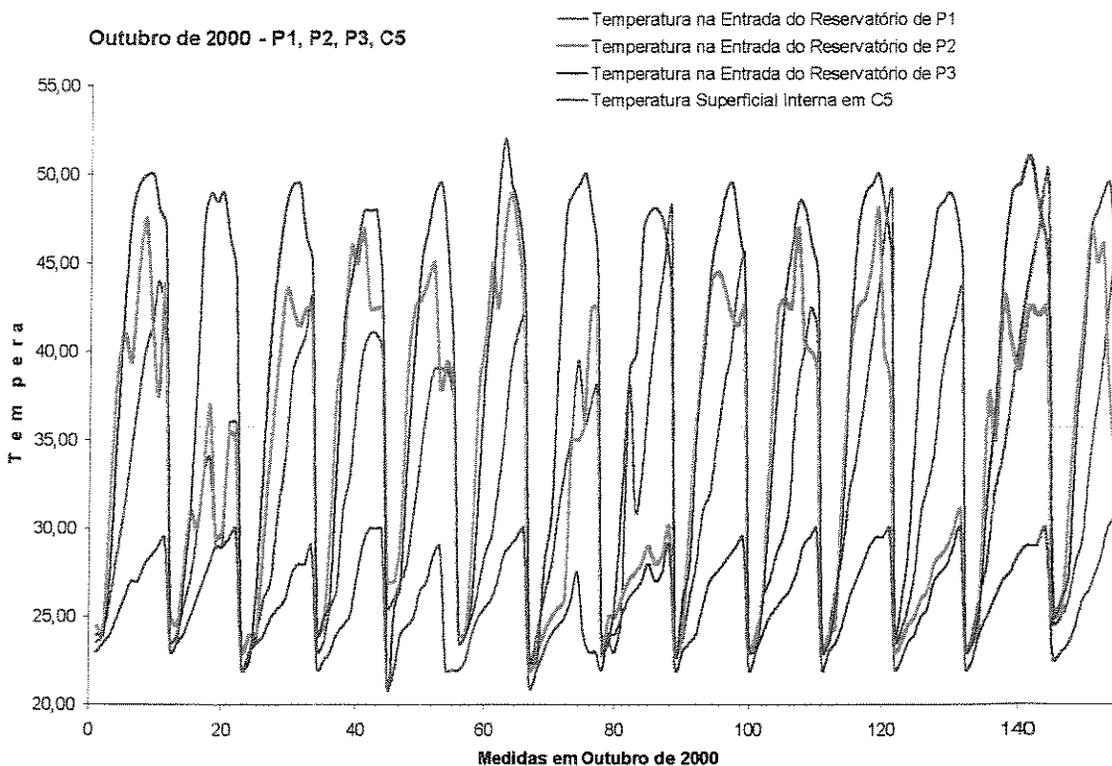
A figura 5.2 ilustra a comparação entre a temperatura na entrada do reservatório, e a temperatura superficial interna em C5, ao longo do mês de Outubro, para P1.



**Figura 5.2:** Temperaturas registradas na entrada do reservatório de P1 e temperatura superficial interna em C5, ao longo do mês de Outubro de 2000.

Observa-se na figura 5.2, que a mangueira de polietileno, junto à entrada do reservatório, suportou temperaturas próximas a 50°C.

A figura 5.3 ilustra a comparação entre a temperatura na entrada dos reservatórios P1, P2, P3 e a temperatura superficial interna em C5, ao longo do mês de Outubro de 2000.

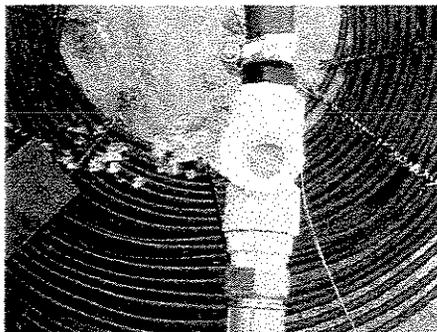


**Figura 5.3:** Temperaturas registradas na entrada do reservatório de P1, P2, P3 e temperatura superficial interna em C5, ao longo do mês de Outubro de 2000.

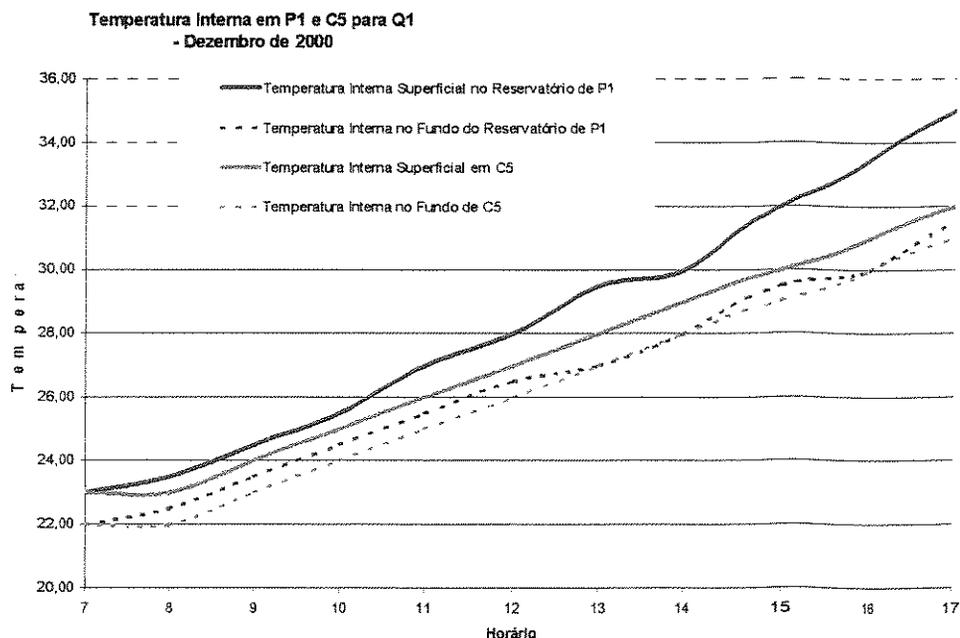
Na figura 5.3, percebe-se a superioridade do coletor empregado em P3, seguido do P2 e P1. Nota-se ainda, que mesmo P1, sendo o mais simples e barato dos cinco protótipos montados, aquece a água, se comparado com C5.

O coletor em polietileno empregado em P1 não se mostrou eficiente ao longo de um dia, pois os 65 m de mangueira, representaram excessiva perda de carga contra

os 0,23 m de cota geométrica de pressão a montante (vide figura 4.31 do capítulo 4) e, conseqüentemente, uma velocidade pequena para circulação por convecção, incapaz de transferir grande quantidade de calor num volume de 500 litros num único dia. O fluxo de água em baixa vazão, pode ser observado na figura 5.4, e um gráfico comprovando o baixo desempenho na transferência de calor, em dia muito ensolarado, pode ser visto na figura 5.5.

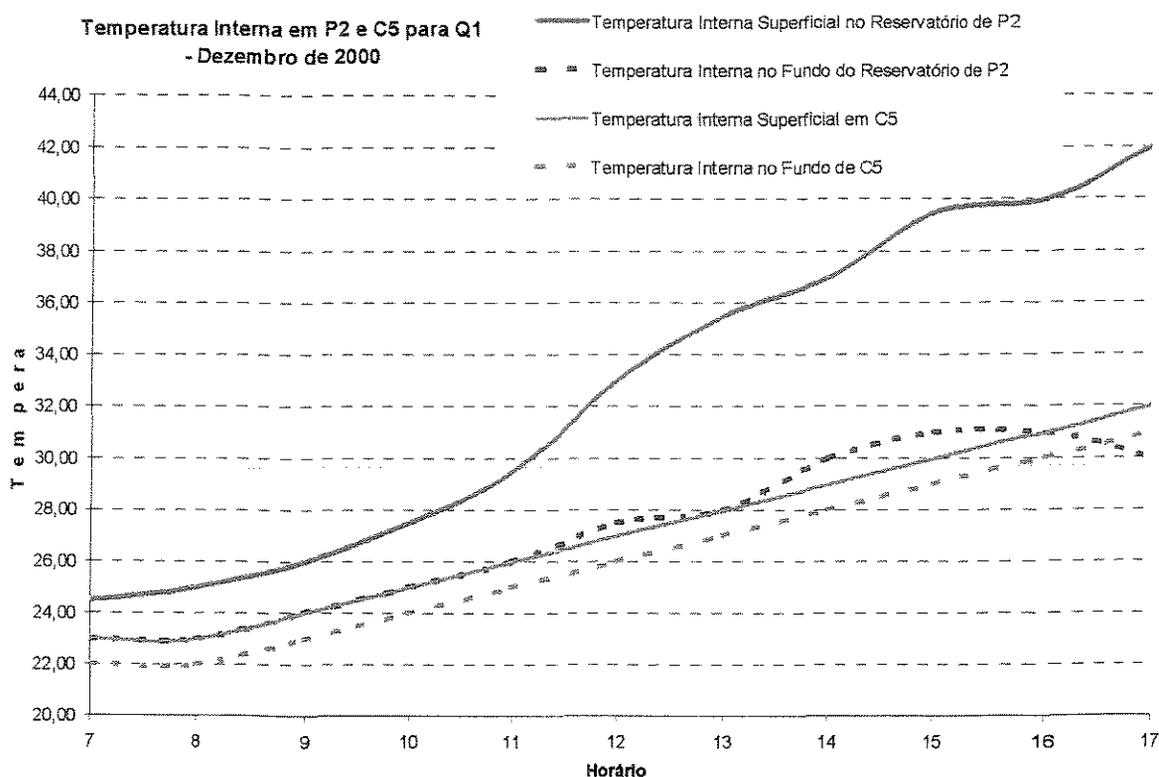


**Figura 5.4:** Pequena vazão em P1, devido à grande perda de carga oferecida pelos 65 m de mangueira utilizada.



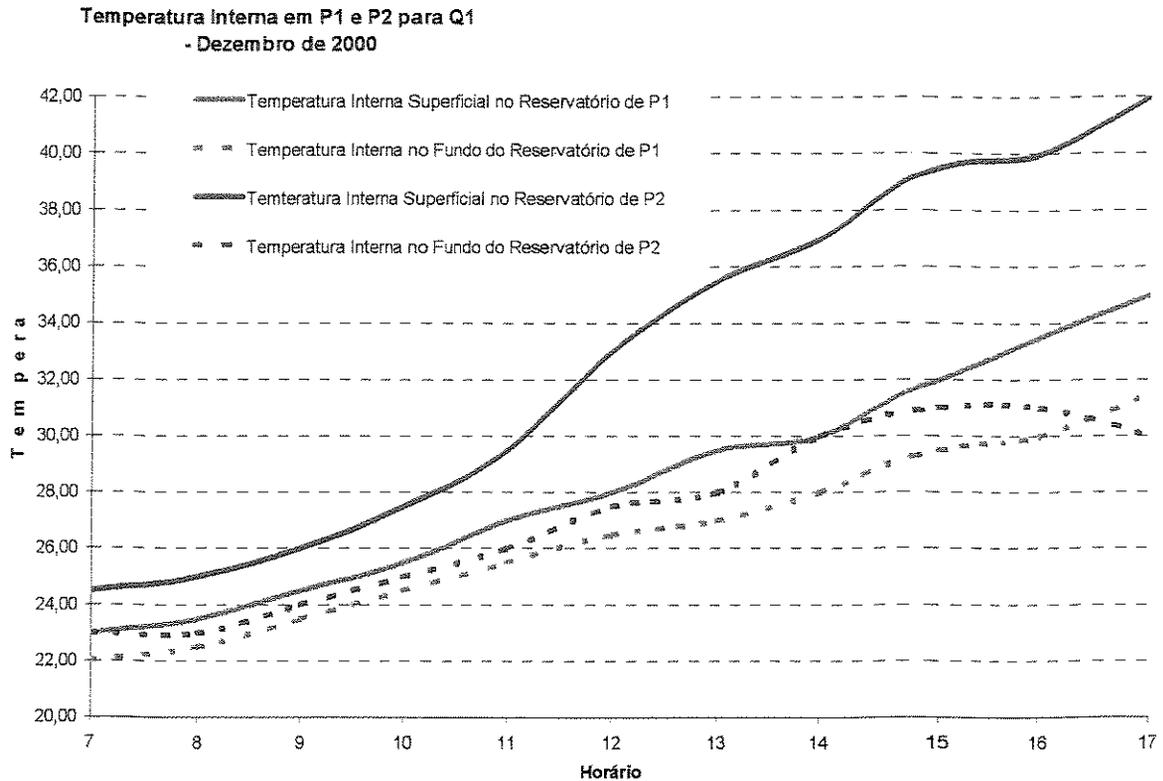
**Figura 5.5:** Baixo desempenho de P1 comparado com C5, para Q1 em Dezembro de 2000.

O mini coletor de linha industrial aplicado em P2 foi muito bom, segundo a análise gráfica, mas seu preço e desempenho sobre o volume experimentado, lhe conferiu a terceira colocação nesta experiência. O gráfico ilustrado na figura 5.6 mostra seu desempenho de transferência num dia bem ensolarado de Dezembro de 2000.



**Figura 5.6:** Desempenho de P2 comparado com C5, para Q1 em Dezembro de 2000.

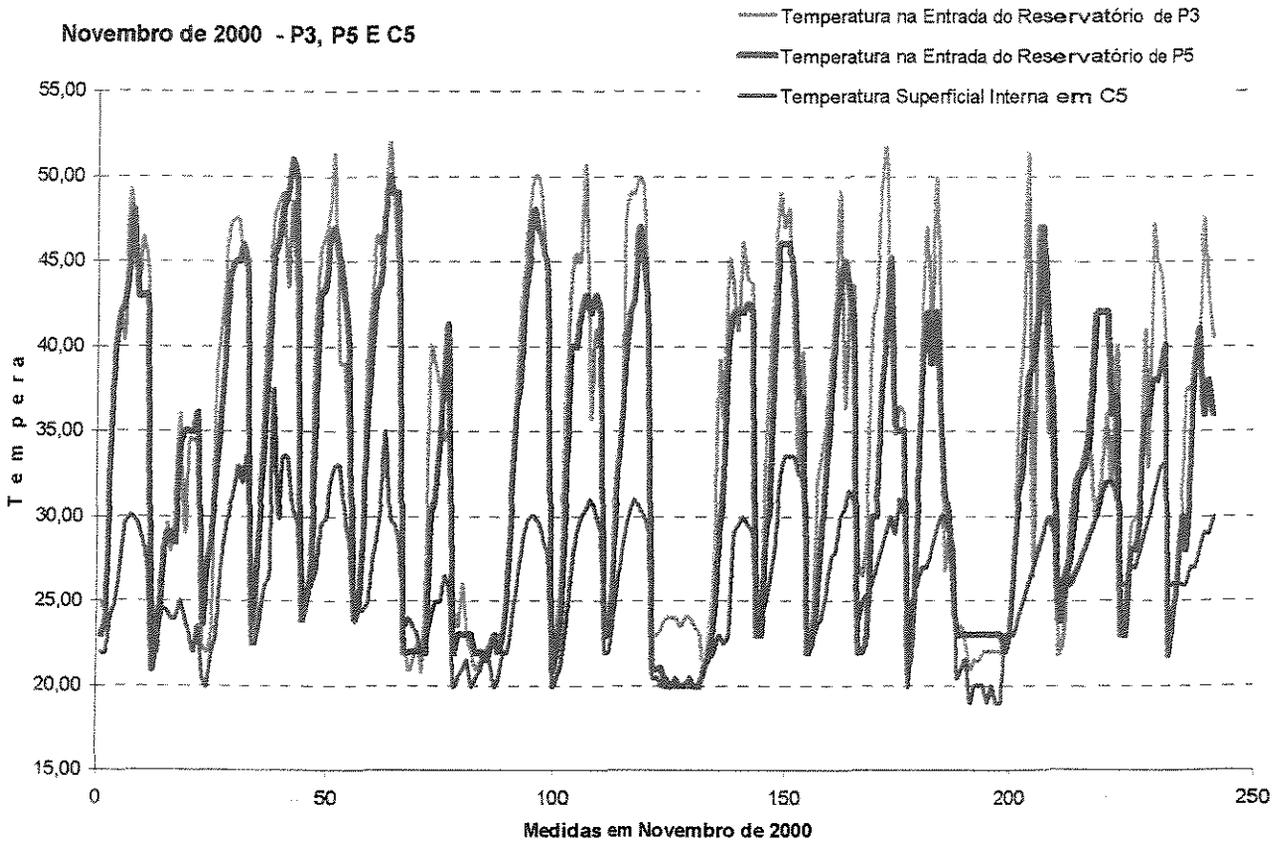
A figura 5.7 ilustra a superioridade entre o coletor empregado em P2 sobre o do P1, quanto à capacidade de transferência de calor, para um volume de 500 litros, em dia ensolarado de Dezembro de 2000.



**Figura 5.7:** Registros de temperaturas internas nos reservatórios de P1 e P2, em dia ensolarado de Dezembro de 2000.

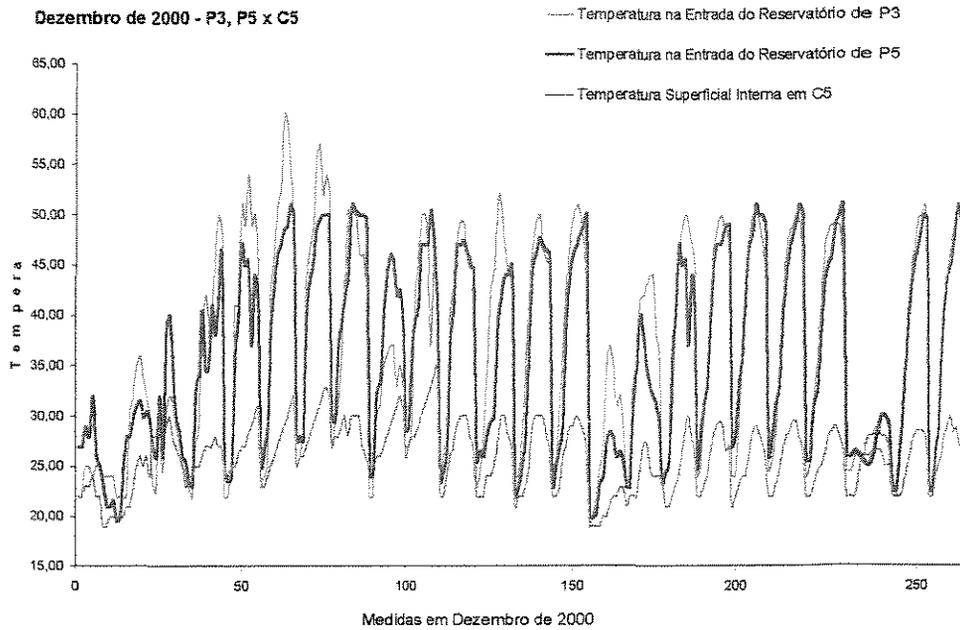
Outra informação interessante, que pode ser extraída do gráfico ilustrado na figura 5.2, é o acelerado processo de resfriamento que ocorreu nas noites e madrugadas, devido à ausência de qualquer isolamento térmico nos reservatórios. Não obstante, este trabalho preocupou-se, apenas, na capacidade de transferir o calor solar em baixo custo para um reservatório qualquer, fato que pode ser comprovado na figura 5.2, visto também, um processo elevado de aquecimento, ao longo dos dias.

A figura 5.8 ilustra um gráfico comparativo, extraído dos dados coletados em Novembro de 2000. A comparação, está sujeita à temperatura na chegada da água morna nos reservatórios, pois assim, pode-se observar a superioridade do coletor utilizado. Nesta figura são apenas caracterizados os dois coletores de baixo custo que se mostraram mais eficientes que o resto: P3 e P5.

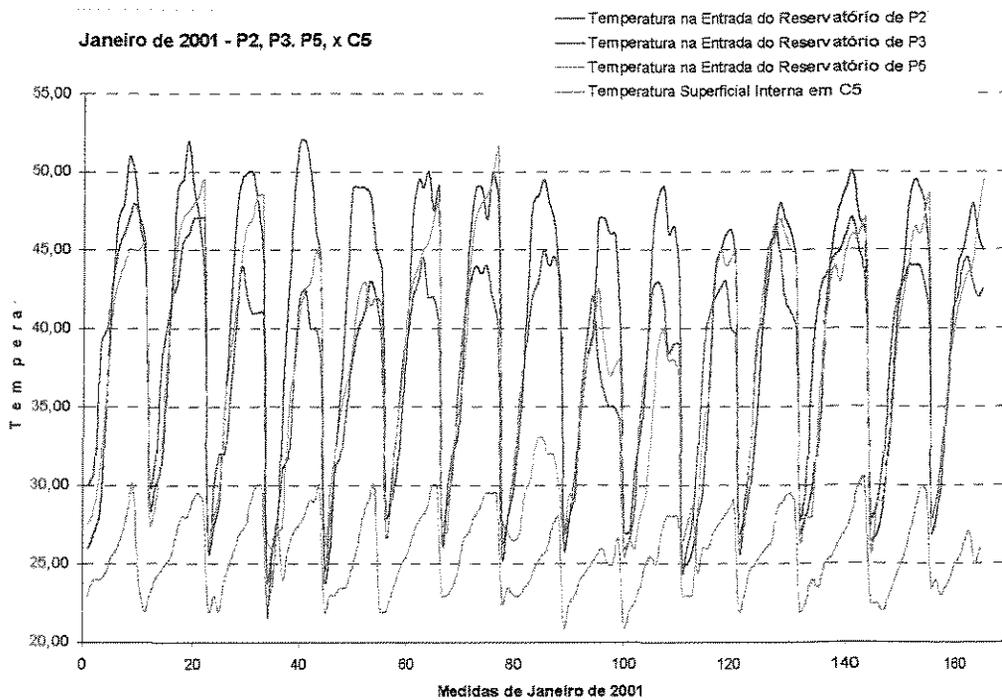


**Figura 5.8:** Registros de temperatura na entrada dos reservatórios de P3 e P5, e temperatura interna superficial em C5, para o mês de Novembro de 2000.

A mesma análise, para o mês de Dezembro de 2000, pode ser observada no gráfico da figura 5.9 e, para Janeiro de 2001, na figura 5.10.



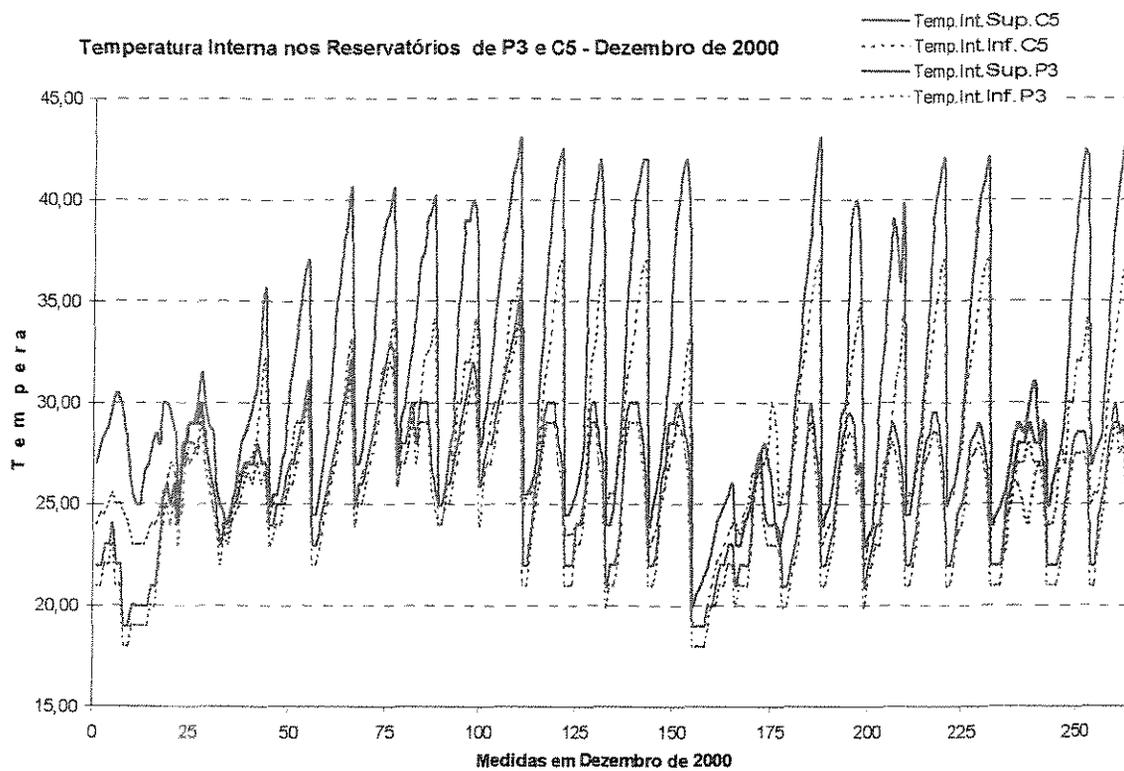
**Figura 5.9:** Registros de temperatura na entrada dos reservatórios de P3 e P5, e temperatura interna superficial em C5, para o mês de Dezembro de 2000.



**Figura 5.10:** Registros de temperatura na entrada dos reservatórios de P2, P3, P5, e temperatura interna superficial em C5, para o mês de Janeiro de 2000.

Os gráficos apresentados provam que o coletor de baixo custo, utilizado em P3, é o que mais desenvolveu calor junto à entrada do reservatório. Nesta análise, o coletor do P5 quase se iguala, apesar de grosseira sua construção, têm a mesma área que o de P3, porém maior massa (10 kg), qualidade que lhe confere superior quantidade de calor, fato que deve compensar o menor número de tubos verticais: 5 em DN 15 contra 7 em DN 3/8" do P3 e o tratamento fosco em baixo custo contra pintura fosca, aplicada por processo eletrostático, de grande fixação, presente em P3.

Na figura 5.11, pode-se comparar as temperaturas diferenciais entre superfície e o fundo dos reservatórios de P3 e de C5.



**Figura 5.11:** Temperaturas diferenciais entre superfície e fundo dos reservatórios utilizados em P3 e C5 em Dezembro de 2000.

A mesma análise, feita com P5, está ilustrado na figura 5.12. Na figura 5.13 está a comparação dos reservatórios de P3 e P5.

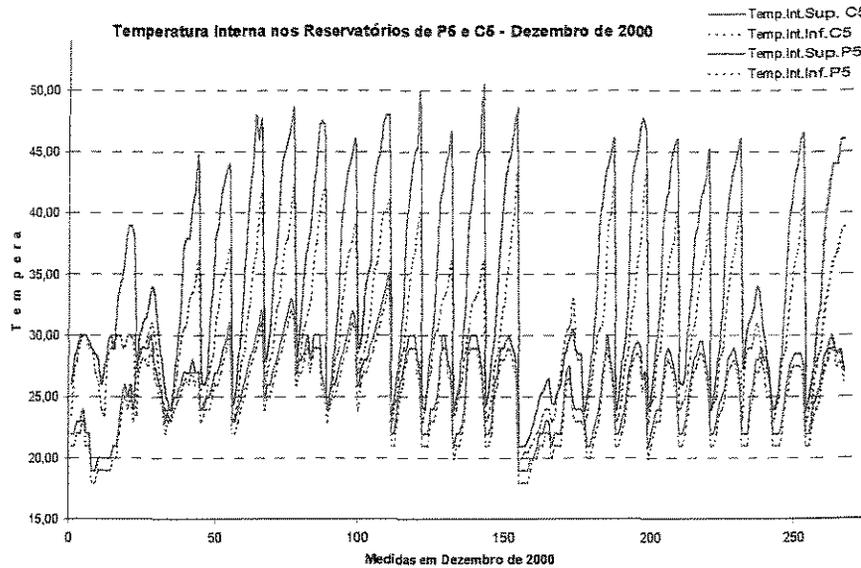


Figura 5.12: Temperaturas diferenciais entre superfície e fundo dos reservatórios utilizados em P5 e C5, em Dezembro de 2000.

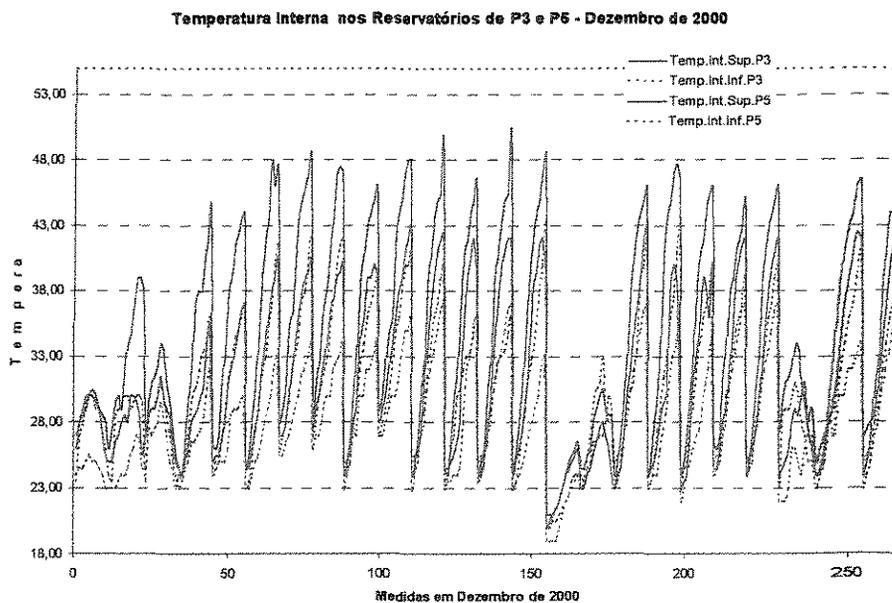


Figura 5.13: Temperaturas diferenciais entre superfície e fundo dos reservatórios utilizados em P3 e P5 em Dezembro de 2000.

A análise gráfica restante, para as demais combinações entre qualidade do dia e comportamento dos protótipos é apresentado nos anexos F, G, H, I.

A partir da análise do gráfico anterior, verifica-se a superioridade do coletor do P5 em relação ao do P3.

A probabilidade de insolação é um fator que não se observou no presente estudo. Entretanto, com a finalidade de valorizar o propósito, segue o cálculo de um intervalo de confiança pela distribuição de Student, para a verdadeira média de temperatura no interior dos reservatórios de P5 e P3, para o mês de Dezembro de 2000, já que os dados foram amostrais (ver procedimento estatístico no anexo J).

Para P5, na situação Q2, em Dezembro de 2000 (ver tabela anexo K):

- $\bar{x} = 43,14 \text{ } ^\circ \text{C}$ ;
- $S = 1,70 \text{ } ^\circ \text{C}$ ;
- $n = 11$ ;

O intervalo de confiança, ficou em:

$$P(42^\circ \text{C} \leq \mu \leq 44^\circ \text{C}) = 95\%$$

Significando que a verdadeira média de temperatura interna em P5 para Dezembro de 2000, na qualidade Q2 está compreendida entre  $42^\circ \text{C}$  a  $44^\circ \text{C}$  com 95% de confiança.

P3, nas mesmas condições climáticas, teve:

- $\bar{x} = 37,82 \text{ } ^\circ \text{C}$ ;
- $S = 2,42 \text{ } ^\circ \text{C}$ ;
- $n = 11$ ;

$$P(36,20^\circ \text{C} \leq \mu \leq 39,45^\circ \text{C}) = 95\%$$

Significando que a verdadeira média de temperatura interna em P3 para Dezembro de 2000, na qualidade Q2 está compreendida entre 36,20° C a 39,45° C com 95% de confiança.

Outras relações gráficas dos protótipos experimentados entre Outubro de 2000 a Janeiro de 2001, encontram-se nos anexos F, G, H e I.

Vale ressaltar, ainda o seguinte aspecto: o sol varia sua potência entre as 7:00 e 17:00 h, fato que projeta várias diferenças de temperaturas ( $\Delta t$ ) e várias vazões (q) no momento da convecção. Portanto, para se determinar a potência e conseqüentemente o desempenho do sistema, seria necessário estar medindo a cada instante entre as 7:00 e 17:00 h, a vazão e diferenças de temperaturas entre a entrada e a saída do reservatório. Isto poderia, ainda ser feito, através de instrumentação em residências, dada a necessidade de um perfil de consumo da água quente. Porém, essa medição não foi objeto deste trabalho, apesar de muito importante para o mesmo.

Apenas a título de ilustração, considerando-se as temperaturas internas médias nos reservatórios, lidas junto à superfície e no fundo dos mesmos, pode-se determinar o desempenho do coletor.

Tomando-se dados do dia 7 de Dezembro de 2000, o qual permaneceu homogêneo na qualidade Q1 durante o dia todo, pode-se determinar para P3:

Às 7:00 h a temperatura interna média no reservatório é igual a:

$$(24,50 \text{ } ^\circ\text{C} + 23,00 \text{ } ^\circ\text{C}) / 2 = 23,75 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Às 17:00 h a temperatura interna média no reservatório é igual a:

$$(40,50 \text{ } ^\circ\text{C} + 33,00 \text{ } ^\circ\text{C}) / 2 = 36,75 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Resultando uma diferença média diária de temperatura =  $\Delta t = 13 \text{ }^\circ\text{C}$ , entre esses horários.

Produzindo no dia de Q1,  $500 \text{ litros} \times 13 \text{ }^\circ\text{C} = 6.500,00 \text{ kcal}$ ;

Significando no dia de Q1,  $6.500,00 / 860 = 7,558 \text{ kwh}$ ;

Resultando uma economia de  $7,558 \text{ kwh} \times 0,19 = \text{R\$ } 1,436$  se fosse consumo de energia elétrica.

Ainda,  $\text{R\$ } 1,436 / (1 - 0,12) = \text{R\$ } 1,63$  se aplicada a menor alíquota (de 12%) que a CPFL sobre tarifa para quem consome até 200 kwh / mês na região de Americana SP.

De forma simplificada, pode-se compreender que no dia 7 de Dezembro de 2000, P3, gerou R\$ 1,63 através do aquecimento da água.

Da mesma forma o P5, gerou R\$ 1,23.

Simplificando, pode-se afirmar que: Num dia de sol, os protótipos P3 e P5 conseguem R\$ 1,63 e R\$ 1,23.

Com estes cálculos simplificados pode-se projetar um *pay back* modesto para um sistema de pré aquecimento solar, dividindo por um desses valores o investimento, resultando o número de dias insolados necessários para pagar o mesmo.

### 5.1.2 Custos dos Protótipos Experimentados

Outra avaliação que valoriza o protótipo nº 5 é o seu custo. A Tabela 5.2 mostra os custos dos 5 protótipos desconsiderando-se os valores do cavalete em madeira, dos termômetros e da mão de obra para montagem.

Tabela 5.2: Custos<sup>5</sup> em Reais, dos materiais envolvidos em P1, P2, P3, P4 e P5 - Preços com base ao mês de Dezembro de 2000

	P1	P2	P3	P4	P5
<b>Reservatório</b>	75,00	75,00	75,00	75,00	30,00
<b>Coletor</b>	<b>16,00</b>	<b>149,00</b>	<b>130,00</b>	<b>90,00</b>	<b>72,00</b>
	+ mdo			+ mdo	+ mdo
<b>Outros</b>	29,00	31,00	32,00	28,00	32,00
<b>Total (RS)</b>	<b>120,00</b>	<b>255,00</b>	<b>237,00</b>	<b>193,00</b>	<b>134,00</b>
	+ mdo			+ mdo	+ mdo
<b>Total (US\$)</b>	<b>60,00</b>	<b>127,50</b>	<b>118,00</b>	<b>96,50</b>	<b>67,00</b>
	+ mdo			+ mdo	+ mdo

Segundo os dados da tabela 5.2, os protótipos P1, P4 e P5, têm seus custos inferiores, pois os mesmos, além de serem materiais classificados em preço inferior, não contemplam o custo relativo à mão de obra.

### 5.2 Medição das Potências dos Chuveiros Elétricos.

---

<sup>5</sup> mdo = mão de obra.

### a) Modelo Tradição, da Lorenzetti - 127 V

As medidas das resistências elétricas a seco, foram:

- Máxima: 3,86  $\Omega$ ;
- Média: 5,1  $\Omega$ ;
- Mínimo: 8,7  $\Omega$ .

A partir da expressão (5.1), pode-se conferir de maneira simplificada a potência nominal do chuveiro, considerando-se uma tensão constante de 127 V.

$$P = U^2/R \tag{5.1}$$

Onde "P" é a potência, "U" é a diferença de potencial (tensão) e "R" é a resistência. Assim, para os valores analisados, tem-se:

- P máxima =  $127^2 / 3,86 = 4.178,50 \text{ W}$
- P média =  $127^2 / 5,10 = 3.162,55 \text{ W}$
- P mínima =  $127^2 / 8,70 = 1.853,91 \text{ W}$

Medida preliminar, que confere razoavelmente com o manual do chuveiro.

Os próximos resultados, retratam leituras<sup>6</sup> da tensão, potência e corrente elétrica do chuveiro em funcionamento, fora do horário de pico (11:00),

Posição de "máximo":

$$U = 112,5 \text{ V}$$

$$P = 3,40 \text{ KW}$$

$$i = 30,60 \text{ A}$$

---

<sup>6</sup> Leituras reais (RMS)

Posição de "médio":

$$U = 116,9 \text{ V}$$

$$P = 2,80 \text{ KW}$$

$$i = 23,80 \text{ A}$$

Posição de "mínimo":

$$U = 123,5 \text{ V}$$

$$P = 1,81 \text{ KW}$$

$$i = 14,70 \text{ A}$$

### **b) Modelo Luxo (antigo da Lorenzetti) - 127 V**

Os próximos resultados, retratam leituras da tensão, potência e corrente elétrica do chuveiro em funcionamento, fora do horário de pico (12:00):

Posição de "inverno":

$$U = 119,5 \text{ V}$$

$$P = 4,40 \text{ KW}$$

$$i = 33,10 \text{ A}$$

Posição de "verão":

$$U = 123,10 \text{ v}$$

$$P = 2,80 \text{ Kw}$$

$$i = 22,90 \text{ A}$$

### **c) Modelo Maxi Ducha Lorenzetti - 127 V**

Os próximos resultados, retratam leituras da tensão, potência e corrente elétrica do chuveiro em funcionamento, fora do horário de pico (13:00),

Posição de "inverno":

$$U = 108,3 \text{ V}$$

$$P = 3,10 \text{ KW}$$

$$i = 28,70 \text{ A}$$

Posição de "verão":

$$U = 112,00 \text{ V}$$

$$P = 2,60 \text{ KW}$$

$$i = 23,20 \text{ A}$$

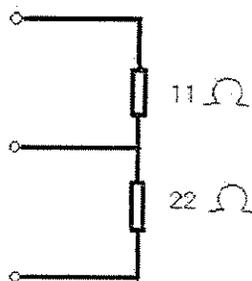
#### d) Robot da Canhos Jauense - 220 V

As medidas das resistências elétricas a seco, foram:

Máxima:  $22 \Omega$ ;

Mínima:  $11 \Omega$ .

Porém, este chuveiro, possui uma resistência elétrica conforme o esquema ilustrado na figura 5.14.



**Figura 5.14:** Esquema da Resistência marca Robot.

Através das expressões (5.1) e (5.2), pode-se aferir simplificada a potência nominal máxima do chuveiro. Considerando uma tensão constante de 220 V, as demais podem ser determinadas pela expressão (5.1).

$$\text{Requivalente} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (5.2)$$

- $P_{\text{máxima}} = \frac{220^2}{\frac{11 * 22}{11 + 22}} = \frac{220^2}{7,333} = 6.600,00 \text{ W}$
- $P_{\text{média}} = 220^2 / 11 = 4.400,00 \text{ W}$
- $P_{\text{mínima}} = 220^2 / 22 = 2.200,00 \text{ W}$

Os próximos resultados, retratam leituras da tensão, potência e corrente elétrica do chuveiro em funcionamento, fora do horário de pico (14:00),

Posição de "máximo":

$$U = 211,5 \text{ V}$$

$$P = 5,7 \text{ KW}$$

$$i = 26,90 \text{ A}$$

Posição de "médio":

$$U = 217 \text{ V}$$

$$P = 3,80 \text{ KW}$$

$$i = 17,80 \text{ A}$$

Posição de "mínimo":

$$U = 219 \text{ V}$$

$$P = 2,21 \text{ KW}$$

$$i = 10,11 \text{ A}$$

**e ) Modelo Ducha Corona - 127 V**

Os próximos resultados retratam leituras da tensão, potência e corrente elétrica do chuveiro em funcionamento, fora do horário de pico (14:30):

Posição de "inverno":

$$U = 109,2 \text{ V}$$

$$P = 2,90 \text{ KW}$$

$$i = 26,70 \text{ A}$$

Posição de "verão":

$$U = 115,00 \text{ V}$$

$$P = 2,20 \text{ KW}$$

$$i = 19,10 \text{ A}$$

#### **f ) Modelo Ducha Zagonel - 127 V**

Na posição "zero" do regulador eletrônico, mediu-se uma potência de 0,37 kW;

Na posição máxima indicada por "10" mediu-se 3,9 kW.

A fase da rede interna estava com 112 V nesse instante.

### **5.3 Considerações Finais**

Quanto ao chuveiro elétrico, terminal pode-se considerar a ducha Corona como o melhor dentre os modelos mais econômicos, para servir com relativo conforto ao processo de dosagem da temperatura.

Contra a economia inicial de investimento, mas de grande conforto para a finalidade desejada, o chuveiro modelo Tradição 4 temperaturas, da Lorenzetti é indiscutivelmente o melhor. Os outros chuveiros trabalham de forma inferior na dosagem de temperatura, mas seus preços são interessantes.

As temperaturas registradas no final de um dia insulado responderam bem em relação às expectativas iniciais.

Todos os protótipos funcionaram e acusaram temperaturas no limite previsto junto ao termômetro de entrada dos reservatórios, inclusive o protótipo 1.

O protótipo1 cumpriu o propósito em baixo desempenho e em baixíssimo custo, mas o tempo dissipado na amarração da mangueira com as varetas de aço, o aspecto final, a dificuldade em manter a forma (escorado por tijolos), desabonam completamente o modelo diante dos outros protótipos.

O protótipo 2, comportou-se bem nos gráficos porém, nas mesmas condições volumétricas, P3 apresentou melhores resultados com uma pequena diferença de custo a menor, desclassificando, a princípio, o mini coletor. Entretanto, P2 mostrou-se o melhor em dias nublados, atributo que não desabona a diferença com P3 e P5 diante do propósito global da pesquisa.

O tamanho do mini coletor, usado em P2 lhe confere grande flexibilidade na instalação cruzada com a convecção da água supondo a frequência de telhados pequenos e pouco inclinados.

O coletor de P5, embora com potência inferior a do empregado em P3, tem um preço pouco acima da metade do coletor de P3, desconsiderando a mão de obra na auto fabricação. Com resultados razoáveis em baixo volume, passa a ser interessante na prática do pré aquecimento suposto em condições reais de utilização.

A expectativa de temperatura abaixo de 55° C no interior dos reservatórios, permitiu o funcionamento de P5 sem respiro, permanecendo com a tampa do reservatório fechada com uma borracha de vedação alocada numa cavidade da mesma. Os demais reservatórios, com tampa simplesmente sobreposta, também não foram providos de respiro.

Uma grande vantagem no custo de P3 é que a procedência garante uma produção em grande escala, algo ao redor de 1 coletor por minuto, contra um processo de auto construção que demora 45 minutos entre cortar e soldar tudo para concretizar o coletor de P5, ainda lembrando que no coletor de P3 já está incorporado o valor da mão de obra de construção, ao passo que em P5 não se colocou esse insumo.

Colocar o material do coletor de P5 a uma ou duas linhas semi industriais para montagem em grande escala, poderia ser uma solução intermediária e econômica, mas por não ser contemplada até o presente momento por nenhum grupo industrial versus seu rendimento baixo, coloca tal situação em dúvida.

Não houveram avarias nos materiais plásticos utilizados, entretanto, cabe dizer que a mangueira de polietileno perdeu a flexibilidade e assumiu uma forma rígida no fim do período, mas não houveram sinais de vazamentos, fissuras ou expansões.

A cola branca, à base de PVA, se mostrou um bom fixador da pintura látex sobre a chapa galvanizada.

Considerado-se o próprio chuveiro do usuário, discriminam-se, a seguir, os acessórios complementares para uma instalação, com seus preços de mercado com base ao mês de Dezembro de 2000.

- Variador de tensão: R\$ 20,00;
- Braço de chuveiro para admissão de água morna: R\$ 25,00;
- Revestimento isolante do reservatório em isopropileno: R\$ 30,00;
- Bóia de com vazão inferior com difusor em plástico: R\$ 6,00;
- Tubulação de alimentação: R\$ 1,00;

O custo presumido de R\$ 82,00 em acessórios complementares, necessário em qualquer situação do modelo sugerido, está combinado na tabela 5.3 com os coletores utilizados em P2, P3 e P5 associado a um reservatório plástico igual ao empregado em P5.

**Tabela 5.3:** Projeção de custos finais para o modelo sugerido, em três alternativas econômicas

	<b>Opção com o coletor de P2</b>	<b>Opção com o coletor de P3</b>	<b>Opção com o coletor de P5</b>
<b>Coletor</b>	149,00	130,00	72,00 + mdo
<b>Reservatório</b>	30,00	30,00	30,00
<b>Complementos</b>	82,00	82,00	82,00
<b>Outros</b>	31,00	32,00	32,00
<b>Totais (R\$)</b>	<b>292,00</b>	<b>274,00</b>	<b>216,00 + mdo</b>
<b>Totais (US\$)</b>	<b>146,00</b>	<b>137,00</b>	<b>108,00 + mdo</b>

Por outro lado, considerando-se um chuveiro elétrico munido de controle eletrônico, que já se encontra disponível no mercado, os complementos ficam reduzidos a R\$ 62,00. Mantendo as demais considerações da tabela 5.3, a tabela 5.4 detalha os custos finais com o chuveiro incorporado.

**Tabela 5.4:** Projeção de custos finais para o modelo sugerido, em três alternativas econômicas com chuveiro incorporado

	<b>Opção com o coletor de P2</b>	<b>Opção com o coletor de P3</b>	<b>Opção com o coletor de P5</b>
<b>Coletor</b>	149,00	130,00	72,00 + mdo
<b>Reservatório</b>	30,00	30,00	30,00
<b>Complementos</b>	62,00	62,00	62,00
<b>Outros</b>	31,00	32,00	32,00
<b>Chuveiro c/ comando eletrônico</b>	45,00	45,00	45,00
<b>Totais (R\$)</b>	<b>317,00</b>	<b>299,00</b>	<b>241,00</b>
<b>Totais (US\$)</b>	<b>158,50</b>	<b>149,50</b>	<b>120,50 + mdo</b>

De forma simplificada, ficam designados ao redor de 183 dias de sol para rever o investimento de qualquer valor apresentado pelas tabelas 5.3 e 5.4.

Finalmente, os modelos matemáticos inerentes aos ajustes entre as temperaturas e os horários concatenados a uma qualidade homogênea do dia, ficam a disposição do leitor para efeito de interpolação em todas as possibilidades apresentadas.

## 6 COMENTÁRIOS FINAIS

Os custos presumidos do sistema pré aquecedor, são interessantes diante do sistema de aquecimento solar convencional mais econômico de mercado, (por volta de US\$ 500,00) contra os US\$ 149,00 para um dos modelos sugeridos neste trabalho.

Não foi possível na dimensão deste trabalho, contemplar a durabilidade dos materiais empregados além do tempo medido.

Um dos pontos mais criteriosos na auto construção é o valor da mão de obra empregada. Não se considerou o valor da instalação, visto à extraordinária facilidade em manipular materiais plásticos. Entretanto, a parte metálica, nesse aspecto, teria em tese duas hipóteses para alcançar valores econômicos: mutirões para montagens de kits, ou simplesmente adotar o modelo mais econômico do fabricante.

Não se projetou um dispositivo variador de tensão para 220V, visto que a maior parte das entradas de força em residências populares, são monofásicas. Além disso, teria uma composição mais onerosa.

Sobre o domínio cultural a respeito do assunto, aconselha-se a disseminação da informação sobre pré aquecimento solar iniciando-se junto às escolas de 1º e 2º grau, através dos professores de ciências, física, geografia ou de ciências sociais, através de uma divulgação das informações inerentes à situação energética, conceitos físicos básicos, política, geografia e econômica, com o intuito de formar uma idéia holística sobre o assunto, visando a educação humana mais consistente com

relação aos problemas mais comuns que assombram a sociedade, e valorizando as propostas simplificadas de solução, como por exemplo, a auto construção e o entendimento de um protótipo.

Como solução para baixa renda, fica recomendado o modelo apresentado por este trabalho, seus materiais e sua idéia global, que resulta no menor impacto na habitação existente.

A facilidade em reproduzir com economia, um pré aquecedor solar, utilizando-se de materiais comuns, viabiliza a exteriorização de outros estudos, e aplicações reais de cunho social.

Ficam recomendados os seguintes estudos que iriam enriquecer sobremaneira o assunto:

- Estudo específico do sub sistema isolante em baixo custo (sugestões como o isopropileno ou jornal com tratamento anti mofo podem ser uma saída interessante).
- Implantação de protótipo em situações reais de consumo, verificando o seu desempenho.
- Micro medições da vazão por convecção em baixa pressão, para aferimento das potências desenvolvidas por coletores solares em baixo custo;
- Cobertura em telha de policarbonato alveolar como coletor solar;

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARWAL, M.P. **Solar Energy**, Chand and Company Ltd, USA. 1985.

ALENCAR, Francisco de, **Projeto de uma Telha Coletora de Energia Solar para Aquecimento de Água**. Revista Energia. Engenharia da Agricultura da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu SP. 1999.

BELINAZO, Hélio J. **Análise Entre Aquecedores de Água**. **ANTAC**, Santa Maria, v2, Janeiro de. 1993.

BEZERRA, Arnaldo Moura, **Aplicações Práticas da Energia Solar**. Nobel. São Paulo 1990.

CABRAL, Otávio. **Brasil começa a importar energia elétrica em massa**. FOLHA DE SÃO PAULO, caderno Dinheiro . 1º de Junho de 2000.

CARVALHO, M.P., SEVERO, E.T.B., ESCOVEDO, J.F. **Desempenho de um Coletor Solar Plano com Absorvedor de Radiadores de Veículos Automotivos**. SBPC Comunicações, Rio de Janeiro, v.44. 1992.

**CEMIG Companhia Energética de Minas Gerais**, <http://www.cemig.com.br>, acessado em 15/07/2000.

CPFL, Boletim Técnico, **Projeto Pré-Aquecedor Solar de Água para Chuveiros Elétricos de Potência Reduzida**, 1998.

DAYEM, Adel M. Abdel, **How to Select a Collector ?**, Applied Energy, 64, Elsevier Science Ltd. Great Britain, 1999.

DUARTE, Luiz Guilherme. **Velozes Raios de Sol**. Revista Super Interessante. Editora Abril, São Paulo Junho de 1990, nº 6.

ENOMOTO, Atsushi, **Measurement of Dynamic Characteristics of a Gas Fired Residential Hot Water Supply System Combined with a Solar Heating System**. CIB-62 Symposium, Yokohama, Japan, 1997,

FAGÁ, Murilo. Alternativas Energéticas. **Jornal do CREA SP**, São Paulo. Agosto. 1995. Tecnologia, p.9.

FILER, J. Lloyd, **Engineering and Installing TempRite™ CPVC Hot and Cold Water Distribution Systems**, CIB-62 Symposium, 1983.

FRANÇA, Martha San Juan, **A FORÇA OCULTA**, Revista Super Interessante, Editora Abril, São Paulo, fevereiro de 1988, nº 2, ano 2.

HASEGAWA, Jun. **Solar Energy Utilization**, CIB-62 Symposium, Tokyo, Japan, 1985.

<http://www.cumulus.com.br>, **Aquecedores Cumulus S.A.** , acessado em 15/04/2000.

[http://nti.educa.rcanaria.es/blas\\_cabrera/per/SOLAR/S08l.htm](http://nti.educa.rcanaria.es/blas_cabrera/per/SOLAR/S08l.htm), **Calentador de Agua con Botellas**, acessado em 20/08/2000.

<http://witss.gdl.iteso.mx/solar/cap09.html>, **Aplicaciones Reales y Potenciales de la Energía Solar**, acessado em 18/04/1998.

<http://www.alitecnic.com/esp/legionella.htm>, **Legionella Prevención Y Control**, acessado em 5/08/2000.

<http://www.censolar.es/menu2.htm>, **LA ENERGÍA SOLAR**, acessado em 1/07/2000.

<http://www.imbiomed.com.mx/Patol/Ptv44n4/espanol/Wpt74-1.html>, **Bases para el Diagnóstico de Legionella**, acessado em 27/08/2000.

[http://www.jxj.com/magsandj/rew/1999\\_01/free\\_hot\\_water.html](http://www.jxj.com/magsandj/rew/1999_01/free_hot_water.html), **"I'm Getting Free Hot Water" Solar as Both a technical and Social Success**, acessado em 30/07/2000.

<http://www.mre.gov.br/ndsg/textos/brinfg-p.htm>, **Brasil: Informações Gerais**, acessado em 12/08/2000.

<http://www.soletrol.com.br>, **SOLETROL ENERGIA SOLAR**, acessado em 20/05/2000.

KAUFFMAN, L. Draper, **Introdução ao Pensamento Sistêmico**, SA Carlton, Publisher, Minneapolis, 1980.

KERN, Donald Q., **Processos de Transmissão de Calor**, Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1980.

KREITH, Frank, **Principles of Solar Engineering**, McGraw Hill Book Company, United States of America. 1978.

**la Energía Solar**. , acessado em Abril de 1998.

LENMAN, T, **Flexible Plastics Pipes for Hot Water; Requirements and Quality Assurance**; CIB-62 Symposium, 1983.

LUTZENBERGER, José A. **Gaia**, <http://www.fgaia.org.br/texts/t-gaia.html>, acessado em 10/03/2000.

MACINTYRE, Joseph Archibald, **Instalações Hidráulicas Prediais e Industriais**, LTC, Rio de Janeiro RJ. 1996.

OLIVA, George Andrew. **Utilização de Aquecedores Solares de Baixo Custo em Programas de Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD)**. XV SNPTEE. Brasil. 1999. <http://www.itaipu.gov.br/xvsnptee/>, acessado em 5/07/2000.

PENHA, João da. **Períodos Filosóficos**. São Paulo SP. Ática. 1998.

PRADO, Tadeu Araujo Racine, **Gerenciamento da Demanda e Consumo de Energia Elétrica para Aquecimento de Água em Habitações de Interesse Social**, Dissertação de Mestrado. EPUSP São Paulo 1991.

PRADO, Tadeu Araujo Racine, **Gerenciamento da Demanda e Consumo de Energia Elétrica para Aquecimento de Água em Habitações de Interesse Social**, Boletim Técnico da EPUSP, Dpto. De Engenharia de Construção Civil, São Paulo 1992.

SAGLIETTI, José R. **Coletor Solar de Polietileno – Uma Alternativa de Baixo Custo**, Revista Energia. Engenharia Agrícola de Jaboticabal. 1997. São Paulo SP.

SHARIAH, A.M., **Effect of Termal Conductivity of Absorver Plate on the Performance of a Solar Water Heater**, Applied Thermal Engineering, 19, pg 733 - 741. Great Britain, 1999.

SECRETARIA DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL, **Manual de Energia Solar**. 1978. Brasília DF.

SILBERSTEIN, I, **Experience in Israel on the Installation of Plastics Piping for Domestic Hot Water Applications**, CIB-62 Symposium, 1983.

SOUZA, Antônio Washington Albino de, **Fundamentos da Teoria da Energia Solar e de seu Uso**. Belo Horizonte MG. 1994. Editora da Fundação Brasileira de Direito Econômico.

SUCURSAL JORNALÍSTICA DO RIO DE JANEIRO. **Consumidor vai pagar por subsídio às termelétricas.** Folha de São Paulo, caderno Dinheiro, 8 de Junho de 2000.

TRIPANAGNOSTOPOULOS, Y. (2000)., **Solar Colectors with Colored Absorbers**, Solar Energy, Vol.68, pg 343-356. Great Britain, 2000.

TSLINGIRIS, P.T., **Design, Analysis and Performance of Low-Cost Plastic Film Large Solar Water Heating System**, Solar Energy, Vol 60, pg 245-256, Great Britain, 1997.

VARGAS, Laszló. **Miniblecaute pode evitar apagão em SP.** Folha de São Paulo, caderno Dinheiro, 4 de Junho de 2000.

VÁZQUES, Mariano Espinoza. **UNA BREVÍSIMA HISTORIA DE LA ARQUITECTURA SOLAR**, Lima Perú. 1995 . <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>, acessado em 15/07/2000.

WARMERDAN, J.M. **Legionella and Domestic Hot Water System**, CIB-62 Symposium, 1998.

WOELS, Augustin, **Chuveiro com Aquecimento Solar pode Economizar Energia de Meia Itaipu**, Jornal do Engenheiro, Novembro de 2000, pg 5.

WOELS, Augustin, **Aquecedor Solar de Baixo Custo - Home**. Brasil 2001, [www.sunpower.com.br](http://www.sunpower.com.br), acessado em 20/01/2001.

WOELS, Augustin, **Aquecedor Solar de Baixo Custo – Asbc Consumo de Energia Renovável em Aquecimento de Água, uma Contribuição ao Desenvolvimento Sustentável**, Trabalho apresentado no Congresso "Meio ambiente 99". Rio de Janeiro 1999.



## **ANEXOS**

## Anexo A - Consumo Faturado das Concessionárias de Energia Elétrica

### CONSUMO FATURADO DAS CONCESSIONÁRIAS - GWh

	EM JUNHO			ATÉ JUNHO			12 MESES		
	1999	2000	%	1999	2000	%	1999	2000	%
<b>BRASIL</b>									
RESIDENCIAL	6.642	6.749	1,6	41.123	42.077	2,3	80.623	82.246	2,0
INDUSTRIAL	10.411	11.193	7,5	59.744	64.139	7,4	121.911	128.315	5,3
COMERCIAL	3.448	3.726	8,1	22.053	23.876	8,3	42.685	45.404	6,4
OUTROS	3.499	3.644	4,1	21.130	21.514	1,8	42.327	43.072	1,8
<b>TOTAL</b>	<b>24.000</b>	<b>25.312</b>	<b>5,5</b>	<b>144.050</b>	<b>151.606</b>	<b>5,2</b>	<b>287.546</b>	<b>299.037</b>	<b>4,0</b>
<b>NORTE</b>									
RESIDENCIAL	293	323	10,2	1.724	1.868	8,4	3.513	3.746	6,6
INDUSTRIAL	623	676	8,5	3.712	3.959	6,7	7.514	7.912	5,3
COMERCIAL	150	170	13,3	862	947	9,9	1.766	1.899	7,5
OUTROS	148	167	12,8	856	953	11,3	1.734	1.894	9,2
<b>TOTAL</b>	<b>1.214</b>	<b>1.336</b>	<b>10,0</b>	<b>7.154</b>	<b>7.727</b>	<b>8,0</b>	<b>14.527</b>	<b>15.451</b>	<b>6,4</b>
<b>NORDESTE</b>									
RESIDENCIAL	964	1.016	5,4	6.051	6.258	3,4	11.794	12.155	3,1
INDUSTRIAL	1.799	1.882	4,6	10.469	11.138	6,4	21.224	22.393	5,5
COMERCIAL	487	548	12,5	3.022	3.288	8,8	5.924	6.316	6,6
OUTROS	615	645	4,9	3.749	3.698	-1,4	7.624	7.572	-0,7
<b>TOTAL</b>	<b>3.865</b>	<b>4.091</b>	<b>5,8</b>	<b>23.291</b>	<b>24.382</b>	<b>4,7</b>	<b>46.566</b>	<b>48.436</b>	<b>4,0</b>
<b>SUDESTE</b>									
RESIDENCIAL	3.876	3.874	-0,1	24.042	24.419	1,6	47.137	47.699	1,2
INDUSTRIAL	6.196	6.624	6,9	35.390	37.703	6,5	72.824	75.686	3,9
COMERCIAL	2.057	2.180	6,0	13.264	14.363	8,3	25.592	27.173	6,2
OUTROS	1.756	1.791	2,0	10.355	10.406	0,5	20.873	21.126	1,2
<b>TOTAL</b>	<b>13.885</b>	<b>14.469</b>	<b>4,2</b>	<b>83.051</b>	<b>86.891</b>	<b>4,6</b>	<b>166.426</b>	<b>171.684</b>	<b>3,2</b>
<b>SUL</b>									
RESIDENCIAL	1.034	1.045	1,1	6.423	6.561	2,1	12.445	12.730	2,3
INDUSTRIAL	1.526	1.711	12,1	8.713	9.741	11,8	17.385	19.103	9,8
COMERCIAL	512	555	8,4	3.375	3.627	7,5	6.405	6.822	6,5
OUTROS	674	700	3,9	4.458	4.647	4,2	8.616	8.746	1,5
<b>TOTAL</b>	<b>3.746</b>	<b>4.011</b>	<b>7,1</b>	<b>22.969</b>	<b>24.576</b>	<b>7,0</b>	<b>44.851</b>	<b>47.401</b>	<b>5,7</b>
<b>CENTRO-OESTE</b>									
RESIDENCIAL	475	491	3,4	2.883	2.971	3,1	5.734	5.916	3,2
INDUSTRIAL	267	300	12,4	1.460	1.598	9,5	2.964	3.221	8,7
COMERCIAL	242	273	12,8	1.530	1.651	7,9	2.998	3.194	6,5
OUTROS	306	341	11,4	1.712	1.810	5,7	3.480	3.734	7,3
<b>TOTAL</b>	<b>1.290</b>	<b>1.405</b>	<b>8,9</b>	<b>7.585</b>	<b>8.030</b>	<b>5,9</b>	<b>15.176</b>	<b>16.065</b>	<b>5,9</b>

Fonte: ELETROBRAS (2000)

## Anexo B - Principais Usinas Brasileiras e Produção Anual

<b>USINA</b>	<b>LOCALIZAÇÃO</b>	<b>CAPACIDADE (MW)</b>
<b>REGIÃO NORTE</b>		
Tucuruí	rio Tocantins	3.980
Balbina	rio Uatumã	250
<b>REGIÃO NORDESTE</b>		
Paulo Afonso	rio São Francisco	2.460
Sobradinho	rio São Francisco	1.050
Moxotó	rio São Francisco	439,2
Itaparica	rio São Francisco	1.500
Xingó	rio São Francisco	3.000
<b>REGIÃO SUDESTE</b>		
São Simão	rio Paranaíba	1.715
Nova Ponte	rio Araguari	510
Água Vermelha	rio Grande	1.380
Três Irmãos	rio Tietê	808
Emborcação	rio Paranaíba	1.192
Ilha Solteira	rio Paraná	3.230
Porto Primavera	rio Paraná	1.854
Jaguara	rio Grande	425,6
Três Marias	rio São Francisco	387,6
<b>REGIÃO SUL</b>		
Foz do Areia	rio Iguaçu	2.511
Capivara	rio Paranapanema	640
Itaipu	rio Paraná	12.600
Parigot de Souza	rio Capivari	246,96
Itaúba	rio Jacuí	625
Salto Osório	rio Iguaçu	1.050
<b>REGIÃO CENTRO-OESTE</b>		
Ilha Solteira	rio Paraná	3.230
Itumbiara	rio Paranaíba	2.080
Jupia	rio Paraná	

Fonte: ELETROBRAS (2000)

## ANEXO C - Sobre o Sol

Foram necessários vinte séculos para evoluir o conhecimento científico que descreve nosso sistema solar com um modelo heliocêntrico.

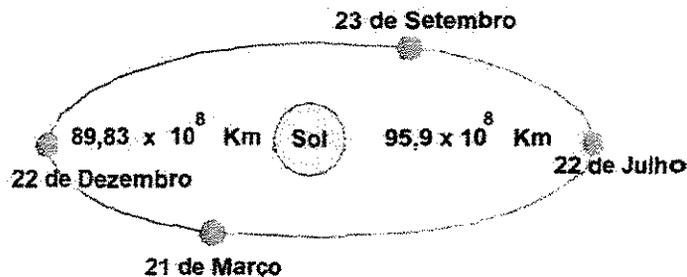
Remota do século IV antes de Cristo o antigo modelo geocêntrico dos gregos que consideravam a terra sendo o centro do universo.

Em 1619 o astrônomo alemão Johannes Kepler publica a terceira e última lei do modelo heliocêntrico. Segundo Kepler: qualquer planeta gira em torno do sol descrevendo um órbita elíptica, da qual o sol ocupa um dos focos (primeira lei de Kepler).

A reta que une um planeta ao sol, varre áreas iguais em tempos iguais (segunda lei de Kepler).

Os quadrados dos períodos de revolução dos planetas são proporcionais aos cubos dos raios de suas órbitas (terceira lei de Kepler). LUZ (2000).

A órbita heliocêntrica, segundo Kepler promove distâncias diferenciadas ao longo de um período de translação completa (um ano), ver a figura C1.



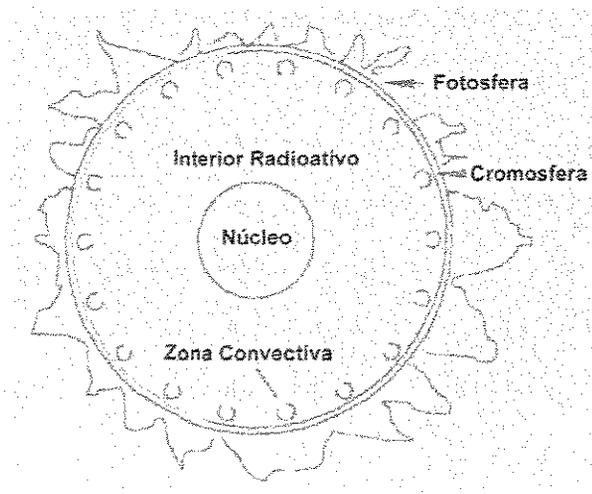
**Figura C1** : Posições da Terra em relação ao Sol durante o ano.

Fonte: Souza (1994).

Em tamanho o sol é aproximadamente 110 vezes maior que a terra, possuindo um diâmetro de 1.400.000 Km. Sua massa é de  $2 \times 10^{33}$  gramas equivalendo a 330.000 vezes a massa da Terra, o que confere ao sol a denominação de uma estrela de tamanho médio.

Sua composição assemelha-se à das estrelas da mesma espécie, ou seja 94% de núcleos de Hidrogênio e Deutério, 5,9% de Hélio, restando 0,1% a outros elementos leves.

O núcleo do sol com tamanho de 10% da totalidade é responsável por quase toda a energia desprendida. A cromosfera é uma calota de dez mil Km de espessura de cor rosa e temperatura inferior ao núcleo, correspondendo a 1,5% do raio solar, e superficialmente está uma camada transparente responsável por parte da radiação recebida pela Terra, denominada de fotosfera, como mostra a figura C2. SOUZA (1994).

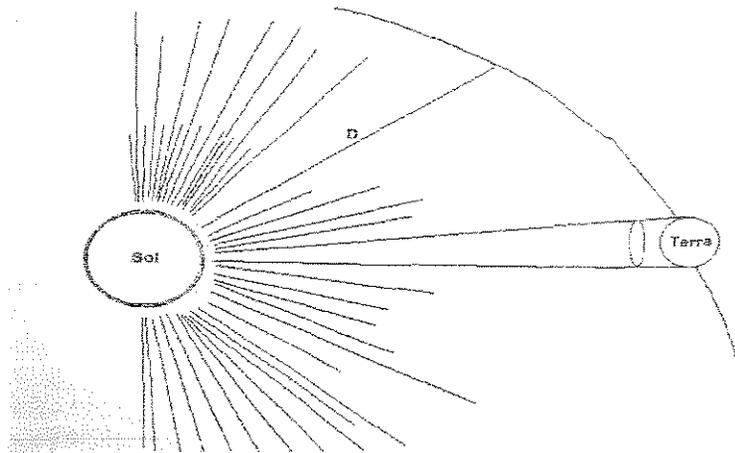


**Figura C2:** Composição Solar

Fonte: Souza (1994).

Como o sol emite sua radiação em todas as direções pode-se imaginar uma esfera de Raio D, medido do centro do Sol até o alinhamento da órbita da terra num instante qualquer, onde a área da superfície dessa esfera, corresponderia à totalidade do espaço radiado em função da distância D. Por outro lado o espaço captado pelo

planeta terra, seria correspondente ao disco de Raio R, correspondente ao Raio da terra como mostra a figura C3.



**Figura C3:** Incidência Solar Sobre a Terra

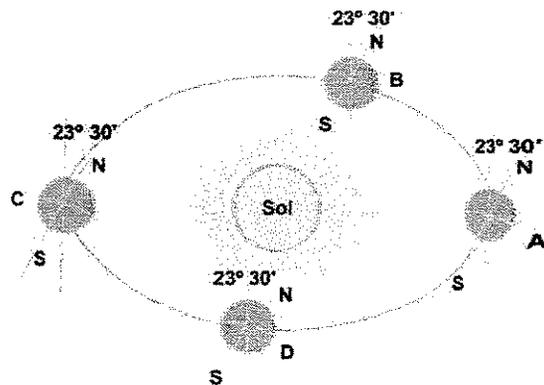
Fonte: Secretaria da Tecnologia Industrial (1978).

Ainda, segundo Kepler, essa fração depende do instante (tempo) devido à translação da terra na órbita elíptica, projetar diferentes distâncias entre as estações do ano (1 período).

Visto nessas proporções, a energia solar que emana sobre a terra parece muito pequena com relação ao que verdadeiramente o sol envia para o restante do espaço, porém, para se ter uma idéia em termos de potência, essa pequena fração que a terra recebe corresponde a 178 trilhões de quilowatts, que poderia ser equiparado a 18 milhões de centrais elétricas iguais a Itaipú **SECRETARIA DA TECNOLOGIA INDUSTRIAL (1978).**

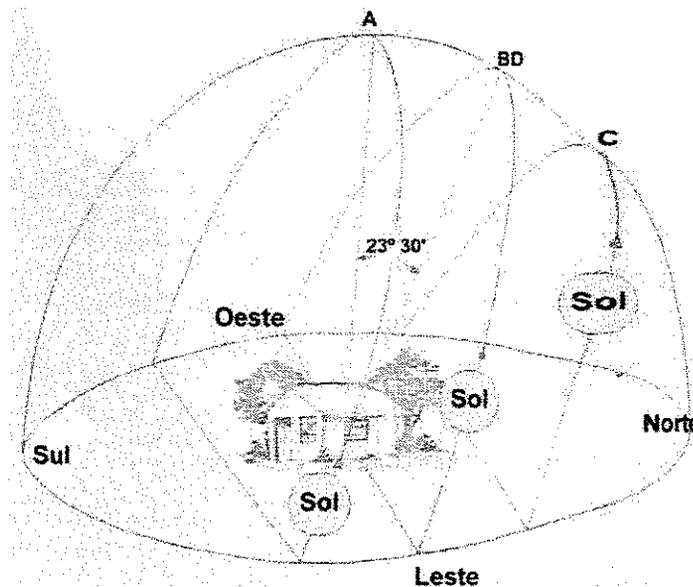
Segundo **Cometa (1985)**, o Sol em menos de uma hora envia à terra tanta energia quanto a humanidade consome em um ano (por volta de  $10^{14}$  KWh em 1985). Isto mais ou menos serve como um diagnóstico numérico do desperdício de energia pura e processada que o planeta recebe e a humanidade mal aproveita.

A insolação incide na Terra numa inclinação que depende fisicamente da posição da mesma sobre a órbita heliocêntrica e da excentricidade do eixo de rotação da Terra com o eixo normal. Estas inclinações, são bem compreendidas se observada a linha do Equador e os trópicos em função da órbita de um ciclo completo, como mostram as figuras C4 e C5.



**Figura C4:** Posições A, B, C e D e excentricidade de 23°30'

Fonte: Secretaria da Tecnologia Industrial (1978).



**Figura C5 :** Insolação na Linha do Equador no ponto BD.

Fonte: Secretaria da Tecnologia Industrial (1978).

A energia que emana do sol em direção à terra se propaga na forma de raio com diferentes comprimentos de onda. Grande parte desses raios, antes de chegar à superfície terrestre é filtrada pela estratosfera que possui gases com a possibilidade de depurá-los.

Os raios visíveis que chegam até a superfície medem de 400 a 800 nanômetros (um nanômetro equivale a um bilonésimo de metro). Acima dessa fração visível de raios estão os infravermelhos, responsáveis pelo calor e abaixo estão os ultravioletas, que apesar de constituir somente 10% de toda a radiação que chega ao planeta, são os mais perigosos à saúde humana. Esta última faixa ainda é subdividida em três zonas: UVA (ultravioletas longo, de 320 a 400 nanômetros), UVB (ultravioletas médios. De 280 a 320 nanômetros) e UVC (ultravioletas curtos, de 180 a 280 nanômetros).

Estes últimos são retidos a 11 Km acima da superfície terrestre numa faixa de 30 mil metros de espessura pelo ozônio (ameaçado pelo uso irracional de alguns gases para refrigeração a base do CFC).

Se os UVC chegassem ao solo, acabariam com qualquer tipo de vida, pois, exercendo uma arrasadora ação germicida, destruiriam a cadeia ecológica da qual todos fazem parte. **Heyman (1989)**.

A tabela C.1, estabelece valores da irradiação solar medidas no Brasil. Cada mês especifica sua irradiação média mensal, em KWh por metro quadrado de área plana. A média apresentada é a irradiação média anual (dos meses de janeiro a dezembro), por dia e por metro quadrado plano.

Existem *sites* na rede internacional de computadores, que apresentam as condições climáticas no mundo analisadas por satélites. Para o Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), divulga na rede diariamente a irradiação solar média rastreada por satélite.

A figura C6. Ilustra a situação de irradiação para o dia 16/01/2001, notando-se a forte incidência sobre o estado de São Paulo.

Tabela C.1: irradiações locais brasileiras.  
 Fonte: www.sunpower.com.br acessado em 20/01/01.

Lat	Long.	Localidade	U.F.	Font	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
(9,27)	37,94	Água Branca	AL	1	5,44	5,14	5,39	4,67	4,03	3,67	4,0
(19,49)	41,06	Aimorés	MG	1	6,14	5,97	5,50	4,89	4,19	3,78	4,08
(20,76)	41,55	Alegre	ES	1	5,94	5,56	5,47	4,31	3,78	3,58	3,81
(29,80)	55,70	Alegrete	RS	1	6,08	5,89	5,03	4,00	3,28	2,53	3,06
(12,13)	38,43	Algoinhas	BA	1	4,94	5,08	5,36	4,36	3,61	3,67	3,97
(17,53)	40,71	Almenara	PB	2	6,23	6,01	5,50	4,72	4,21	3,86	3,92
3,20	52,22	Altamira	PA	1	3,72	3,69	3,83	3,78	4,22	4,00	4,97

Planilha de irradiações locais brasileiras (continuação).

Lat	Long.	Localidade	U.F.	Ago	Set	Out	Nov	Dec	Média
(9,27)	37,94	Água Branca	AL	4,89	4,89	5,61	6,39	5,47	4,97
(19,49)	41,06	Aimorés	MG	4,72	4,53	5,19	5,33	5,67	5,00
(20,76)	41,55	Alegre	ES	4,31	4,19	5,08	4,92	5,11	4,67
(29,80)	55,70	Alegrete	RS	3,67	4,44	5,36	6,83	7,00	4,76
(12,13)	38,43	Algoinhas	BA	4,47	4,53	5,22	5,83	5,17	4,68
(17,53)	40,71	Almenara	PB	4,71	5,05	5,38	5,35	5,52	5,04
3,20	52,22	Altamira	PA	5,36	4,58	4,39	3,83	3,86	4,19

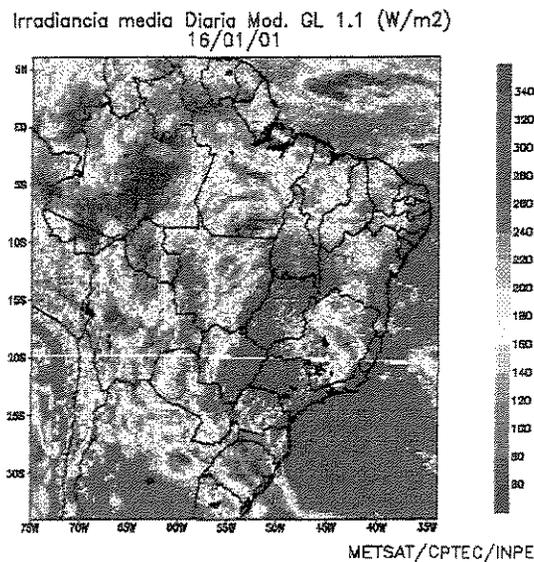


Figura C6: Irradiação Solar no Brasil em 16/01/2001

Fonte: <http://www2.cptec.inpe.br/satelite/metsat/radsol/globfram.htm>, acessado em 16/01/2001.

**ANEXO D - PLANILHAS DE CAMPO UTILIZADAS PARA REGISTROS  
DE TEMPERATURAS**

TEMPERATURA AMBIENTE                      MÊS: \_\_\_\_\_

	7			8			9			10			11			12			13			14			15			16			17		
	Tipo	Sol	Sombra																														
1																																	
2																																	
3																																	
4																																	
5																																	
6																																	
7																																	
8																																	
9																																	
10																																	
11																																	
12																																	
13																																	
14																																	
15																																	
16																																	
17																																	
18																																	
19																																	
20																																	
21																																	
22																																	
23																																	
24																																	
25																																	
26																																	
27																																	
28																																	
29																																	
30																																	
31																																	

TIPOS 1 = LIMPO ENSOLARADO    2 = ENSOLARADO COM NUVENS BRANCAS    3 = NUBLADO MAS QUENTE    4 = NUBLADO FECHADO PARA CHUVA    5 = INÍCIO DE CUVA    6 = CHOVE

Planilha utilizada para anotar a temperatura ambiente.



CAIXA AUXILIAR Nº 5

MÊS: \_\_\_\_\_

A = MEDIDA NO ALTO

B = MEDIDA NO FUNDO

	7		8		9		10		11		12	13		14		15		16		17		
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
1											1											1
2											2											2
3											3											3
4											4											4
5											5											5
6											6											6
7											7											7
8											8											8
9											9											9
10											10											10
11											11											11
12											12											12
13											13											13
14											14											14
15											15											15
16											16											16
17											17											17
18											18											18
19											19											19
20											20											20
21											21											21
22											22											22
23											23											23
24											24											24
25											25											25
26											26											26
27											27											27
28											28											28
29											29											29
30											30											30
31											31											31

Planilha empregada para anotar as leituras feitas sobre a caixa auxiliar nº 5

Dez/00						P1	P2	P3	P4	P5	caixa	caixa	P3	P3	P5	P5
Nº	MES	DIA	Inf Qual	HORA	TambSol	TextAlta	TextAlta	TextAlta	TextAlta	TextAlta	TintAlta	TintBaixo	TintAlto	TintBaixo	TintAlto	TintBaixo
					X	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	
1	12	1	4	7	19,50	21,00	21,00	22,00	22,00	27,00	22,00	21,00	27,00	24,00	26,00	23,50
2	12	1	4	8	20,00	22,00	22,00	22,00	22,00	27,00	22,00	21,00	28,00	24,50	28,00	27,00
3	12	1	4	9	20,00	22,00	22,50	25,00	22,00	29,00	23,00	22,00	28,50	24,50	29,00	28,00
4	12	1	4	10	20,10	22,00	22,00	25,00	22,00	28,00	23,00	22,00	29,00	25,00	30,00	29,50
5	12	1	5	11	20,00	22,00	22,00	24,00	22,00	32,00	24,00	23,00	30,00	25,50	30,00	30,00
6	12	1	6	12	20,00	22,00	23,00	25,00	23,00	28,00	22,00	21,00	30,50	25,00	30,00	30,00
7	12	1	6	13	19,50	20,00	23,00	25,00	23,00	25,00	22,00	21,00	30,00	25,00	29,50	29,00
8	12	1	6	14	19,50	20,00	23,00	24,00	23,00	23,00	19,00	18,00	29,00	24,50	29,00	29,00
9	12	1	6	15	20,00	20,00	24,00	24,00	24,00	21,00	19,00	18,00	27,00	24,00	28,50	27,00
10	12	1	4	16	20,50	20,00	24,50	24,00	24,50	21,00	20,00	19,00	25,50	23,00	28,00	26,00
11	12	1	4	17	20,50	21,00	25,00	24,00	25,00	21,50	20,00	19,00	25,00	23,00	26,00	24,00
12	12	2	4	7	19,00	20,00	22,00	22,00	22,00	19,50	20,00	19,00	25,00	23,00	27,50	23,50
13	12	2	4	8	19,50	20,00	21,50	22,00	22,00	20,00	20,00	19,00	26,50	23,00	29,50	28,50
14	12	2	4	9	19,00	20,00	22,00	22,00	22,00	25,00	20,00	19,00	27,00	23,50	30,00	29,00
15	12	2	4	10	19,50	20,50	22,50	22,00	22,00	28,00	21,00	20,00	28,00	24,00	29,00	29,50
16	12	2	3	11	22,00	26,00	38,00	30,00	31,00	28,00	21,00	20,00	28,50	24,00	32,50	30,00
17	12	2	3	12	22,50	26,50	45,00	32,00	30,00	30,00	23,00	22,00	28,00	24,50	34,00	30,00
18	12	2	3	13	23,00	27,00	45,50	35,00	31,50	31,00	25,00	24,00	30,00	25,50	35,00	29,00
19	12	2	3	14	25,00	26,00	43,00	36,00	31,00	31,50	26,00	25,00	30,00	26,00	37,00	29,50
20	12	2	4	15	24,00	26,00	38,00	34,00	31,00	30,00	25,00	24,00	29,50	27,00	39,00	30,00
21	12	2	4	16	23,00	26,00	35,00	32,00	32,00	30,50	26,00	25,00	28,50	26,50	39,00	30,00
22	12	2	4	17	23,00	25,50	34,00	30,00	30,00	29,50	24,00	23,00	25,50	24,50	38,00	29,50
23	12	4	4	7	19,00	25,00	27,00	23,50	24,00	27,00	28,00	27,00	27,00	24,50	27,50	23,50
24	12	4	4	8	20,00	22,50	25,00	22,50	25,00	26,00	28,00	27,00	28,50	27,50	29,50	28,50
25	12	4	4	9	20,00	26,00	33,00	29,00	28,00	32,00	29,00	28,00	30,00	27,00	31,00	29,00
26	12	4	4	10	21,00	25,00	32,00	24,50	27,50	26,00	29,00	28,00	29,00	27,50	31,50	29,50
27	12	4	4	11	22,00	29,00	37,00	30,00	27,00	38,50	29,00	27,50	30,00	28,00	32,50	30,00
28	12	4	4	12	21,40	30,00	39,00	32,00	32,00	40,00	30,00	29,00	31,50	29,50	34,00	31,00
29	12	4	5	13	20,00	28,00	30,00	31,50	30,50	35,00	28,00	27,00	30,00	28,50	33,50	30,00
30	12	4	6	14	20,50	27,00	28,50	29,50	29,00	30,00	27,00	26,00	29,00	27,00	31,00	28,50
31	12	4	6	15	21,00	26,50	26,50	27,50	27,50	28,50	26,00	25,00	28,50	25,00	29,50	27,00
32	12	4	6	16	21,50	25,00	24,00	25,50	26,50	26,00	25,00	24,00	28,00	24,50	27,50	25,00
33	12	4	4	17	22,00	24,00	23,00	24,00	25,00	25,50	23,00	22,00	25,00	23,00	25,50	24,00
34	12	5	3	7	20,00	19,00	23,00	23,00	23,50	23,50	24,00	23,50	24,50	24,00	24,50	23,00
35	12	5	3	8	21,00	22,00	25,00	22,00	24,00	23,00	24,00	23,00	24,00	23,50	24,00	23,50
36	12	5	3	9	21,50	28,00	31,50	27,00	27,00	32,50	25,00	24,00	25,00	24,50	26,50	25,50
37	12	5	3	10	22,00	28,50	33,50	29,00	29,00	34,50	25,00	24,50	26,00	25,00	29,50	27,00
38	12	5	2	11	24,00	29,00	38,00	37,00	30,00	40,50	26,00	25,00	28,00	26,50	32,00	29,50
39	12	5	3	12	22,00	32,00	37,00	42,00	35,00	34,50	27,00	26,00	28,50	26,50	37,00	30,50
40	12	5	4	13	21,00	31,00	33,00	40,00	33,00	35,00	27,00	26,50	29,00	27,00	38,00	31,00
41	12	5	4	14	20,00	36,00	41,00	38,00	35,00	41,00	27,00	26,00	30,00	27,50	38,00	33,00
42	12	5	3	15	23,00	35,00	38,00	47,00	37,00	38,00	28,00	27,00	31,00	28,50	40,50	33,50
43	12	5	3	16	25,00	38,00	40,00	50,00	39,50	41,50	27,00	26,00	34,00	30,50	42,00	34,50
44	12	5	2	17	26,00	38,00	40,50	48,00	40,00	48,00	27,00	26,50	35,50	32,00	44,50	36,00
45	12	6	2	7	21,50	22,00	23,00	22,00	22,50	24,50	24,00	23,00	25,00	24,50	26,50	24,00
46	12	6	2	8	23,00	24,50	25,50	22,00	24,50	23,50	24,00	23,50	25,50	25,00	26,00	24,50
47	12	6	2	9	25,00	25,00	25,50	25,00	27,00	24,00	25,00	24,00	25,50	25,00	27,00	25,00
48	12	6	2	10	26,00	34,00	38,00	41,00	29,50	36,00	25,00	24,00	27,00	25,00	31,50	27,00
49	12	6	2	11	28,00	32,00	40,00	41,00	30,00	40,00	26,00	25,00	28,00	25,00	34,00	28,50
50	12	6	2	12	30,00	35,00	42,50	51,00	31,50	47,00	27,00	26,00	30,50	26,00	38,00	31,00
51	12	6	2	13	33,00	37,00	47,00	49,00	35,00	45,00	27,00	26,00	32,00	28,50	39,00	32,50
52	12	6	2	14	34,00	28,00	46,50	54,00	35,50	45,50	28,00	27,00	33,50	29,00	41,50	34,50
53	12	6	2	15	33,00	37,00	37,50	49,00	35,00	37,00	29,00	28,00	35,00	29,00	42,50	35,00
54	12	6	2	16	32,50	38,00	47,50	50,00	36,00	44,00	30,00	29,00	36,50	29,50	43,50	36,00
55	12	6	2	17	30,00	33,00	41,00	44,00	34,50	41,00	31,00	30,00	37,00	30,00	44,00	37,00
56	12	7	1	7	22,00	24,00	22,00	23,00	20,00	25,00	23,00	22,00	24,50	23,00	24,50	23,00
57	12	7	1	8	24,00	26,00	23,00	24,00	23,00	27,00	23,00	22,00	24,50	23,00	25,50	23,50
58	12	7	1	9	26,00	25,00	26,50	25,00	24,50	29,00	24,00	23,00	26,00	24,00	28,00	25,00
59	12	7	1	10	27,50	32,00	36,50	42,00	30,50	39,00	25,00	24,00	27,50	25,00	31,00	27,50
60	12	7	1	11	29,00	33,00	40,50	47,00	35,00	43,00	26,00	25,00	29,00	25,50	35,00	29,00

Parte de planilha com os dados recompilados para tratamento gráfico do mês de Dezembro de 2000.

## ANEXO E - Modelo Estatístico Descritivo

Os termômetros na chegada dos reservatório tiveram um comportamento não linear, mas apresentaram boa correlação no ajuste de um polinômio de 4º grau na maior parte do tempo, em outros casos foi ajustado um polinômio de outro grau ou apenas uma curva convencional (exponencial ou geométrica), também com correlação aceitável.

O processo utilizado para o ajuste polinomial, foi oferecido pelo software Excel, entretanto, as equações para ajuste polinomial, pelo método dos mínimos quadrados são apresentadas a seguir.

Um polinômio genérico, do 3º grau é apresentado na expressão (E.1).

$$Y = aX^3 + bX^2 + cX + d \quad \text{.....} \quad (\text{E.1})$$

O sistema linear indicado na expressão (E.2), é apropriado para ajustar um polinômio do 3º grau, onde, a, b, c, d, são os coeficientes constantes do polinômio, e n é o nº de dados.

$$\begin{bmatrix} \sum x^3 & \sum x^2 & \sum x^1 & n \\ \sum x^4 & \sum x^3 & \sum x^2 & \sum x^1 \\ \sum x^5 & \sum x^4 & \sum x^3 & \sum x^2 \\ \sum x^6 & \sum x^5 & \sum x^4 & \sum x^3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum y \\ \sum xy \\ \sum x^2y \\ \sum x^3y \end{Bmatrix} \quad (\text{E.2})$$

Um polinômio genérico, do 4º grau é apresentado na expressão (E.3).

$$Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e \quad (\text{E.3})$$

O sistema linear indicado na expressão (E.4), é apropriado para ajustar um polinômio do 4º grau, onde, a, b, c, d, e, são os coeficientes constantes do polinômio, e n é o nº de dados.

$$\begin{bmatrix} \sum x^4 & \sum x^3 & \sum x^2 & \sum x^1 & n \\ \sum x^5 & \sum x^4 & \sum x^3 & \sum x^2 & \sum x^1 \\ \sum x^6 & \sum x^5 & \sum x^4 & \sum x^3 & \sum x^2 \\ \sum x^7 & \sum x^6 & \sum x^5 & \sum x^4 & \sum x^3 \\ \sum x^8 & \sum x^7 & \sum x^6 & \sum x^5 & \sum x^4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum y \\ \sum xy \\ \sum x^2y \\ \sum x^3y \\ \sum x^4y \end{Bmatrix} \quad (\text{E.4})$$

Sub entende-se o sistema linear de equações para um polinômio de qualquer ordem.

No caso de uma curva exponencial, o sistema de equações apresentado na expressão (E.5) é o mais apropriado.

$$\begin{bmatrix} n & \sum x \\ \sum x & \sum x^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ln a \\ b \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum \ln y \\ \sum x \ln y \end{Bmatrix} \quad (\text{E.5})$$

A forma linear da curva exponencial é dada pela expressão (E.6).

$$\ln y = \ln a + b x \quad (\text{E.6})$$

A forma experimental da curva exponencial é dada pela expressão (E.7).

$$y = a e^{bx} \quad (\text{E.7})$$

No caso de uma curva geométrica, o sistema de equações apresentado na expressão (E.8) é o mais apropriado.

$$\begin{bmatrix} n & \sum \ln x \\ \sum \ln x & \sum \ln x^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ln a \\ b \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum \ln y \\ \sum \ln x \ln y \end{Bmatrix} \quad (\text{E.8})$$

A forma linear da curva geométrica é dada pela expressão (E.9)

$$\ln y = \ln a + b \ln x \quad (\text{E.9})$$

A forma experimental da curva geométrica é dada pela expressão (E.10).

$$y = a x^b \quad (\text{E.10})$$

Para determinação do coeficiente de correlação polinomial pode ser utilizada a expressão (E.11)

$$R^2 = S^2_{\text{explicada por } f(x) \text{ ajustada}} / S^2_{\text{dos dados coletados}} \quad (\text{E.11})$$

Onde S é a variância amostral, que como se divide por outra variância amostral, pode ser desprezado o termo  $n/(n-1)$  e utilizar-se apenas da expressão (E.12) para determinação da mesma, tanto para a  $f(x)$  ajustada como para os pontos experimentais.

$$S^2 = \frac{\sum x^2}{n} - \left( \frac{\sum X}{n} \right)^2 \quad (\text{E.12})$$

Para as curvas exponenciais e geométrica se torna mais prático empregar a fórmula de Pearson para determinação da correlação, conforme a expressão (E.13) para a curva exponencial e (E.14) para a geométrica.

$$R^2 = \frac{\left( \sum x \ln y - \frac{\sum x \sum \ln y}{n} \right)^2}{\left( \left( \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \right) \left( \sum \ln^2 y - \frac{(\sum \ln y)^2}{n} \right) \right)} \quad (\text{E.13})$$

$$R^2 = \frac{\left( \sum \ln x \ln y - \frac{\sum \ln x \sum \ln y}{n} \right)^2}{\left( \left( \sum \ln^2 x - \frac{(\sum \ln x)^2}{n} \right) \left( \sum \ln^2 y - \frac{(\sum \ln y)^2}{n} \right) \right)} \quad (\text{E.14})$$

## ANEXO F - Gráficos Estatísticos do mês de Outubro de 2000

Terminologia:

$f(x)$  = Modelo matemático;

P1 = Protótipo 1;

P2 = Protótipo 2;

P3 = Protótipo 3;

C5 = Caixa auxiliar nº 5;

Q1 = Qualidade horária de sol sem nuvens;

Q2 = Qualidade horária de sol e nuvens brancas;

Q3 = Qualidade horária de nublado e quente;

Q4 = Qualidade horária de tempo fechado para chuva;

Q5 = Qualidade horária de início de chuva;

Q6 = Qualidade horária de chuva ;

T = Temperatura em °C

$R^2$  = Coeficiente de correlação;

$f(X)$  de P1 para Q1 - Outubro de 2000  $T(^{\circ}\text{C}) = -0,006x^4 + 0,2645x^3 - 4,0855x^2 + 27,488x - 44,869$   
 $R^2 = 0,9957$

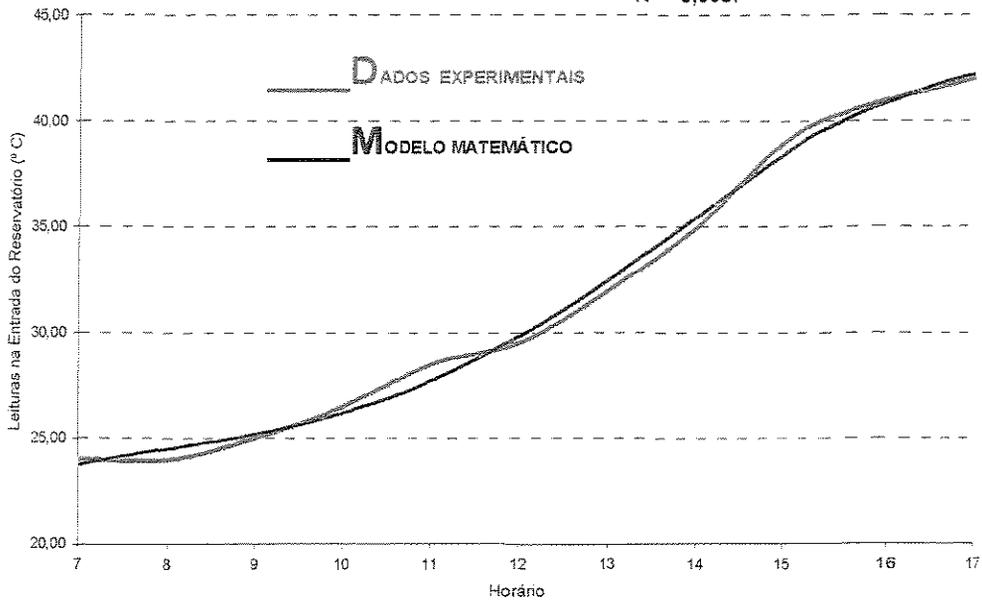


Gráfico O1

$f(X)$  de P1 para Q2 - Outubro 2000  $T(^{\circ}\text{C}) = -0,0013x^4 - 0,0013x^3 + 1,1231x^2 - 14,072x + 70,152$   
 $R^2 = 0,9954$

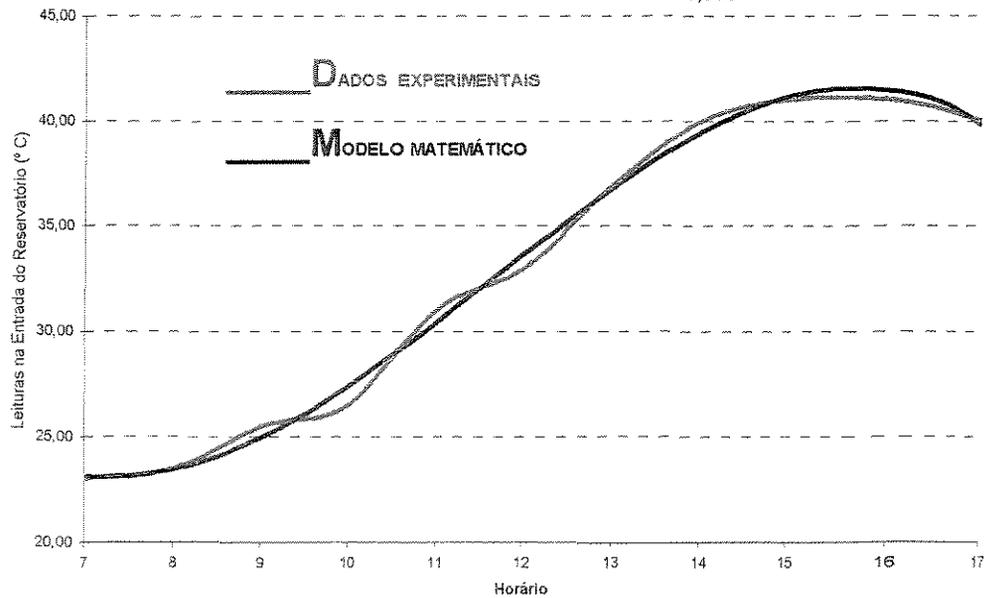


Gráfico O2

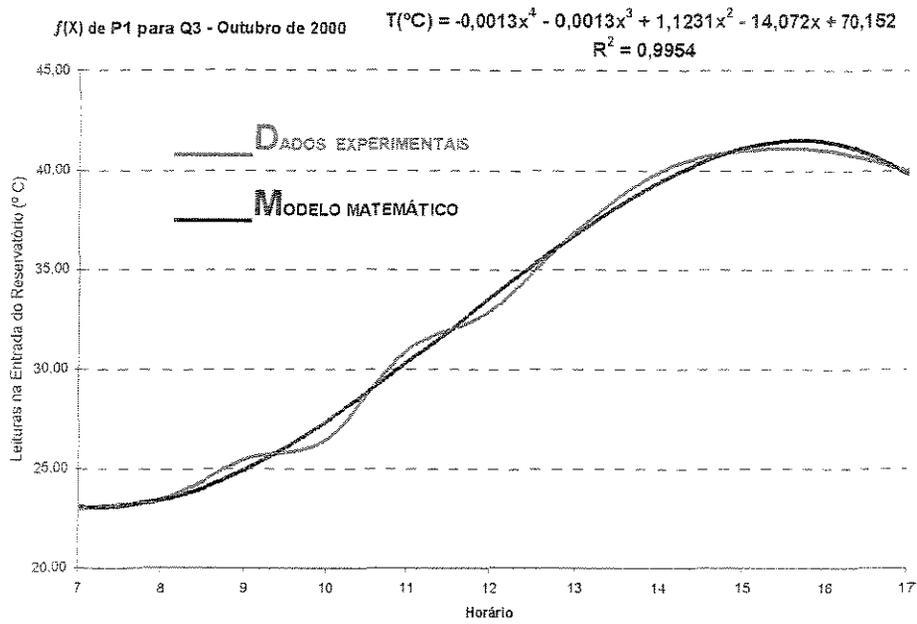


Gráfico O3

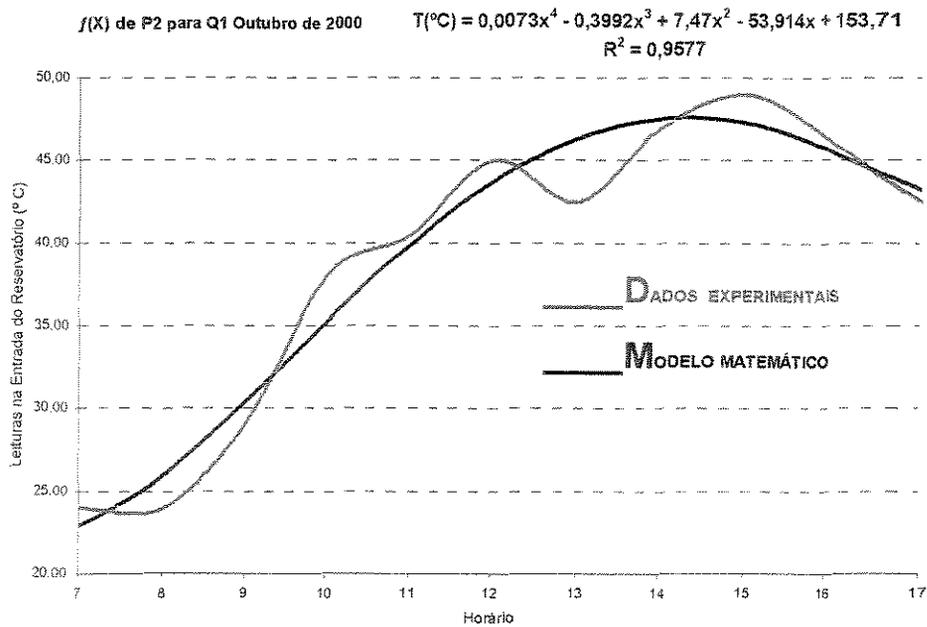


Gráfico O4

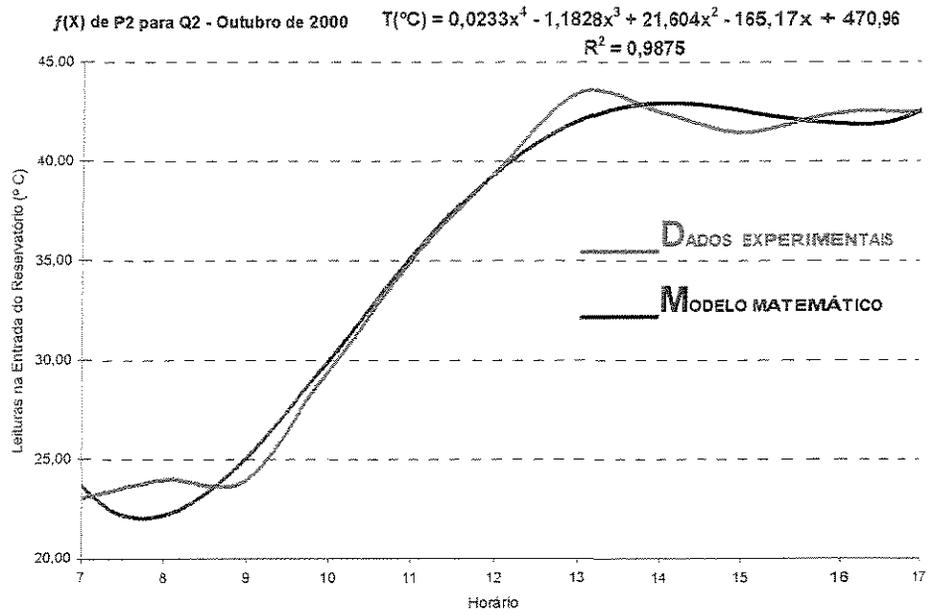


Gráfico O5

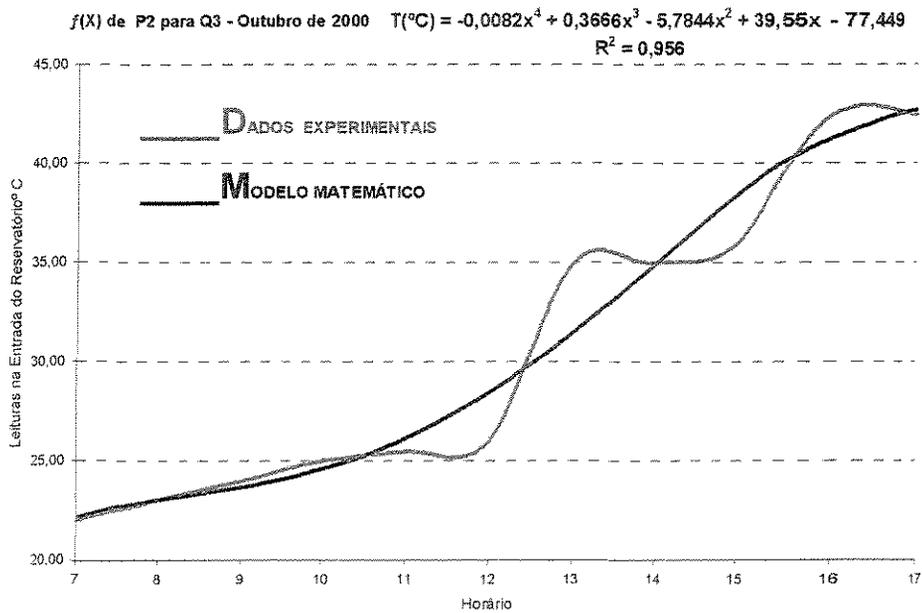


Gráfico O6

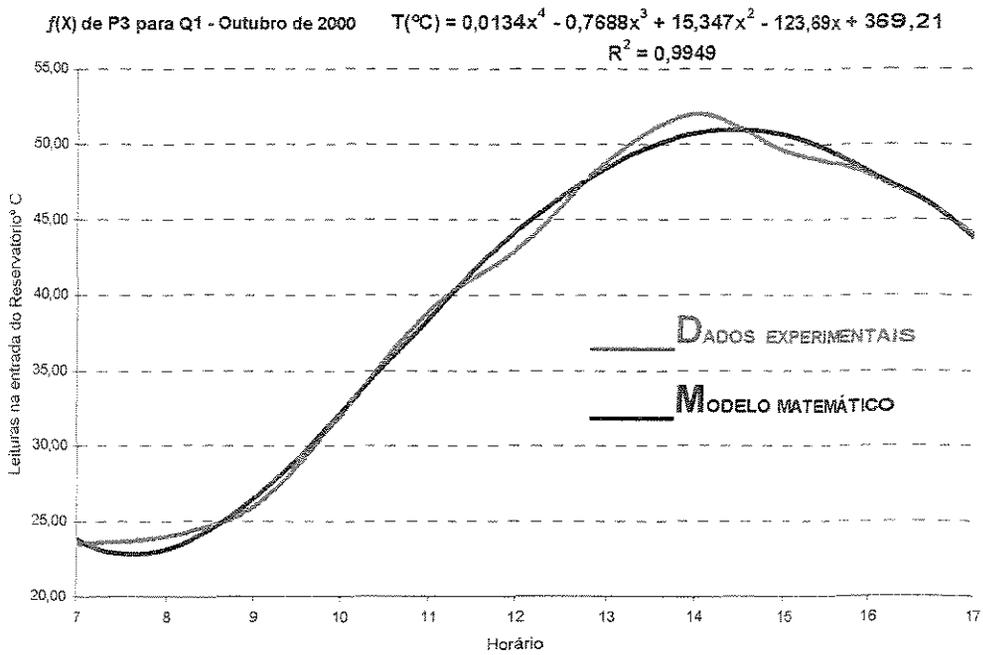


Gráfico 07

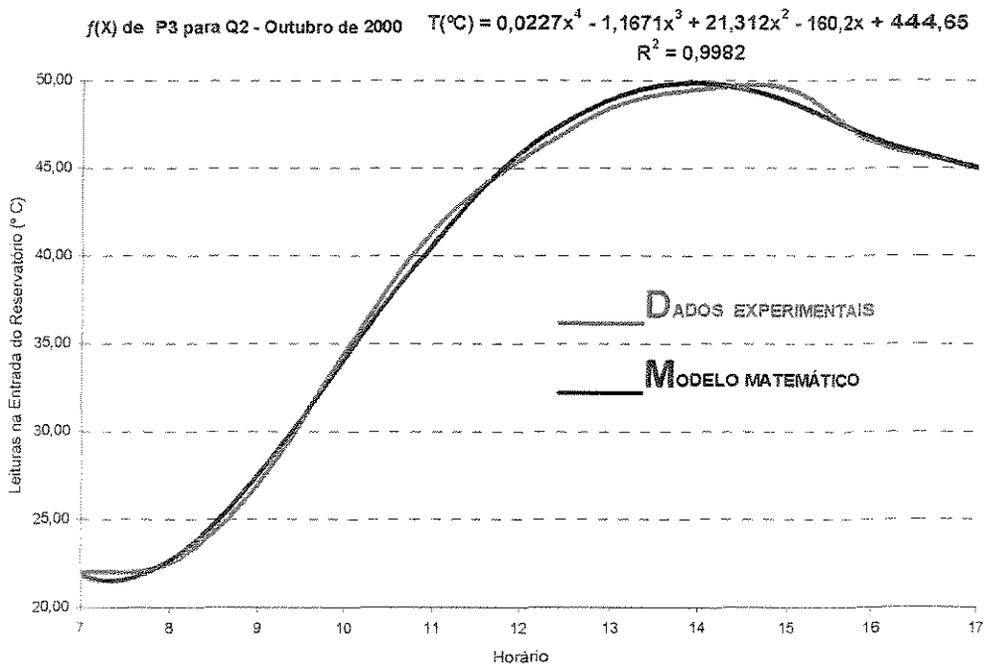


Gráfico 08

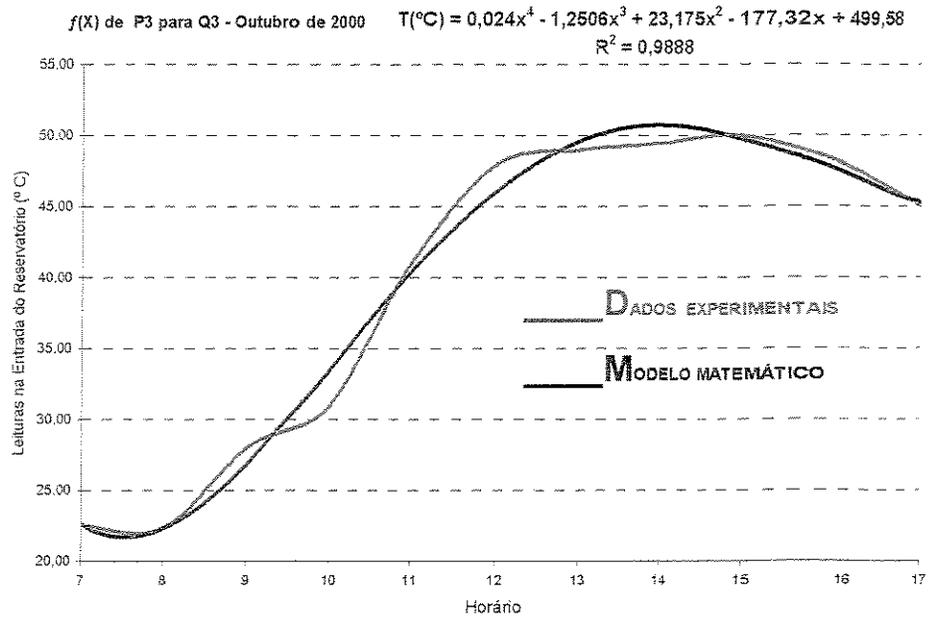


Gráfico O9

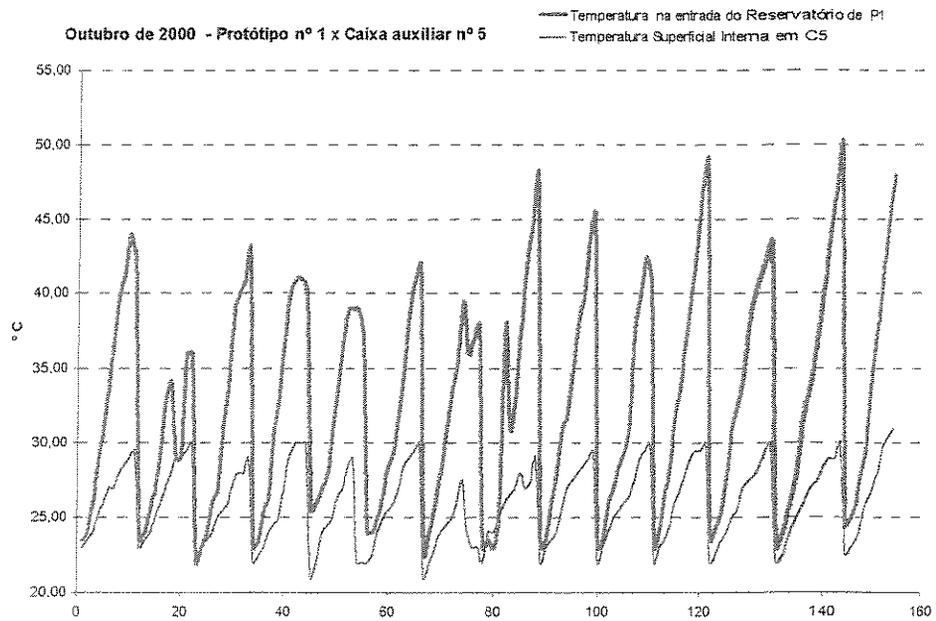


Gráfico O10

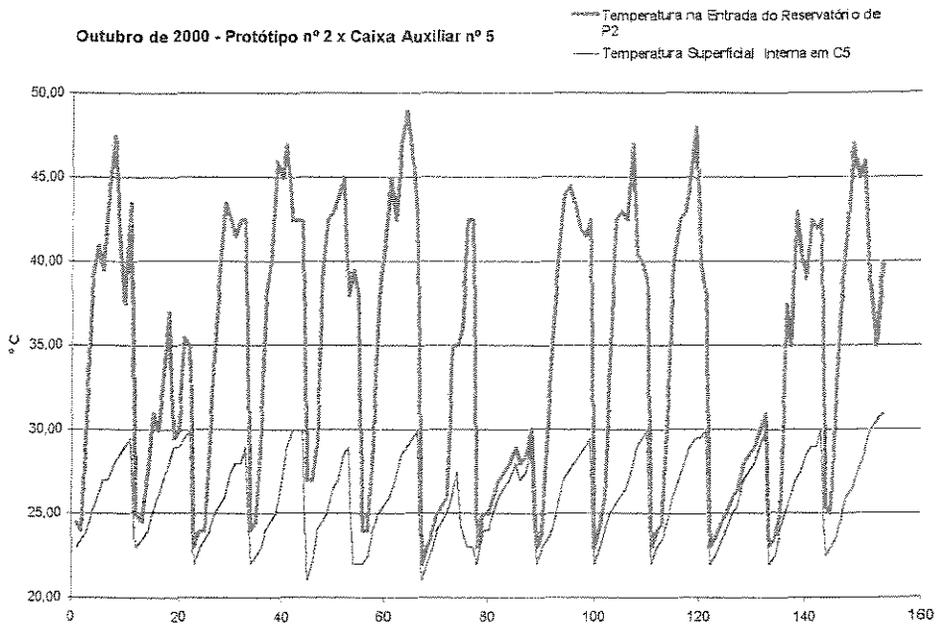


Gráfico O11

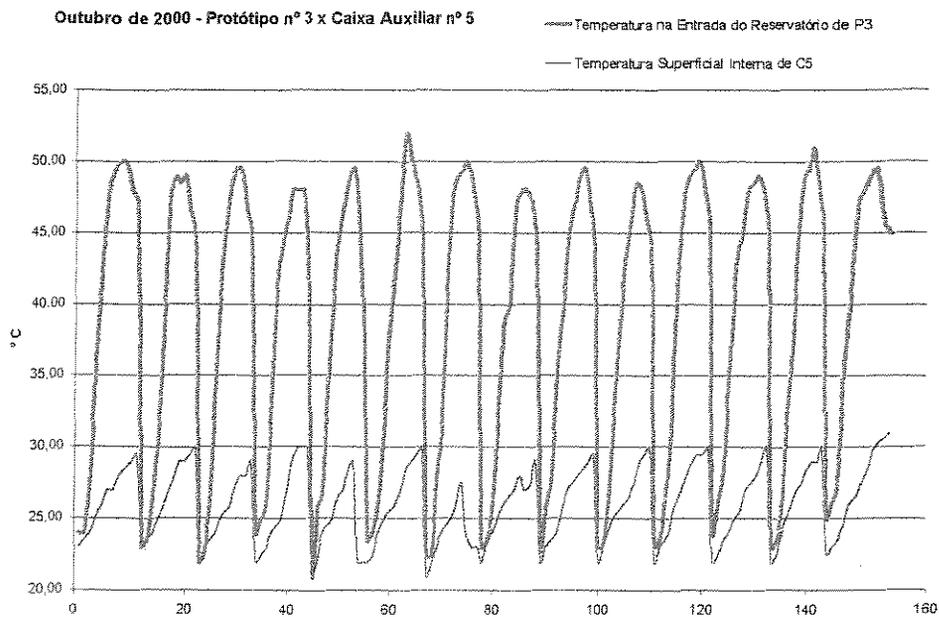


Gráfico O12

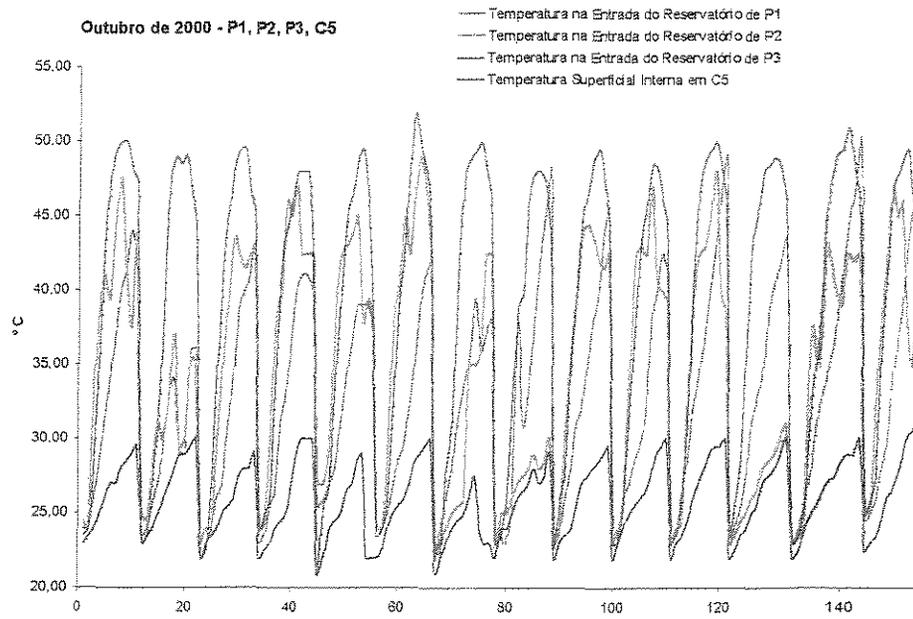


Gráfico O13

## ANEXO G - Gráficos Estatísticos do mês de Novembro de 2000

Terminologia:

$f(x)$  = Modelo matemático;

P1 = Protótipo 1;

P2 = Protótipo 2;

P3 = Protótipo 3;

P4 = Protótipo 4;

P5 = Protótipo 5;

C5 = Caixa auxiliar nº 5;

Q1 = Qualidade horária de sol sem nuvens;

Q2 = Qualidade horária de sol e nuvens brancas;

Q3 = Qualidade horária de nublado e quente;

Q4 = Qualidade horária de tempo fechado para chuva;

Q5 = Qualidade horária de início de chuva;

Q6 = Qualidade horária de chuva ;

T = Temperatura em °C

$R^2$  = Coeficiente de correlação;

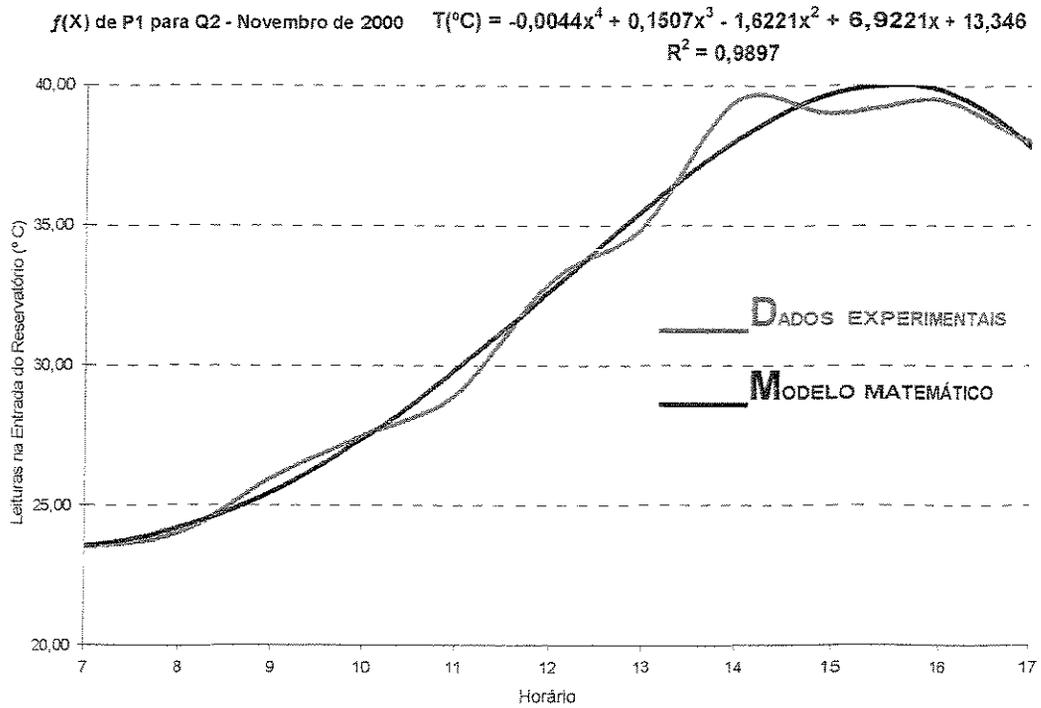


Gráfico N1

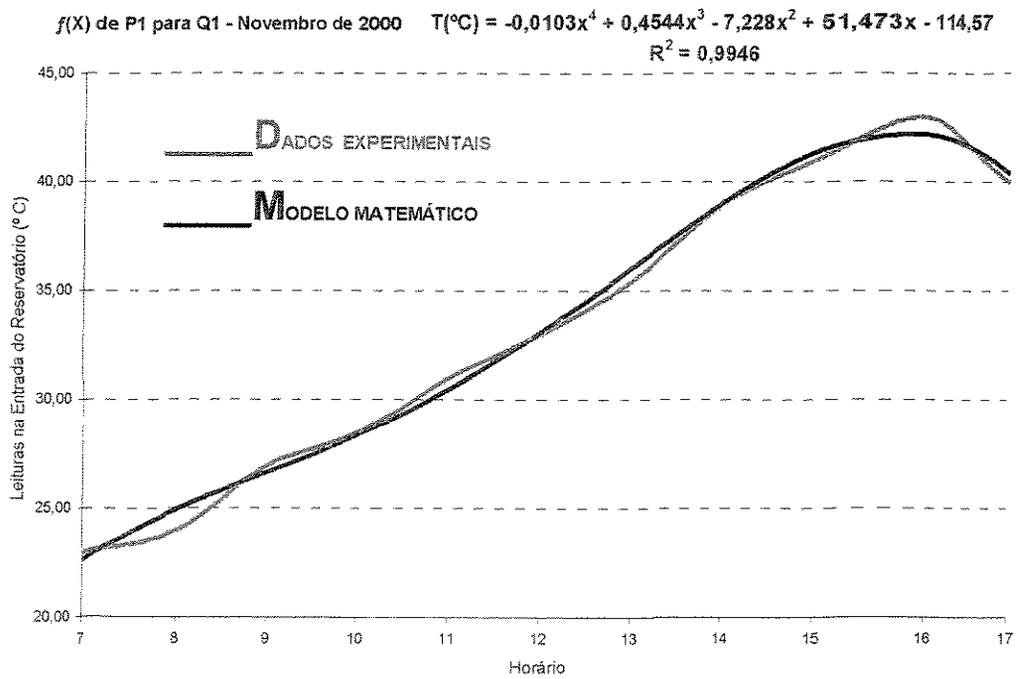


Gráfico N2

f(X) de P1 para Q3 -  
 Novembro de 2000

$$T(^{\circ}\text{C}) = 0,0069x^5 - 0,4065x^4 + 9,2931x^3 - 102,78x^2 + 551,13x - 1127,3$$

$$R^2 = 0,9881$$

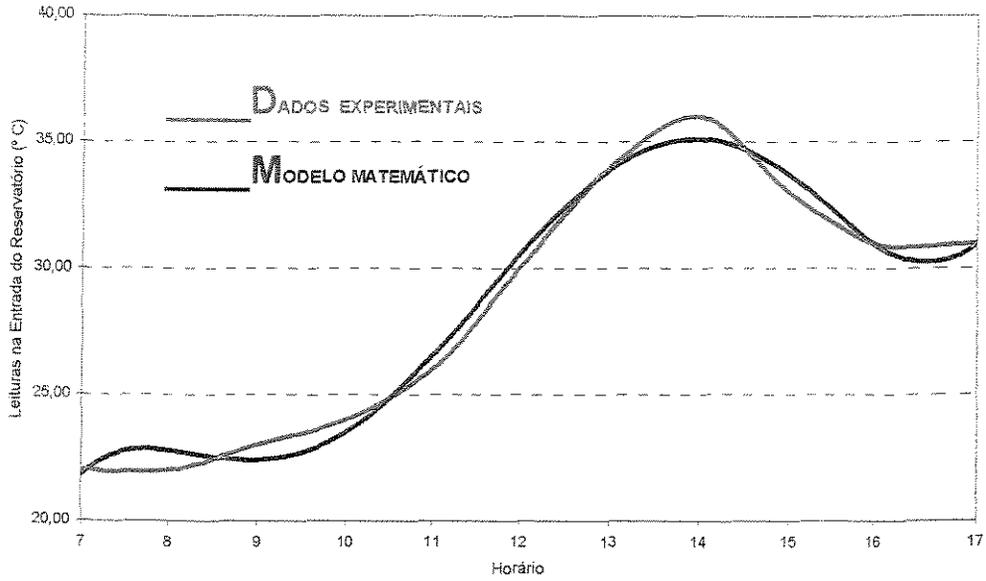


Gráfico N3

f(X) de P1 para Q6 - Novembro de 2000

$$T(^{\circ}\text{C}) = 0,0017x^4 - 0,0843x^3 + 1,4575x^2 - 10,746x + 50,585$$

$$R^2 = 0,8718$$

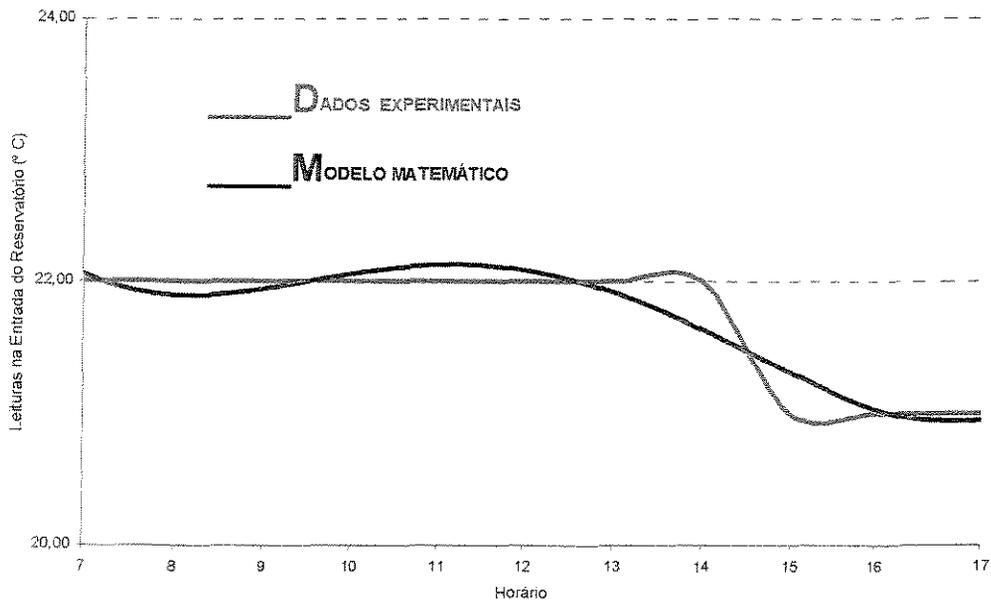


Gráfico N4

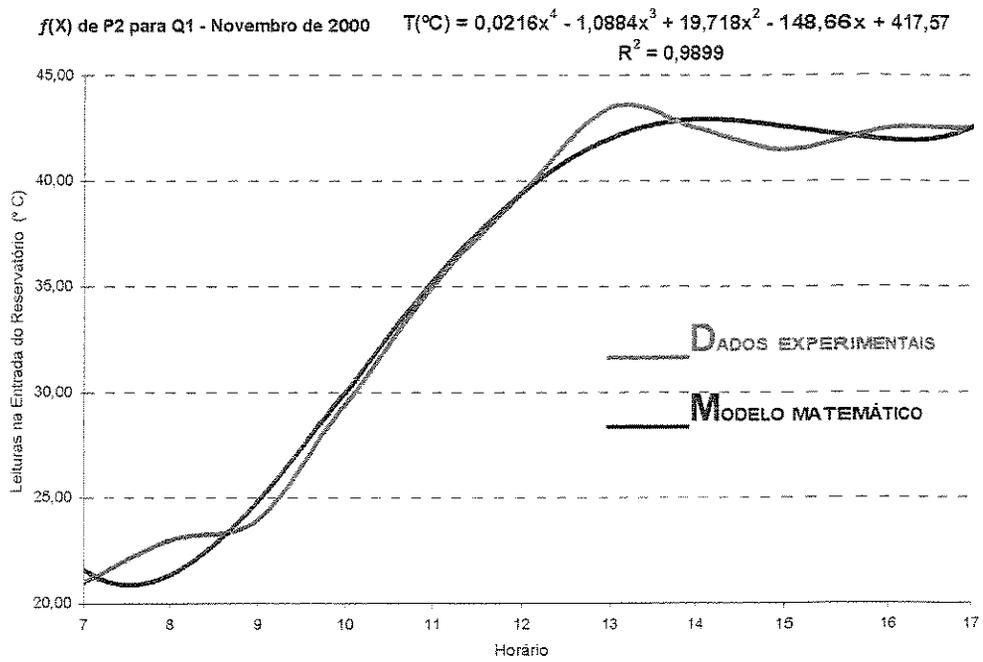


Gráfico N5

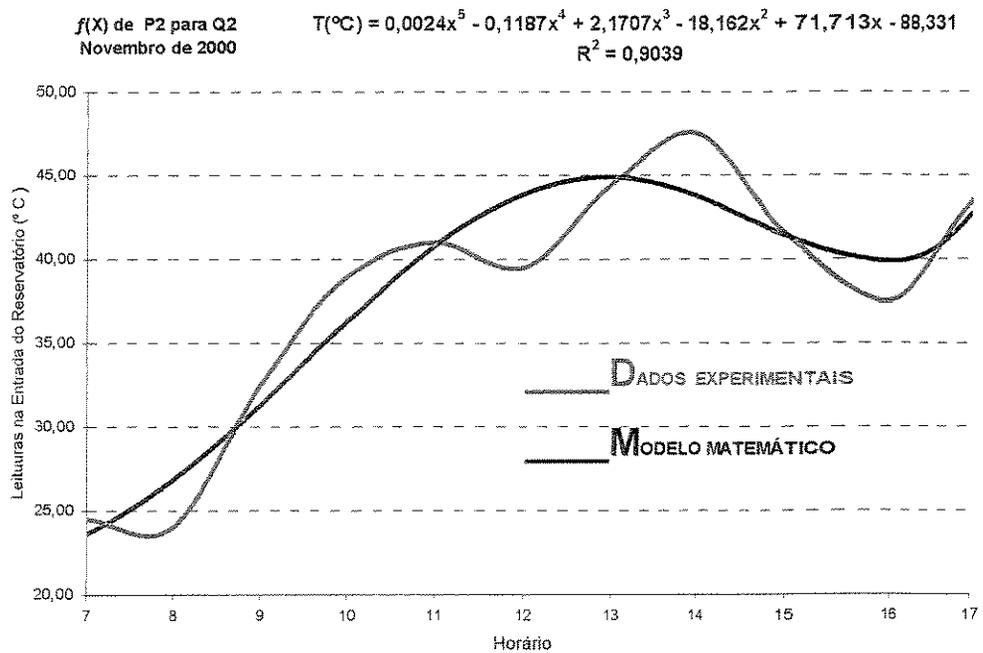


Gráfico N6

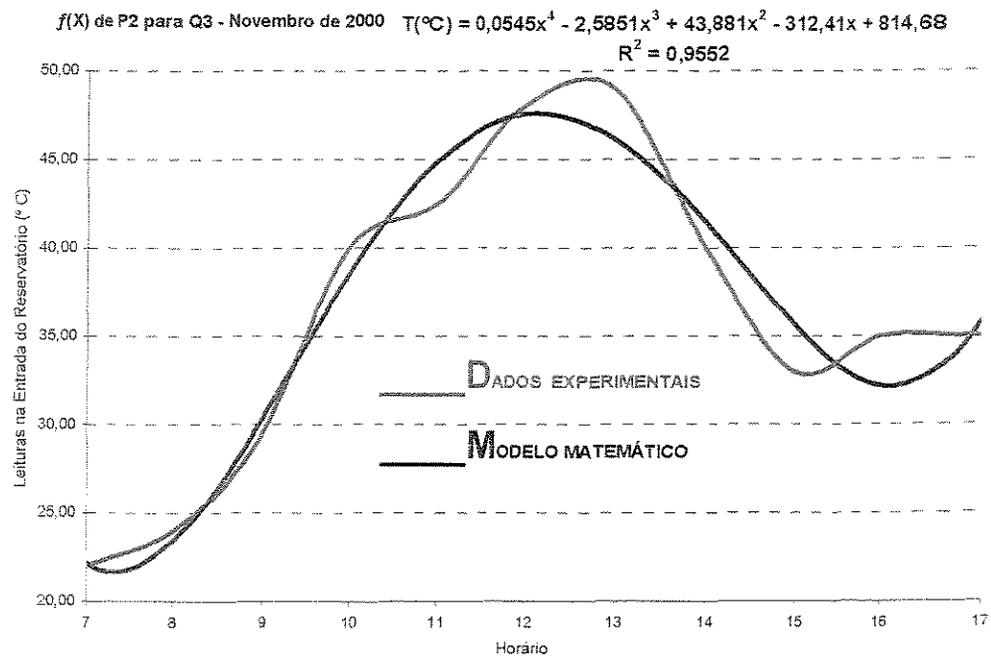


Gráfico N7

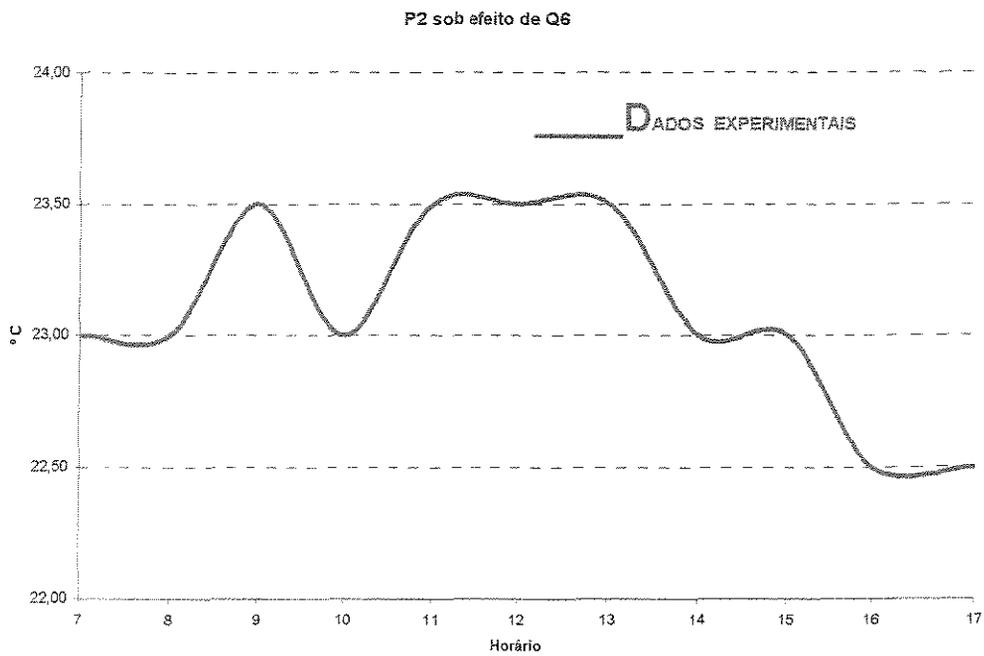


Gráfico N8

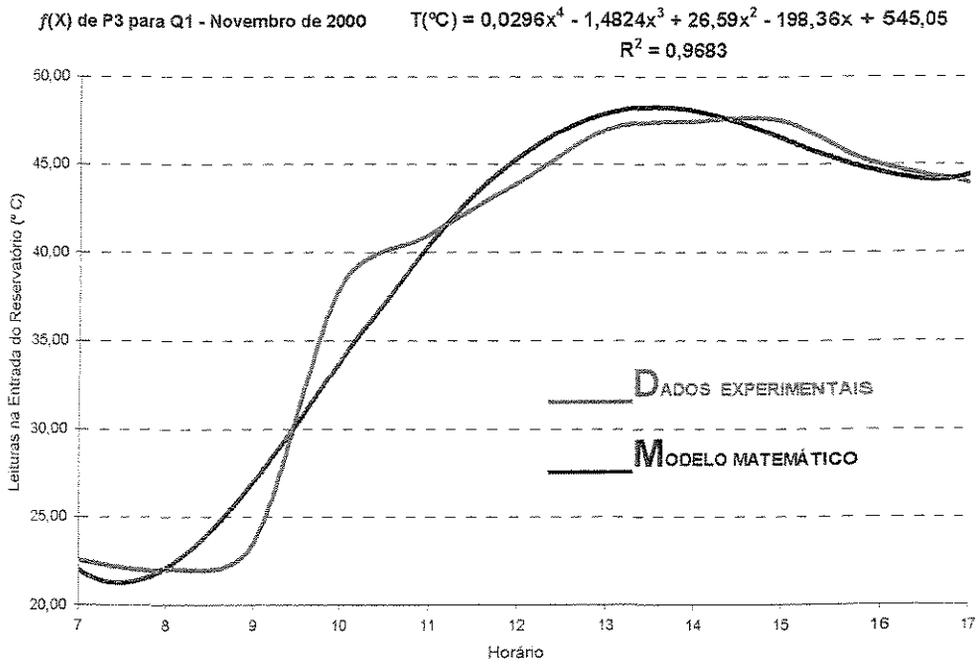


Gráfico N9

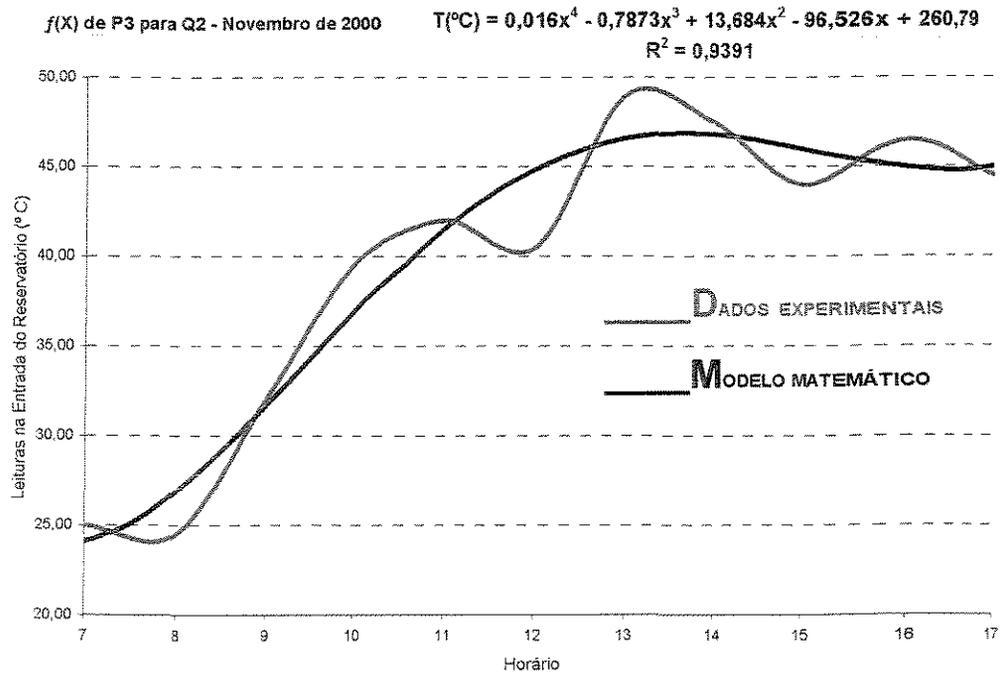


Gráfico N10

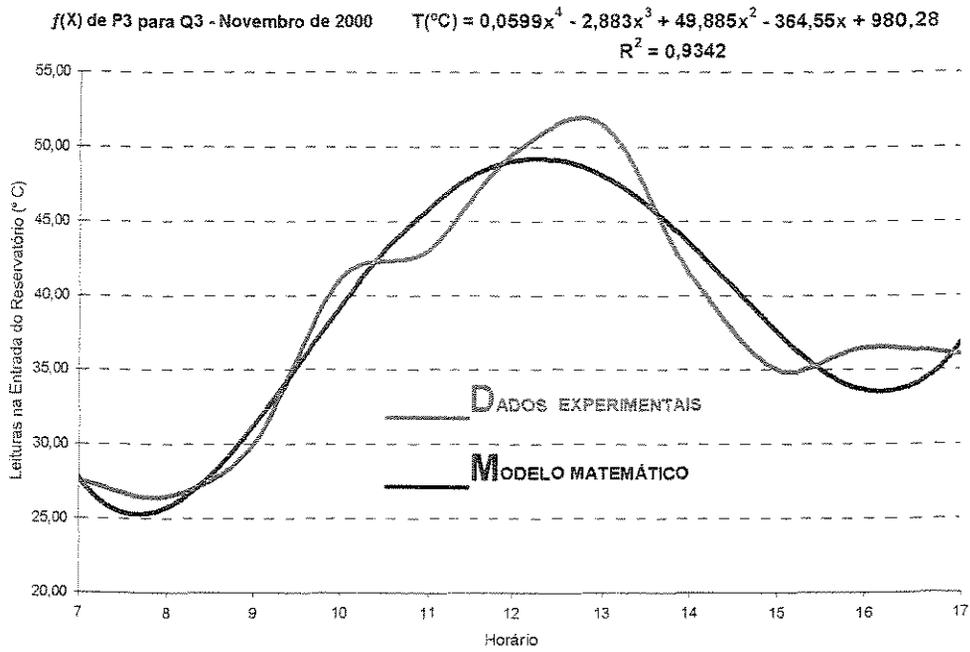


Gráfico N11

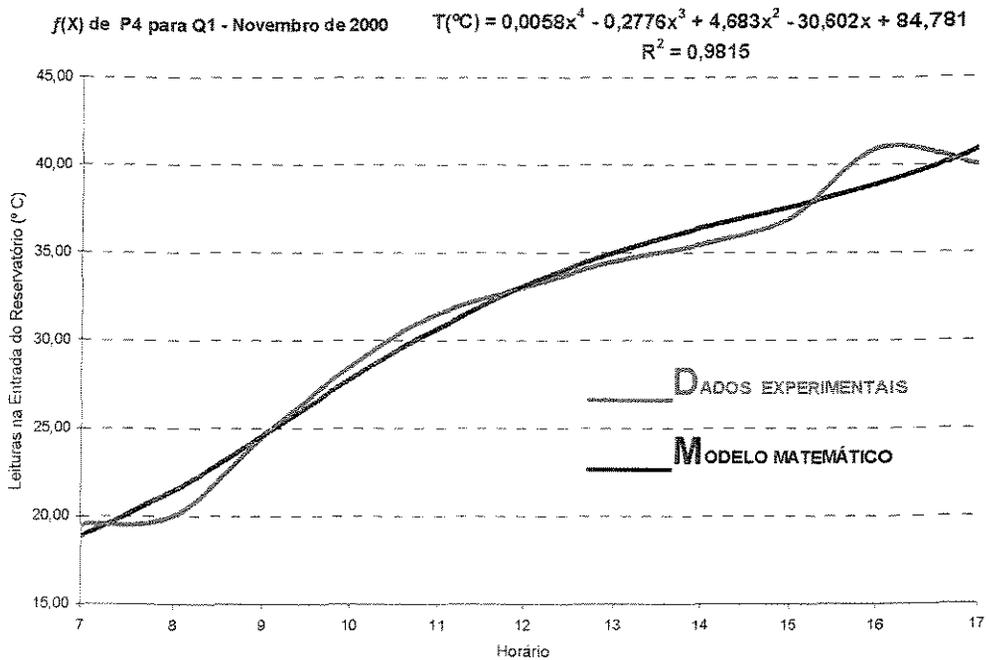


Gráfico N12

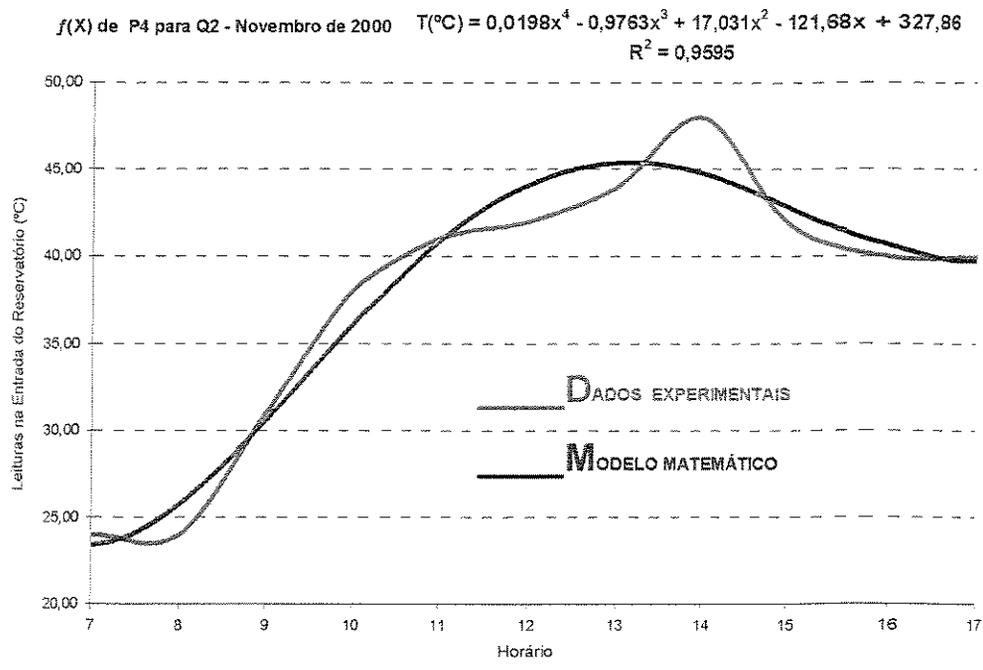


Gráfico N13

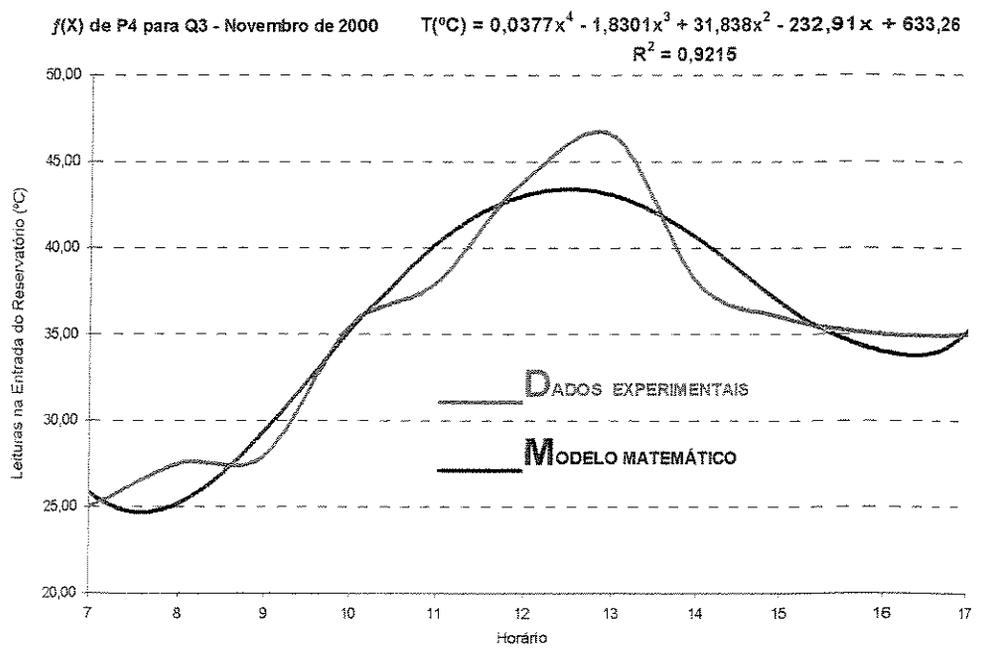


Gráfico N14

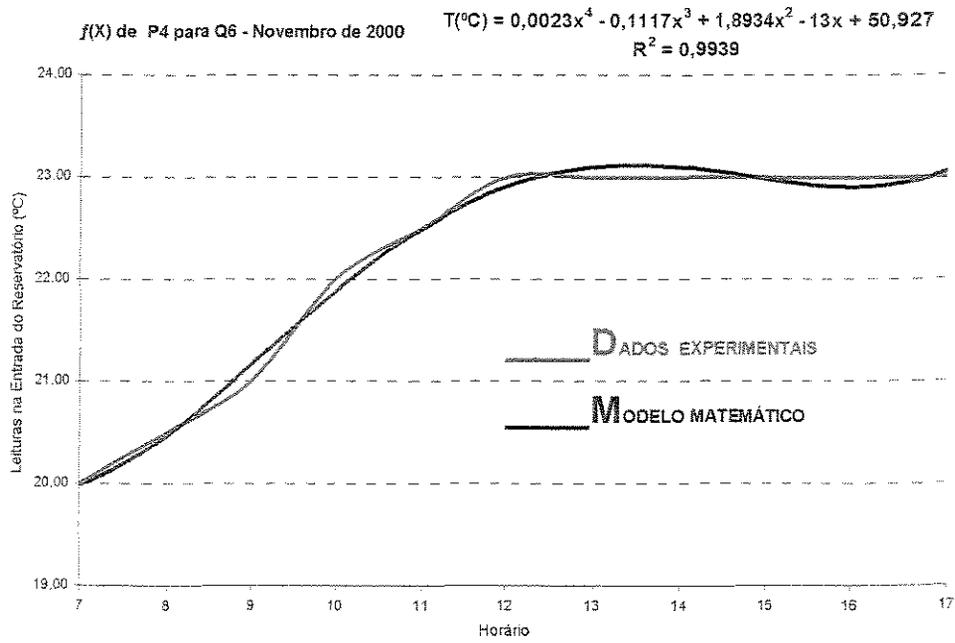


Gráfico N15

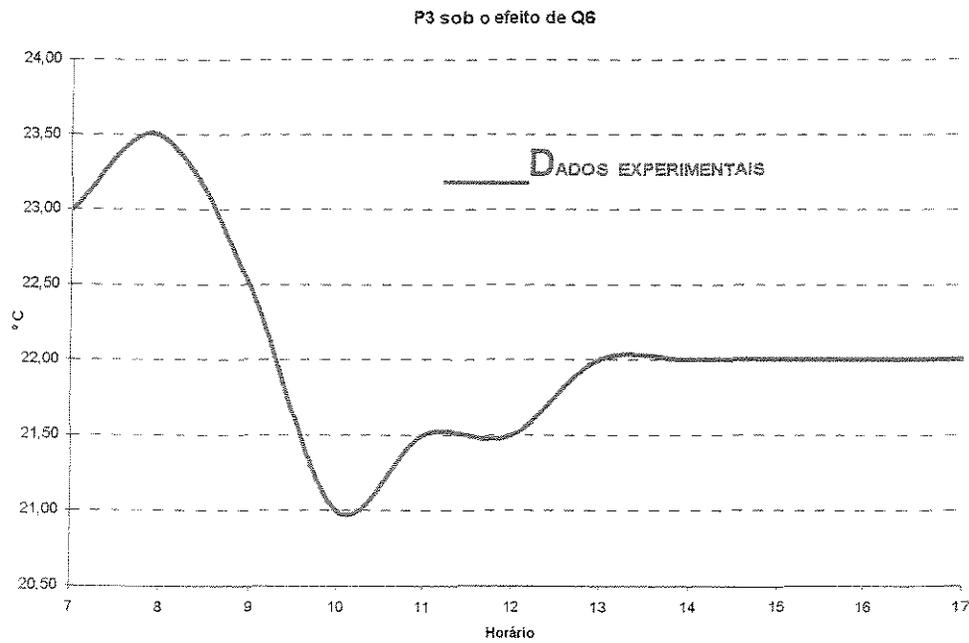


Gráfico N16

$f(X)$  de P5 para Q1 - Novembro de 2000  $T(^{\circ}\text{C}) = 0,0015x^4 - 0,1206x^3 + 2,8564x^2 - 23,208x + 84,8$   
 $R^2 = 0,9918$

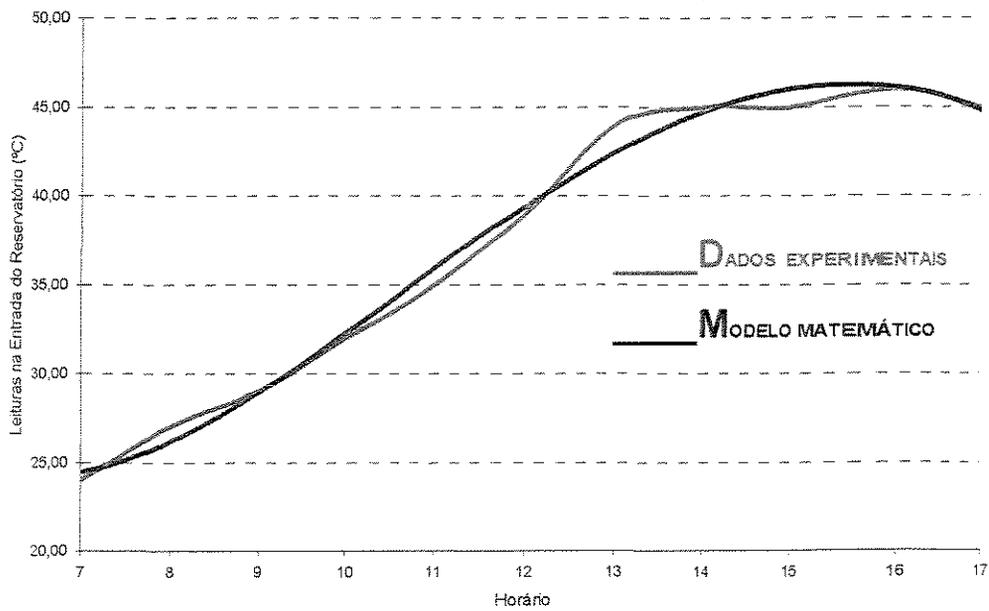


Gráfico N17

$f(X)$  de P5 para Q2 - Novembro de 2000  $T(^{\circ}\text{C}) = 0,0156x^4 - 0,7427x^3 + 12,394x^2 - 82,383x + 208,81$   
 $R^2 = 0,9637$

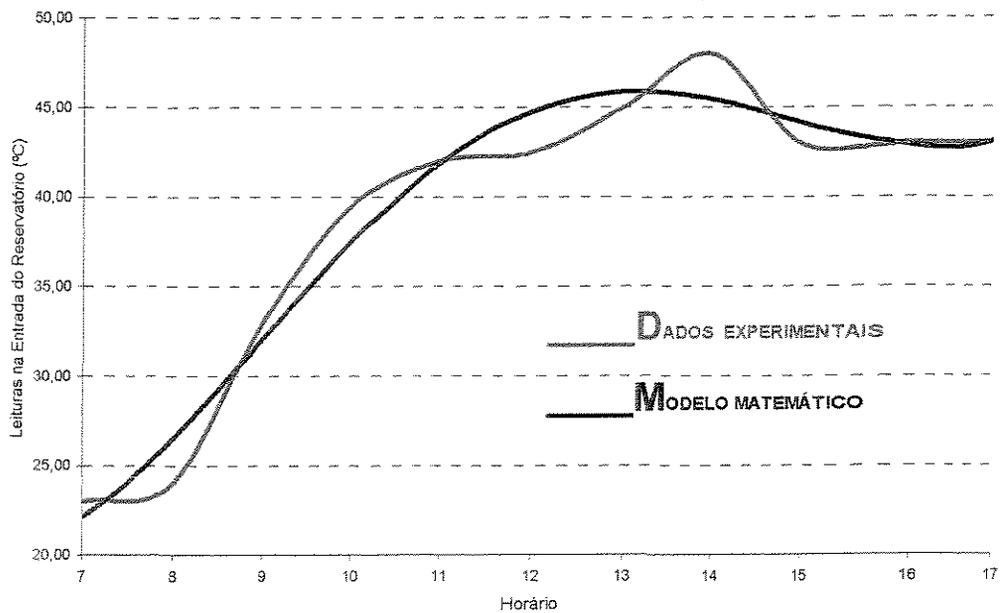


Gráfico N18

f(X) de P5 para Q3 - Novembro de 2000

$$T(^{\circ}\text{C}) = 0,0216x^4 - 1,1247x^3 + 20,959x^2 - 162,81x + 469,35$$
$$R^2 = 0,9043$$

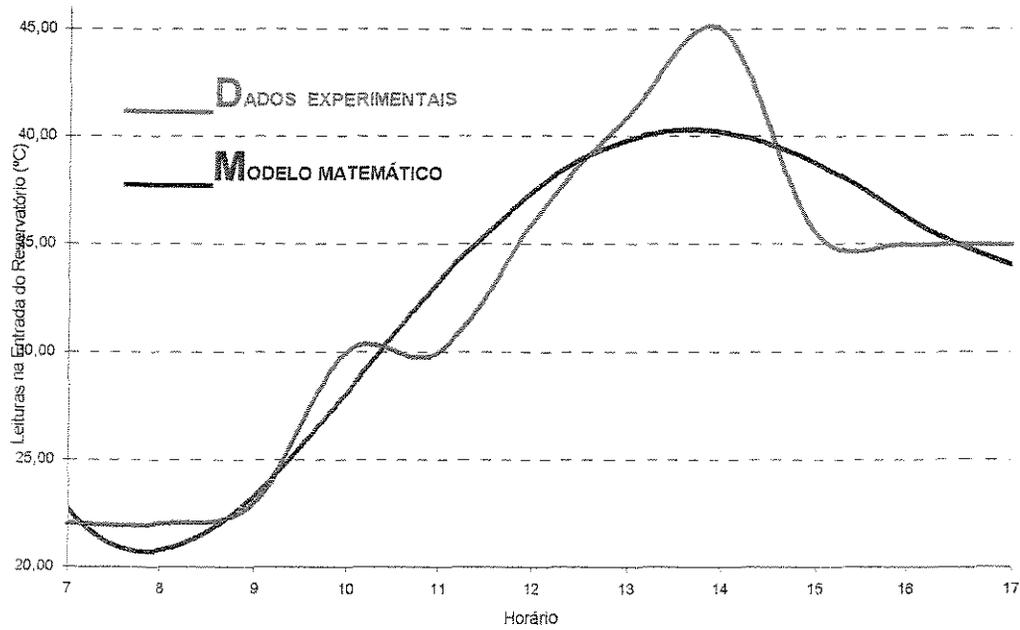


Gráfico N19

P5 sob efeito de Q6 - Novembro de 2000

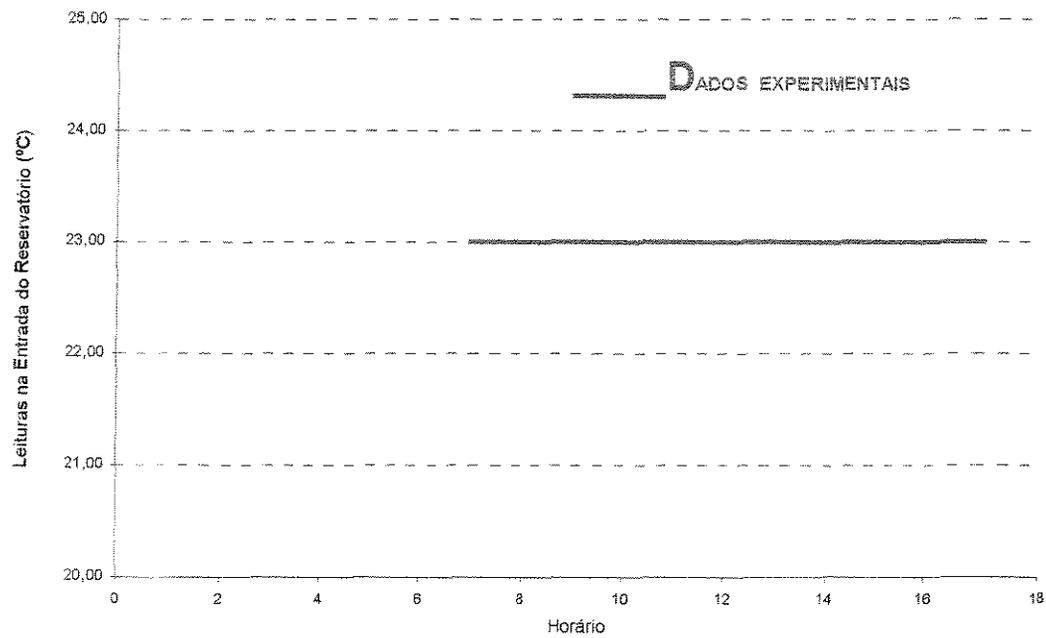


Gráfico N20

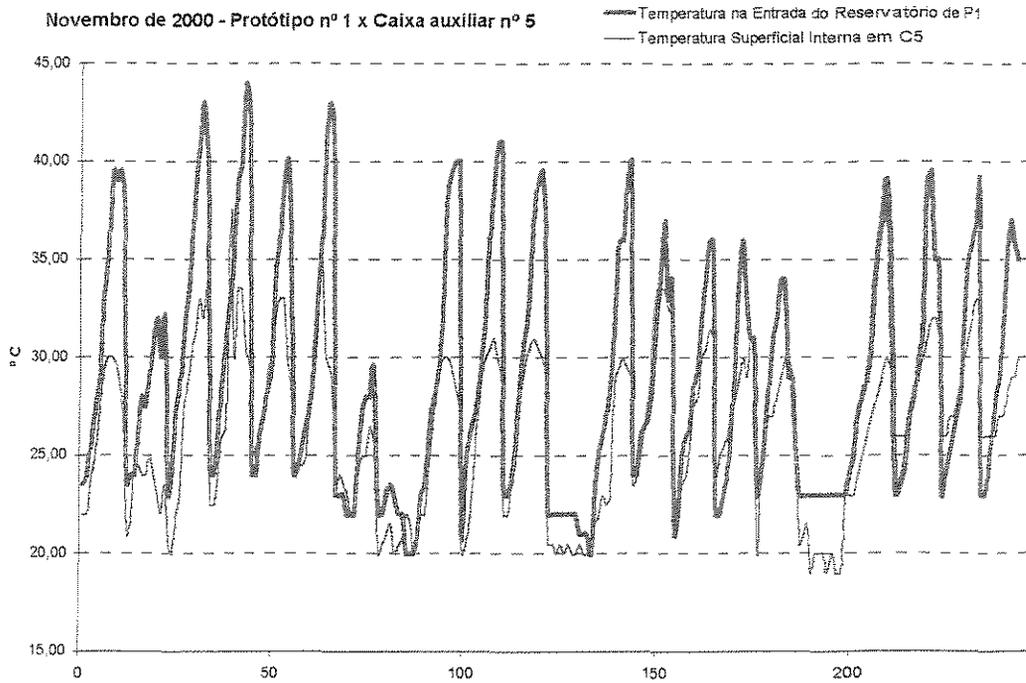


Gráfico N21

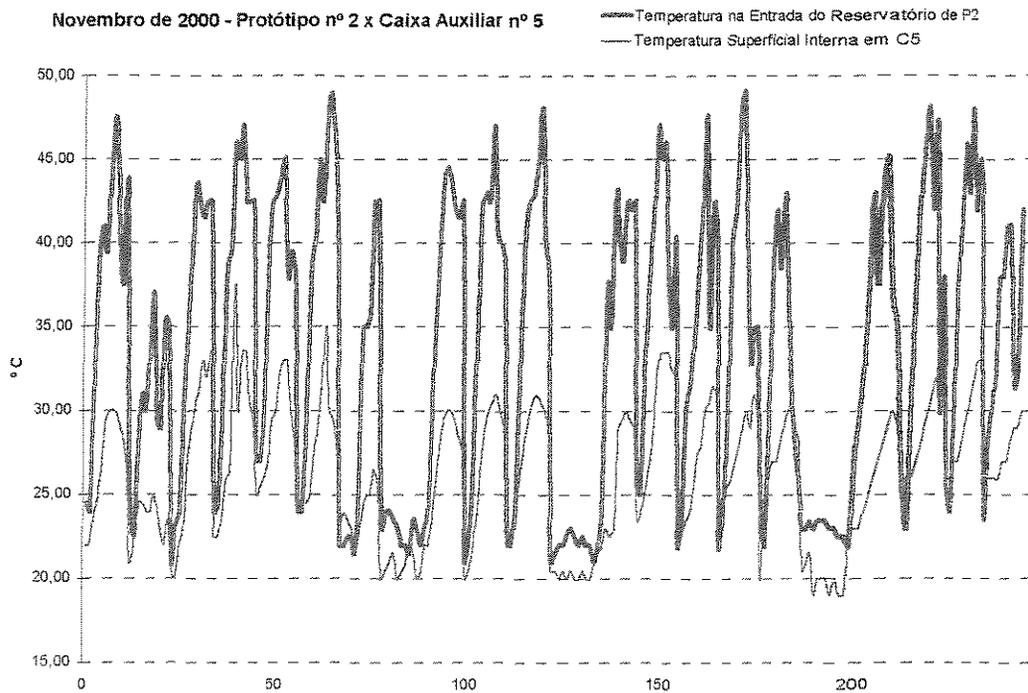


Gráfico N22

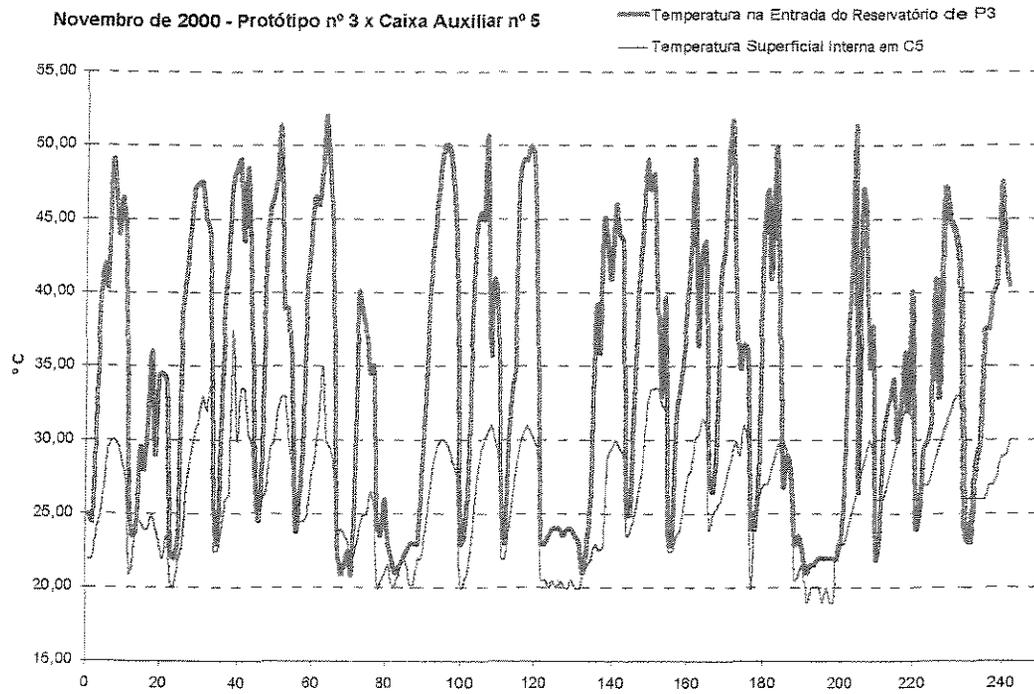


Gráfico N23

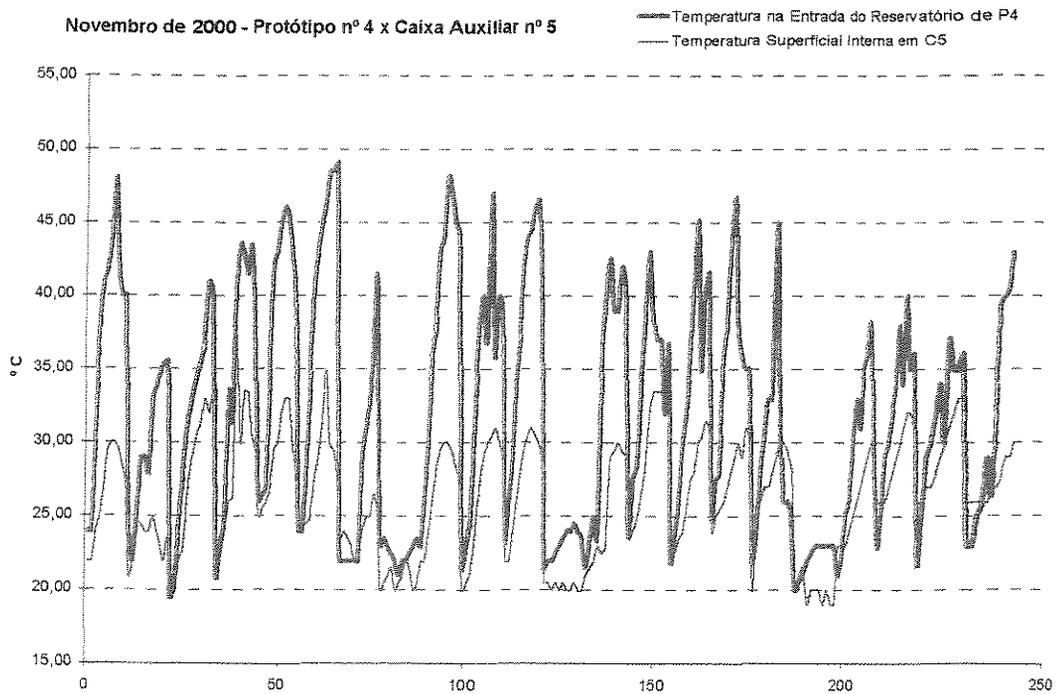


Gráfico N24

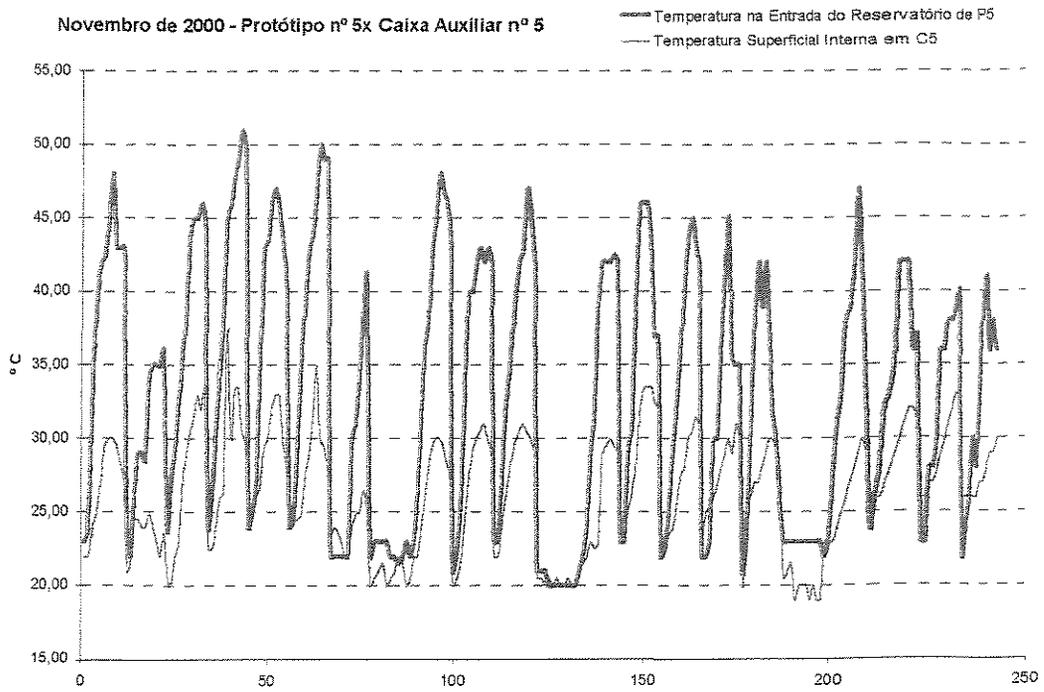


Gráfico N25

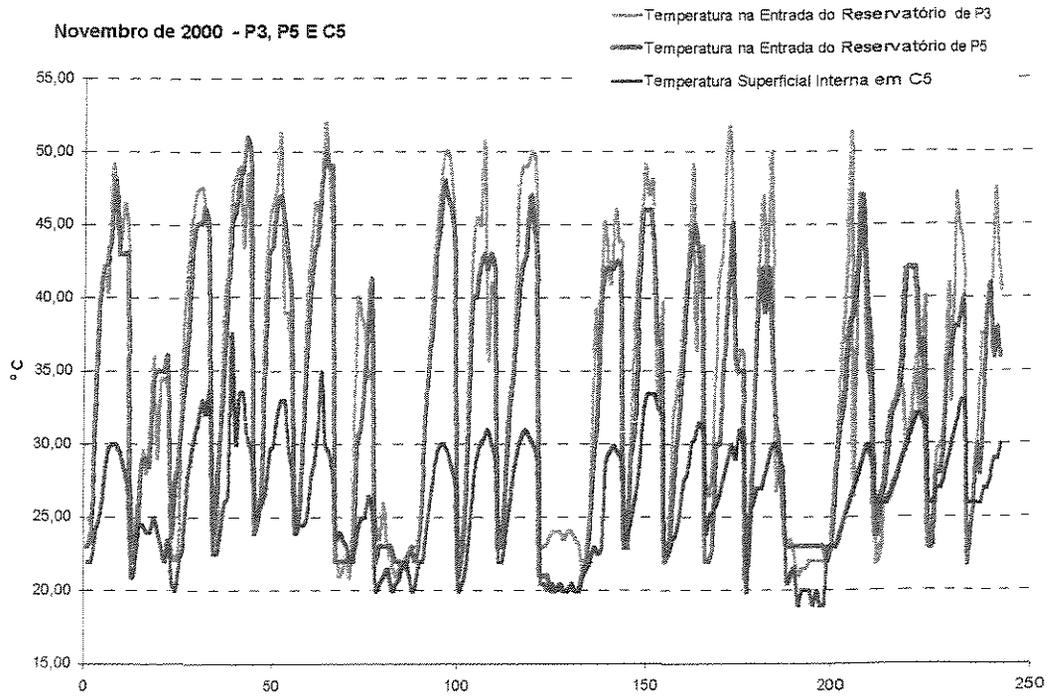


Gráfico N26

## ANEXO H - Gráficos Estatísticos do mês de Dezembro de 2000

Terminologia:

$f(x)$  = Modelo matemático;

P1 = Protótipo 1;

P2 = Protótipo 2;

P3 = Protótipo 3;

P4 = Protótipo 4;

P5 = Protótipo 5;

C5 = Caixa auxiliar nº 5;

Q1 = Qualidade horária de sol sem nuvens;

Q2 = Qualidade horária de sol e nuvens brancas;

Q3 = Qualidade horária de nublado e quente;

Q4 = Qualidade horária de tempo fechado para chuva; .....

Q5 = Qualidade horária de início de chuva;

Q6 = Qualidade horária de chuva ;

T = Temperatura em °C

$R^2$  = Coeficiente de correlação;

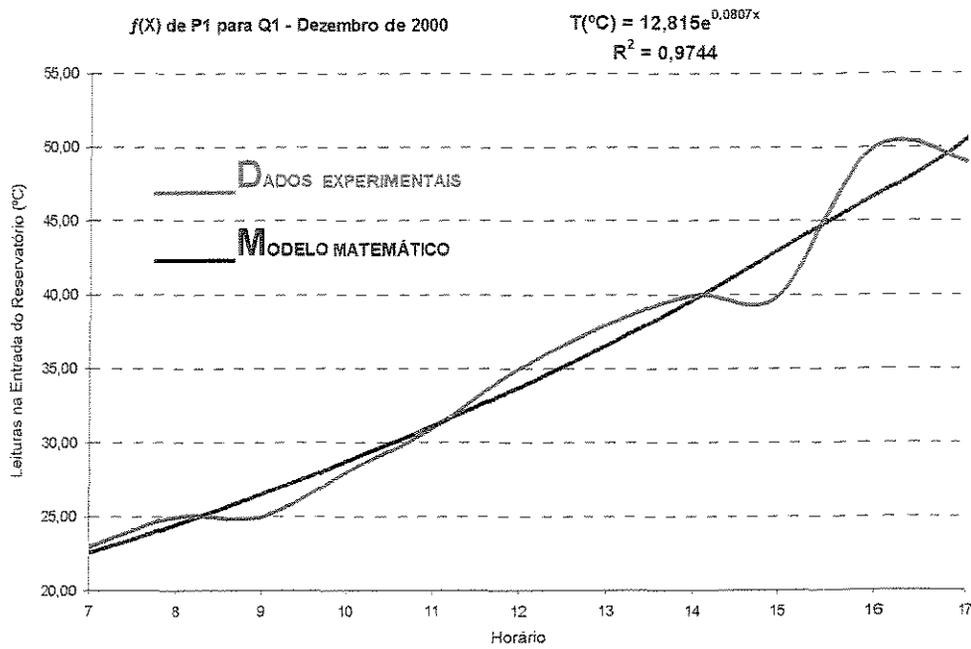


Gráfico D1

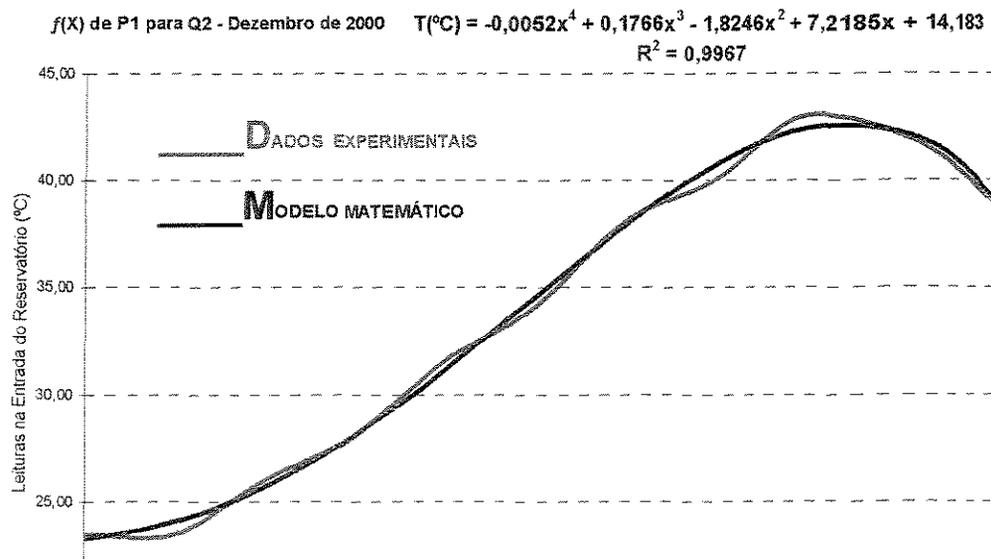


Gráfico D2

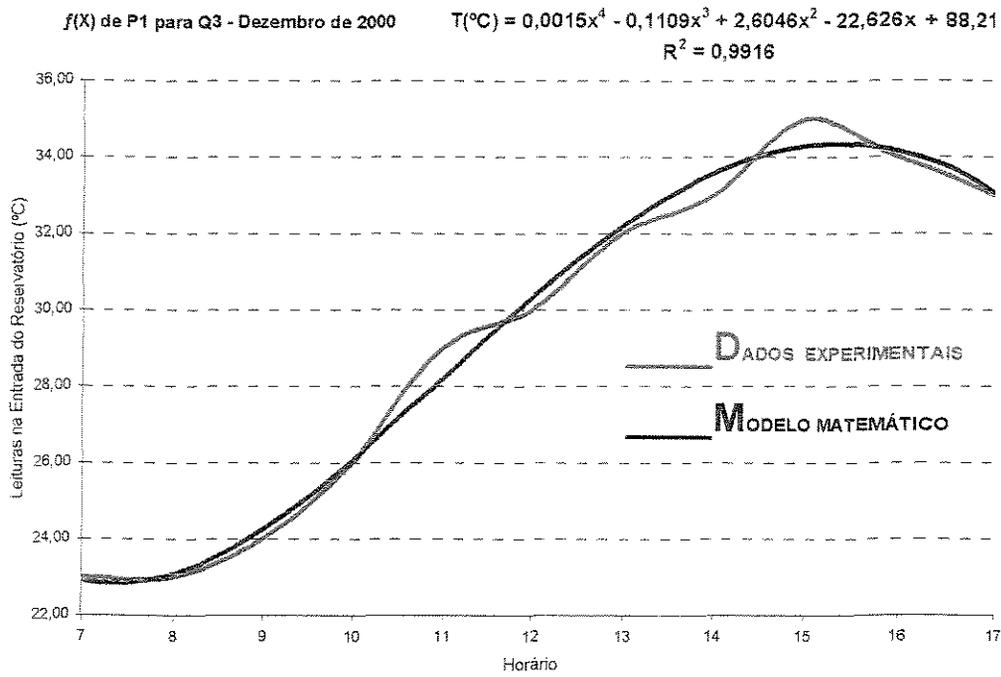


Gráfico D3

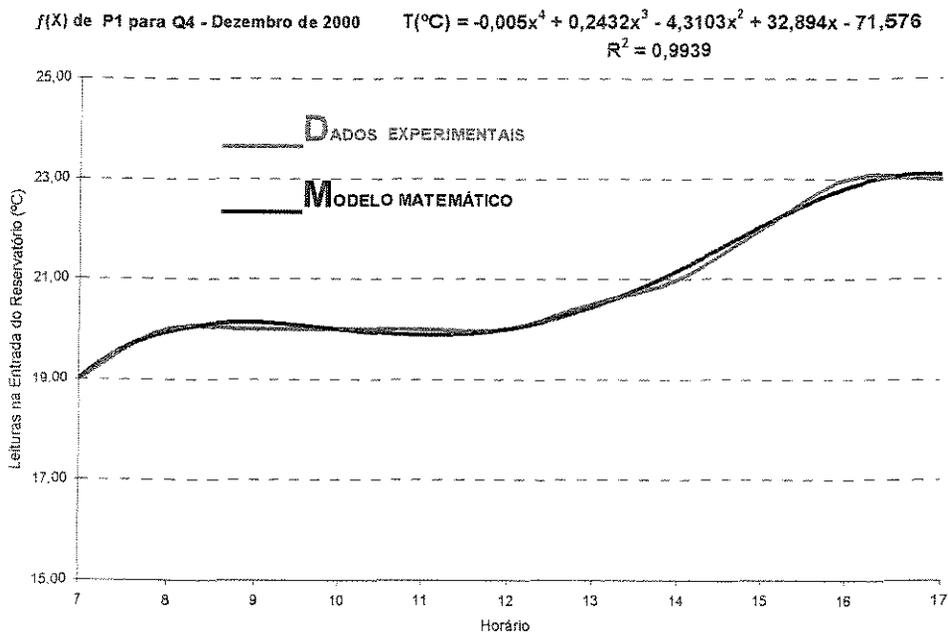


Gráfico D4

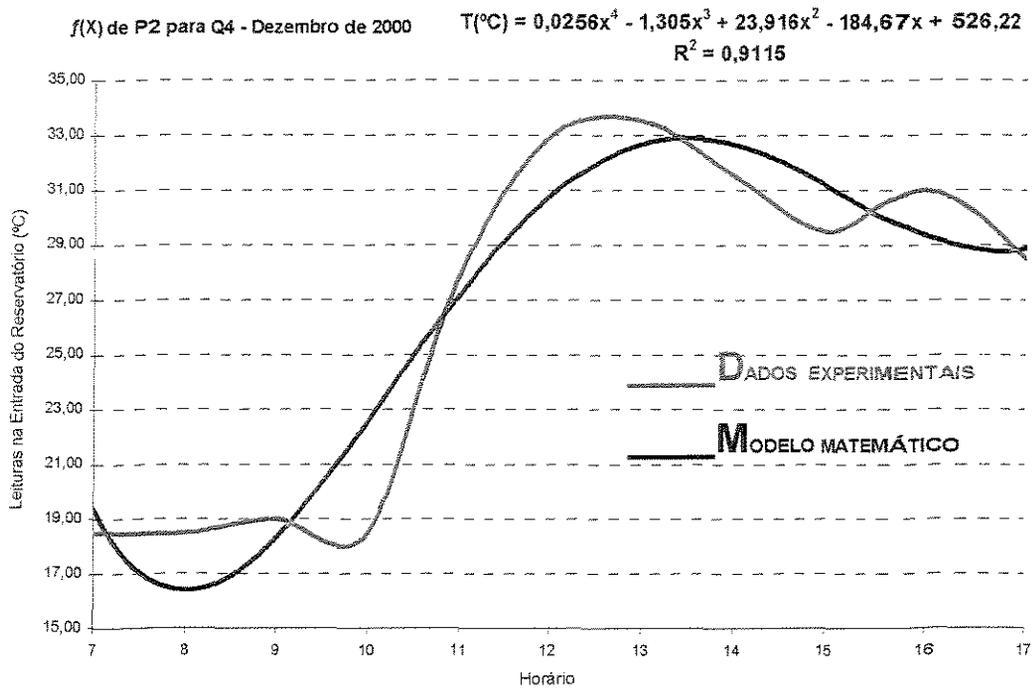


Gráfico D5

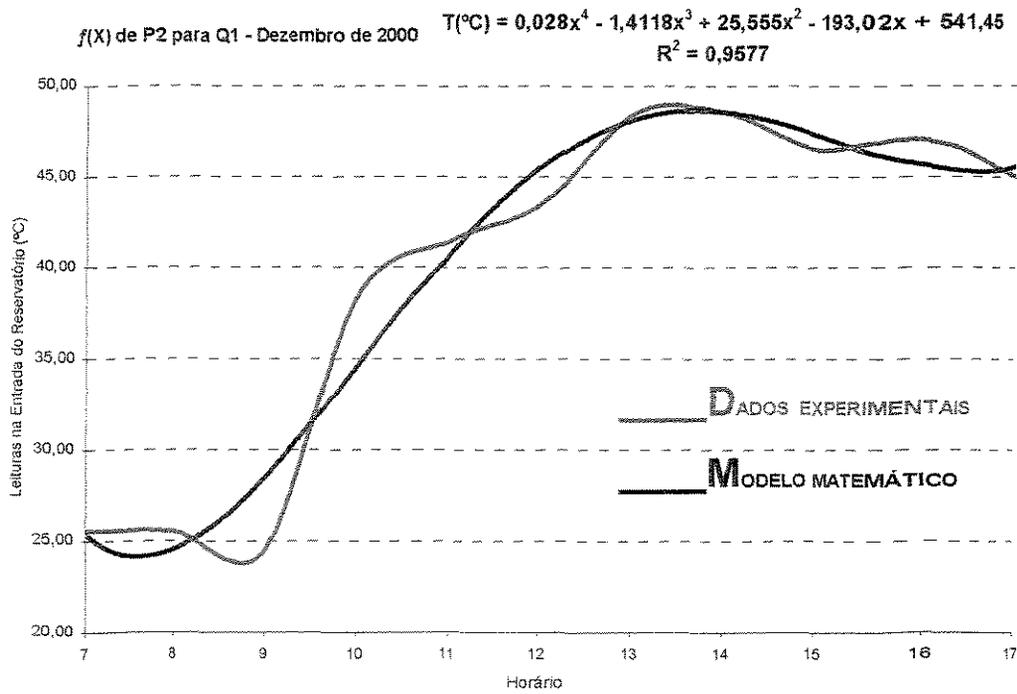


Gráfico D6

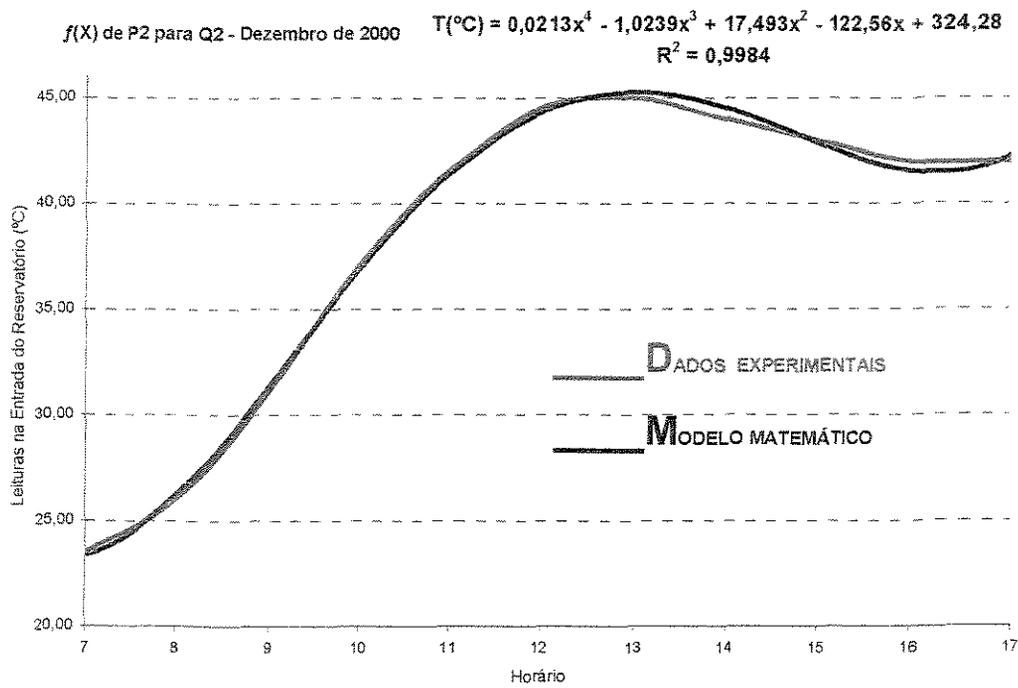


Gráfico D7

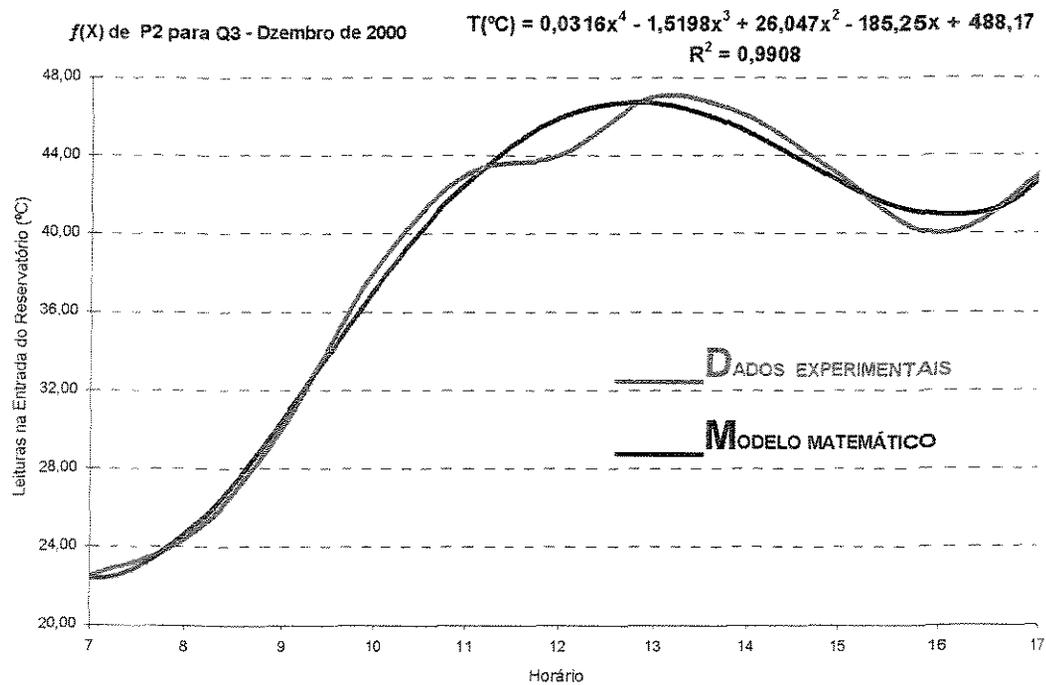


Gráfico D8

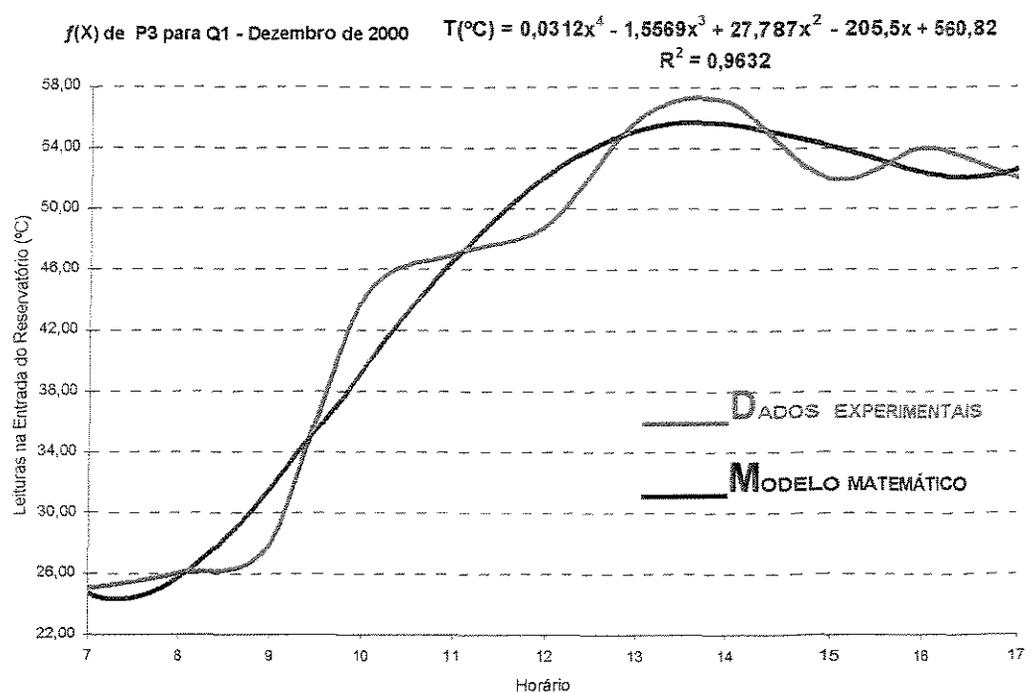


Gráfico D9

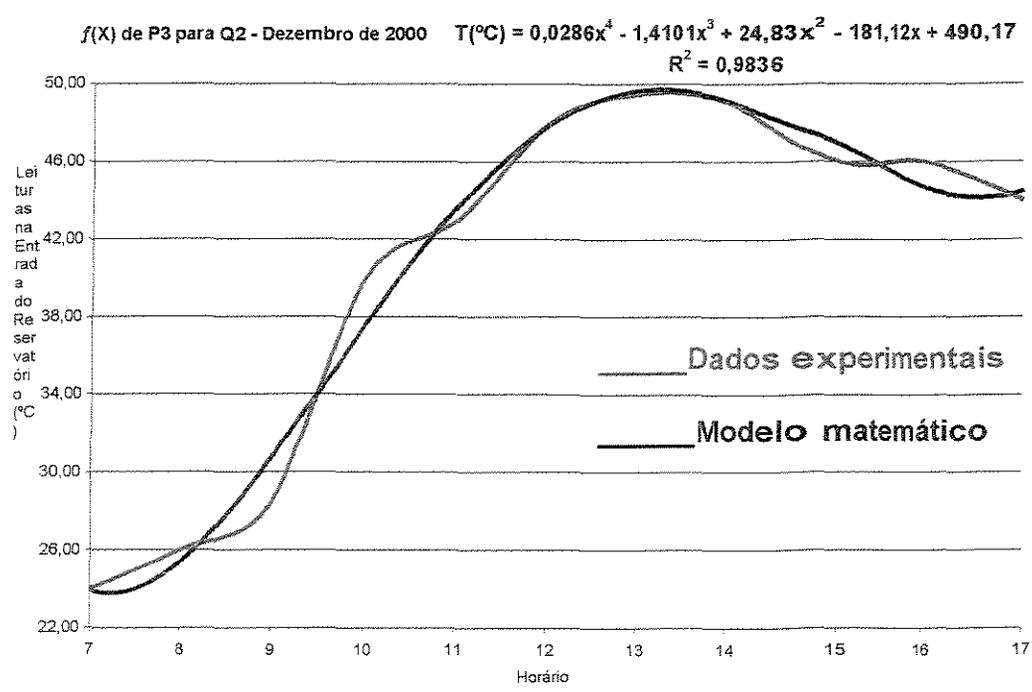


Gráfico D10

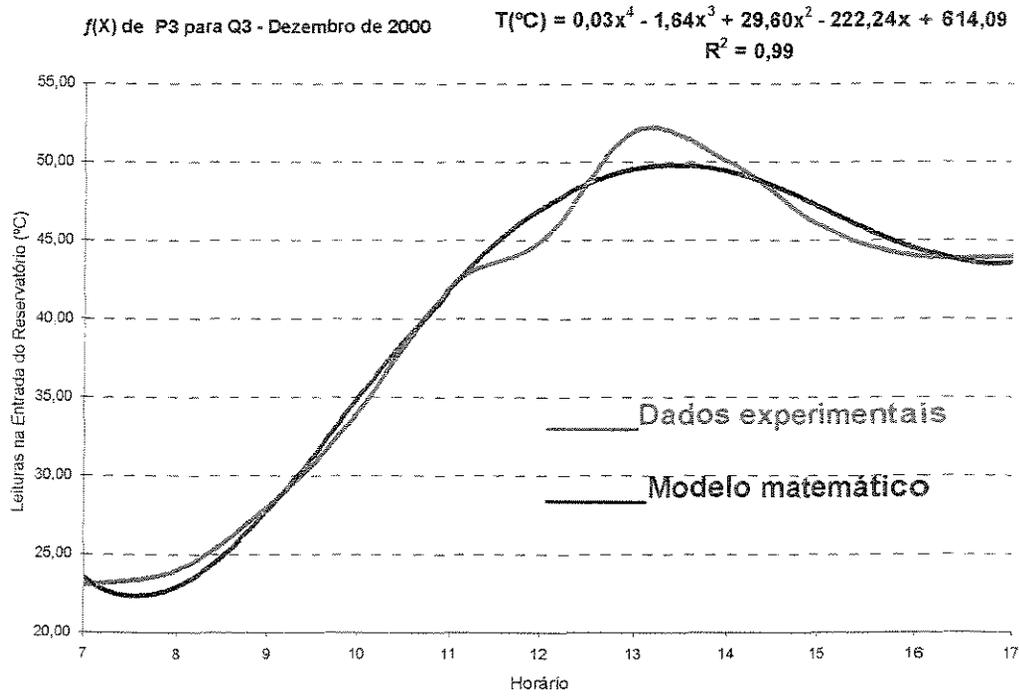


Gráfico D11

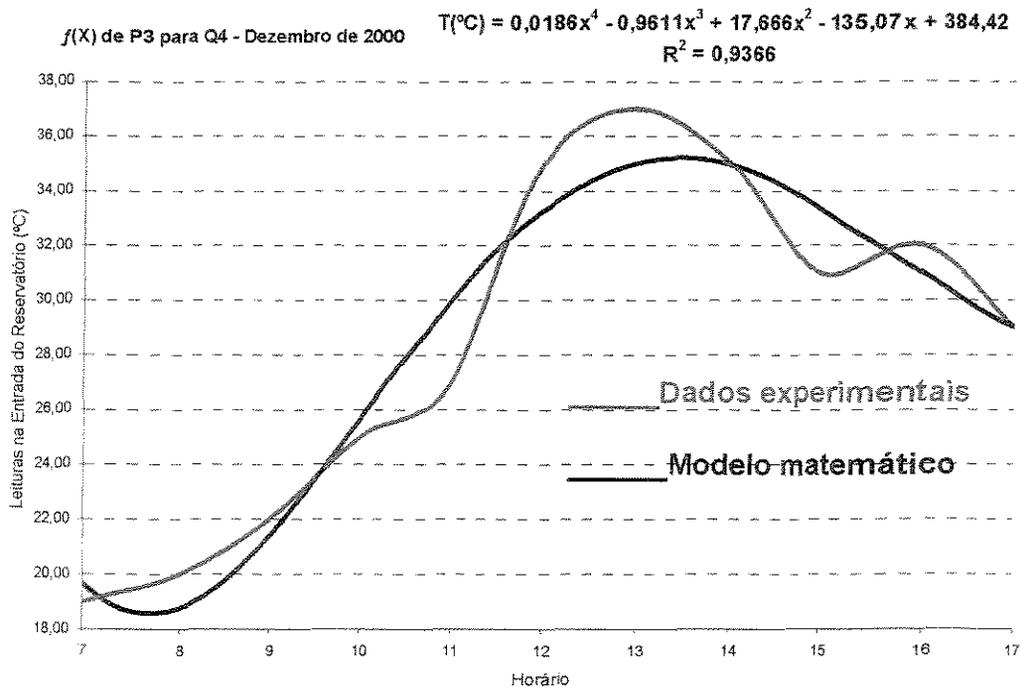


Gráfico D12

$f(X)$  de P4 para Q1 - Dezembro de 2000  $T(^{\circ}\text{C}) = -0,0041x^4 + 0,1257x^3 - 0,9767x^2 + 0,7863x + 34,022$   
 $R^2 = 0,9728$

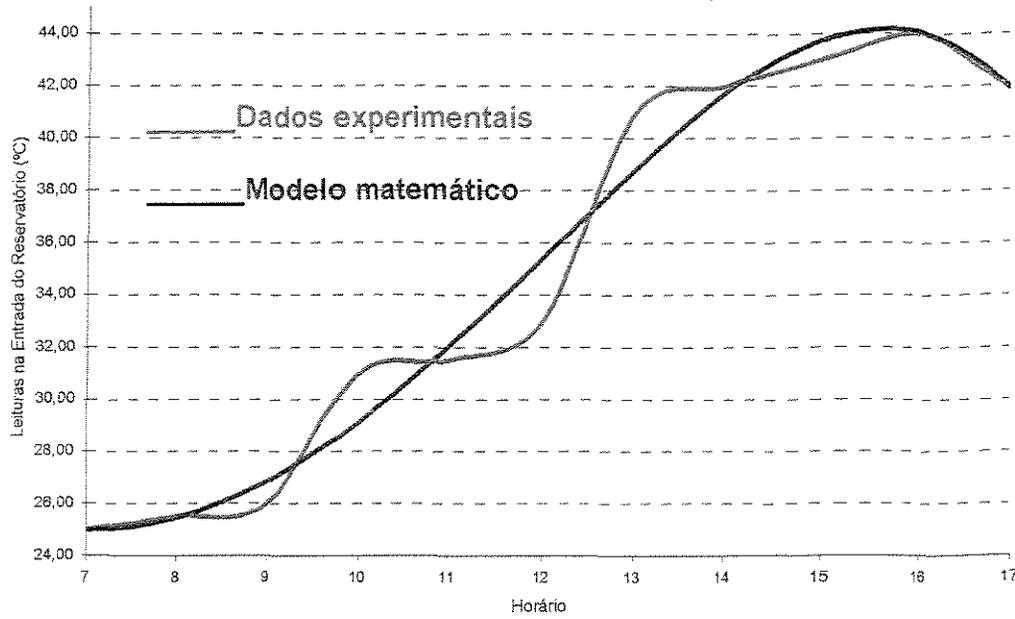


Gráfico D13

$f(X)$  de P4 para Q2 - Dezembro de 2000  $T(^{\circ}\text{C}) = 0,0044x^4 - 0,2803x^3 + 5,8738x^2 - 46,84x + 149,84$   
 $R^2 = 0,9846$

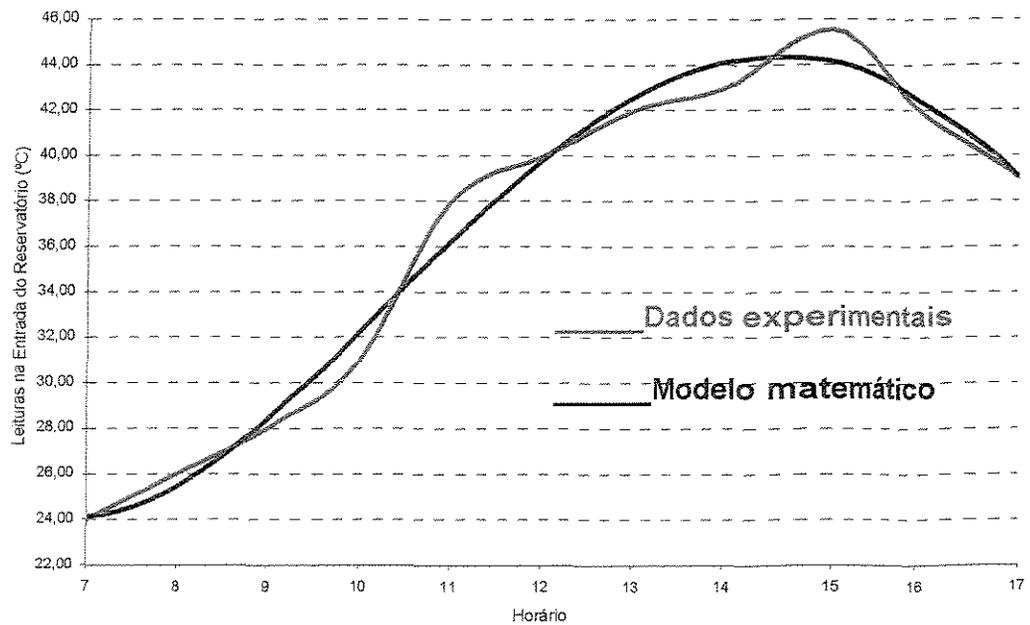


Gráfico D14

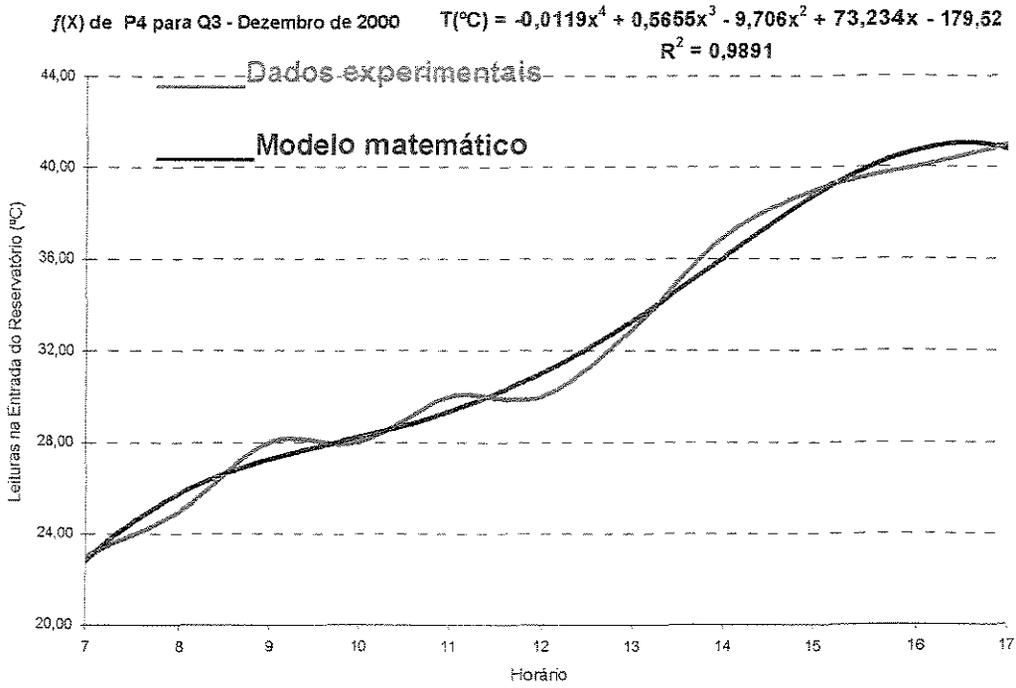


Gráfico D15

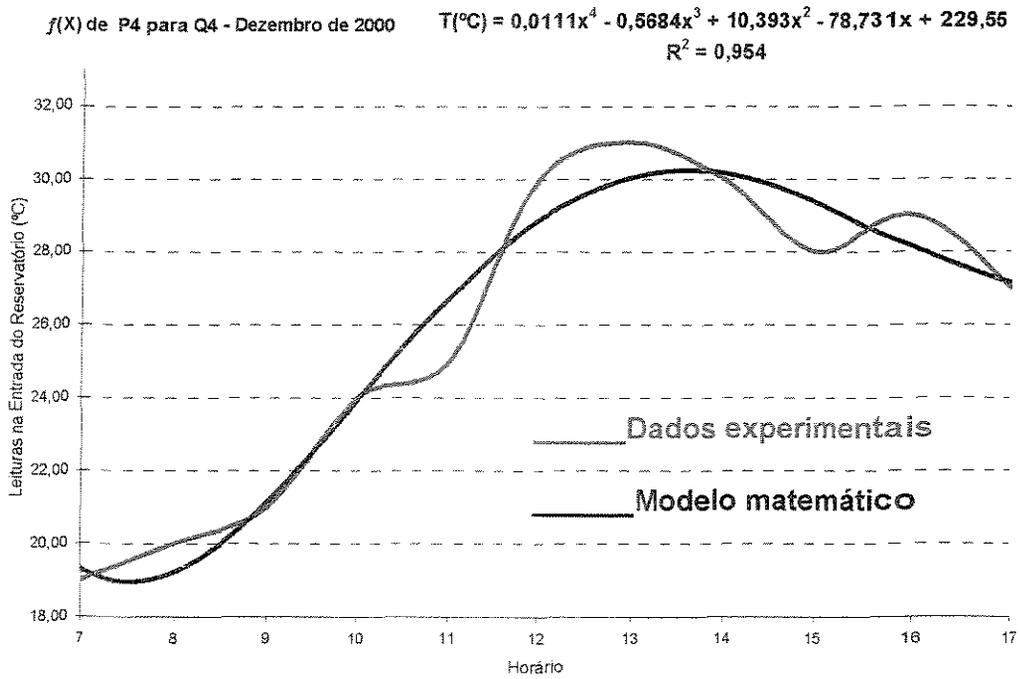


Gráfico D16

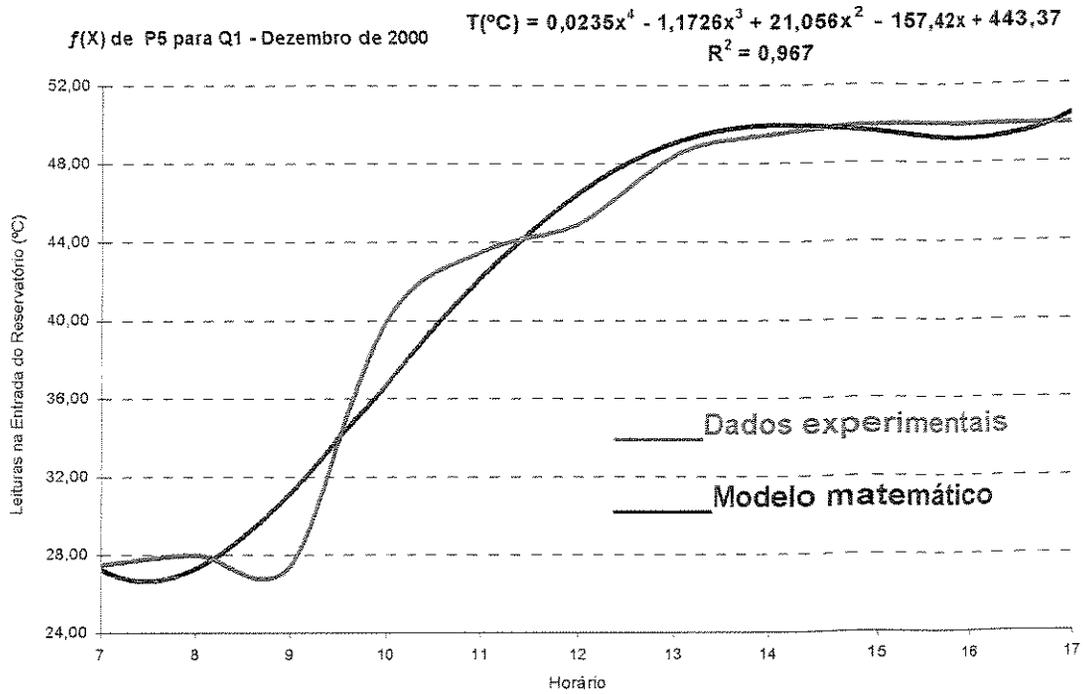


Gráfico D17

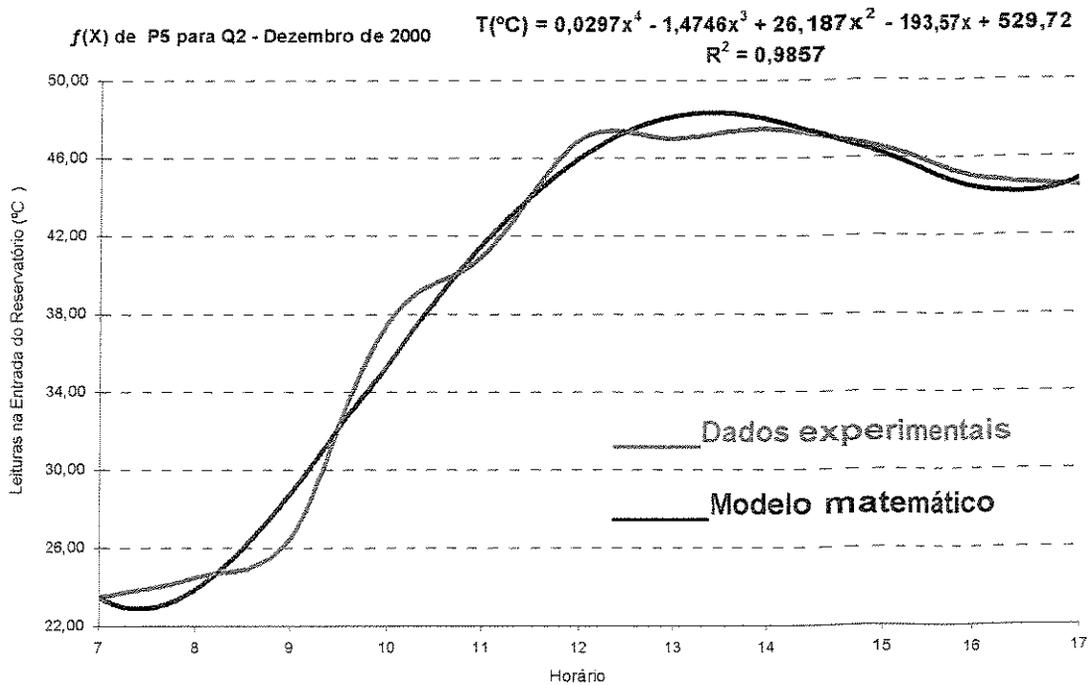


Gráfico D18

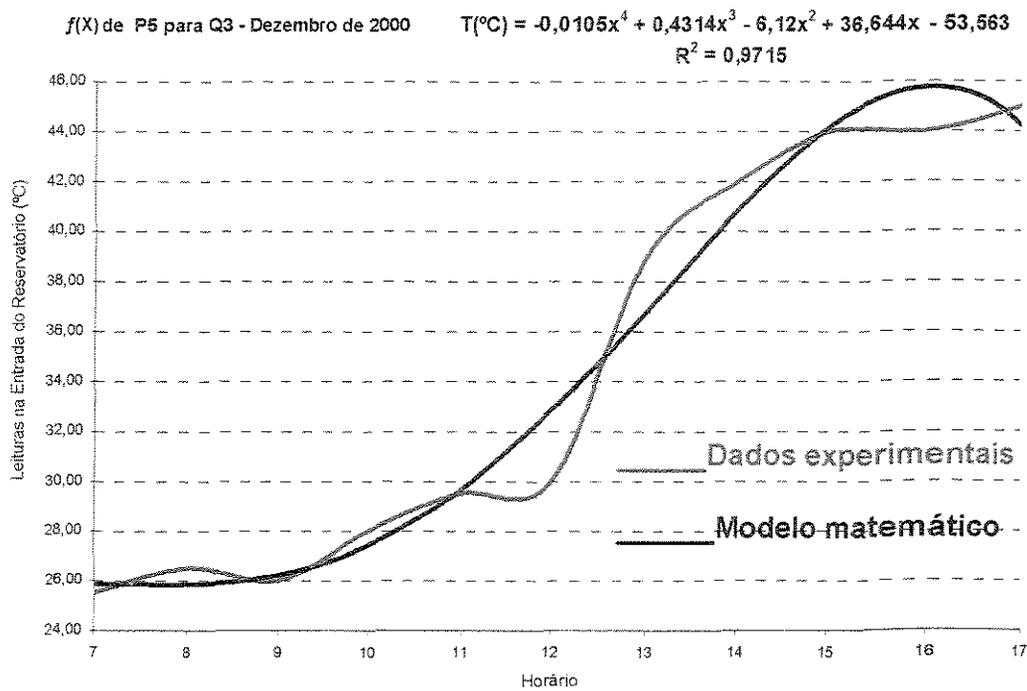


Gráfico D19

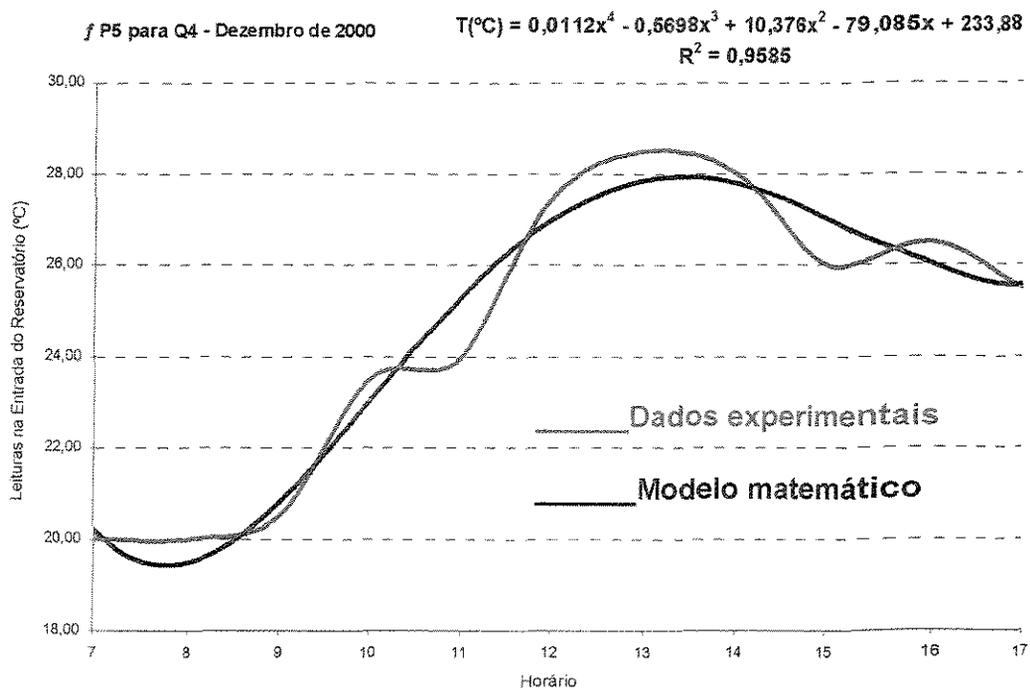


Gráfico D20

Temperatura Interna Superior nos Reservatórios de P3 P5 C5 x Temperatura Ambiente no Sol para Q1 - Dezembro de 2000

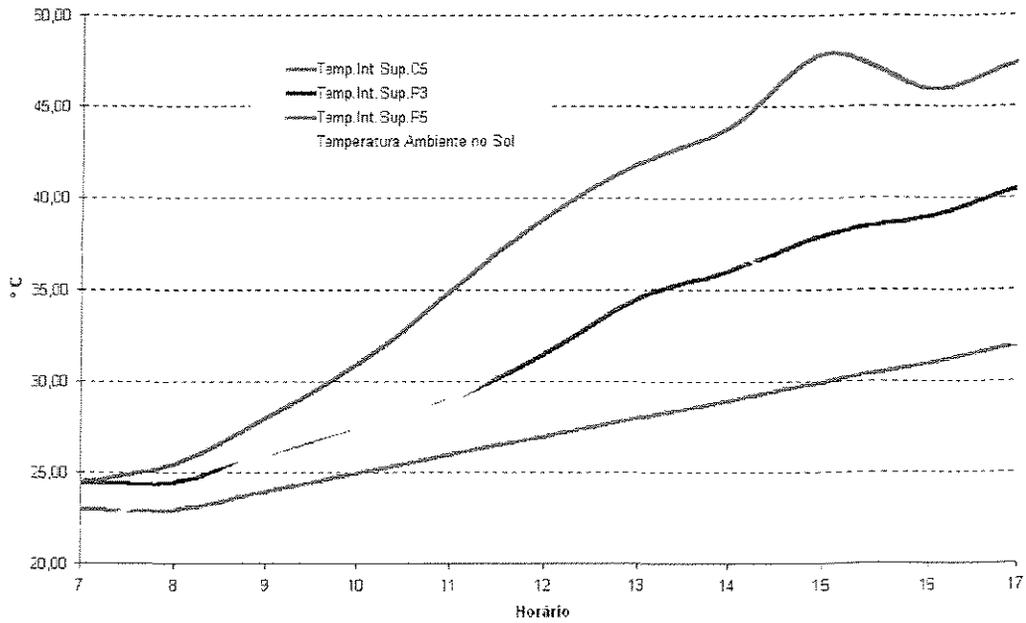


Gráfico D21

Temperatura Interna Superior nos Reservatórios de P3 P5 C5 x Temperatura Ambiente no Sol para Q2 - Dezembro de 2000

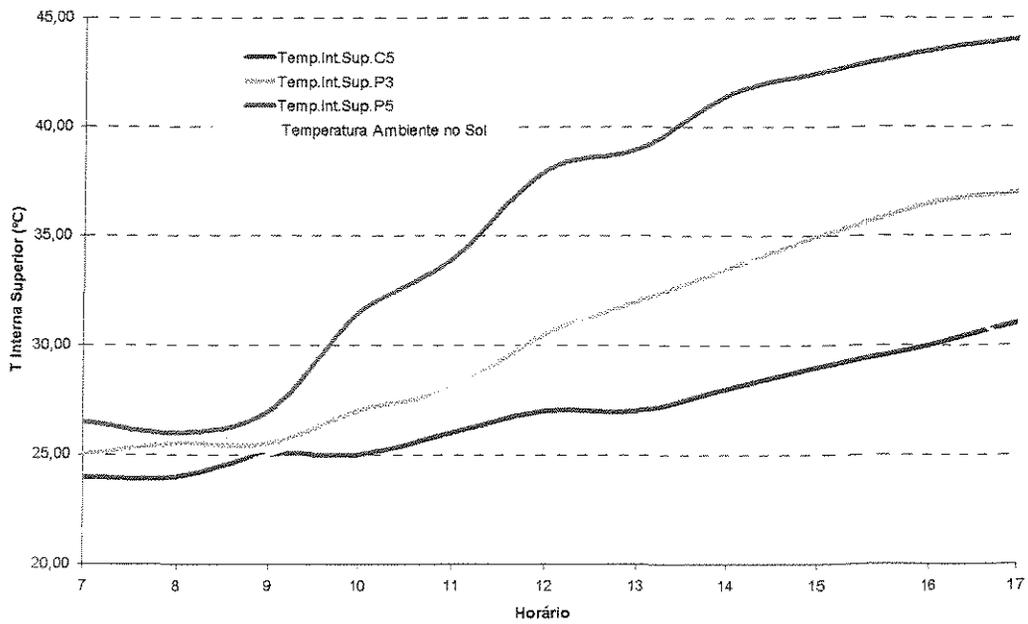


Gráfico D22

Temperatura Interna Superior nos Reservatórios de P3 P5 C5 x Temperatura Ambiente para Q4, Q5 e Q6 - Dezembro de 2000

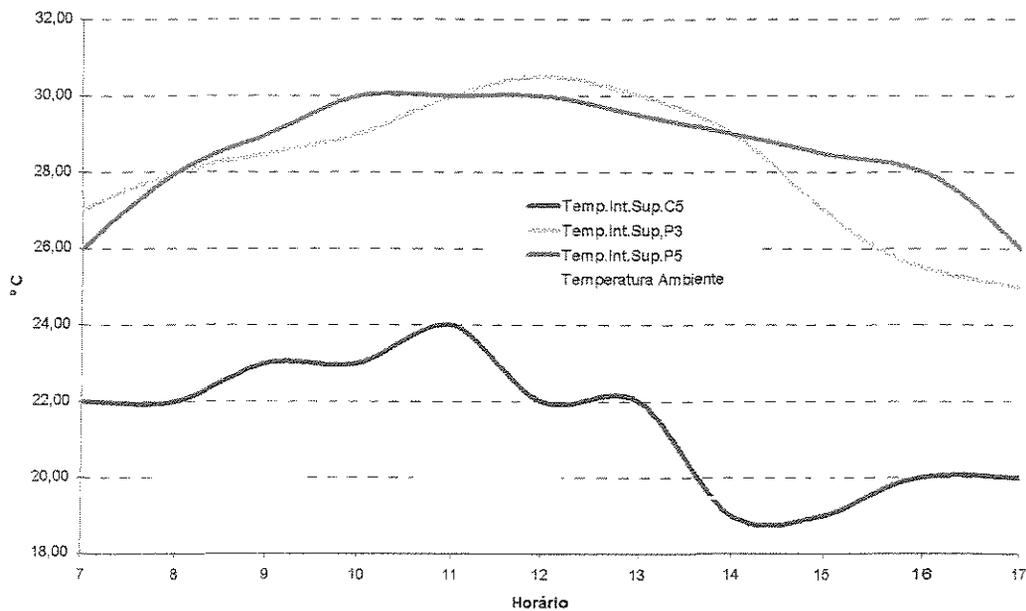


Gráfico D23

Temperatura Interna Inferior nos Reservatórios de P3 P5 C5 x Temperatura Ambiente no Sol para Q1 - Dezembro de 2000

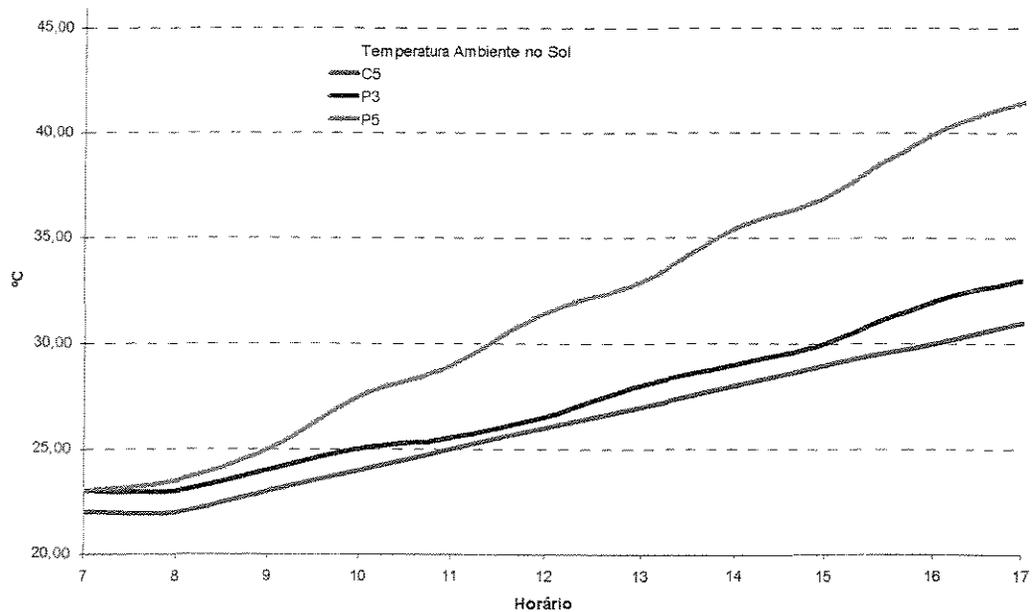


Gráfico D24

Temperatura Interna Inferior nos Reservatórios de P3 P5 C5 x Temperatura Ambiente no Sol para Q2 - Dezembro de 2000

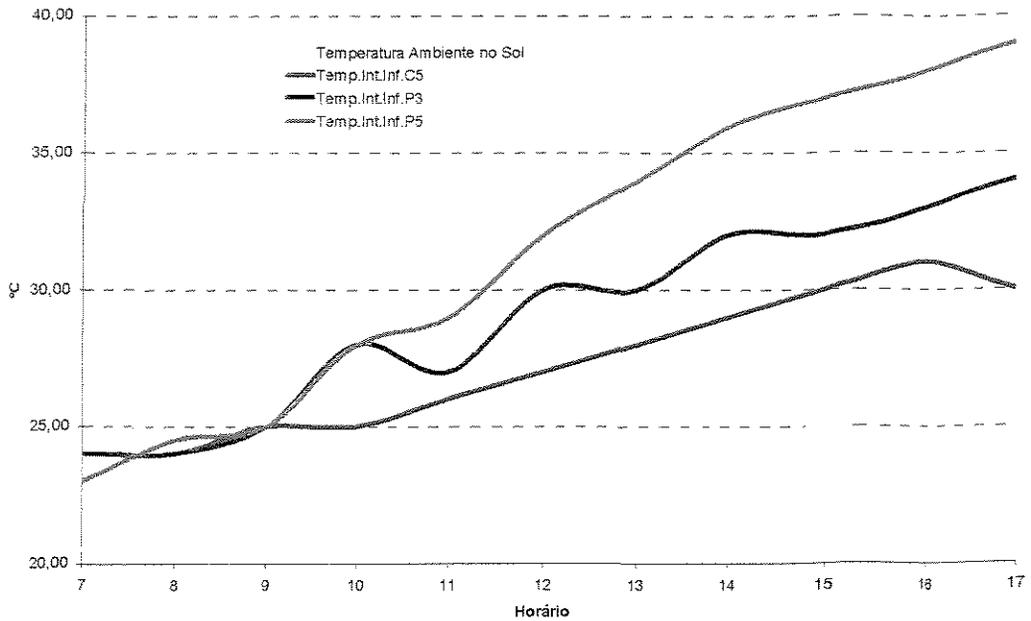


Gráfico D25

Temperatura Interna Inferior dos Reservatórios de P3 P5 C5 x Temperatura Ambiente para Q4 e Q6 - Dezembro de 2000

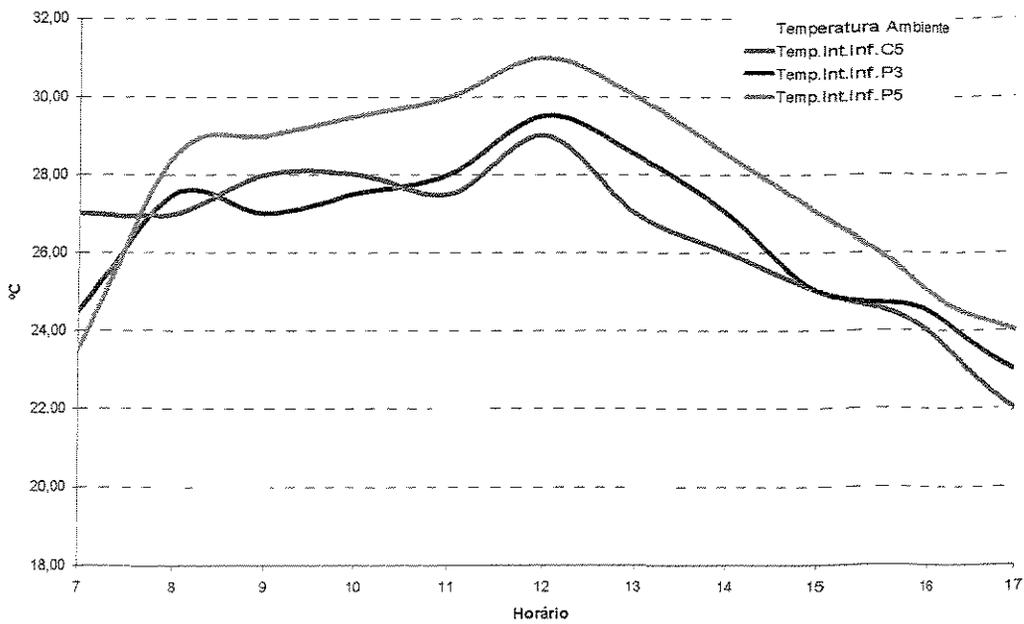


Gráfico D26

Temperatura Interna nos Reservatórios de P3 e P5 para Q1 - Dezembro de 2000

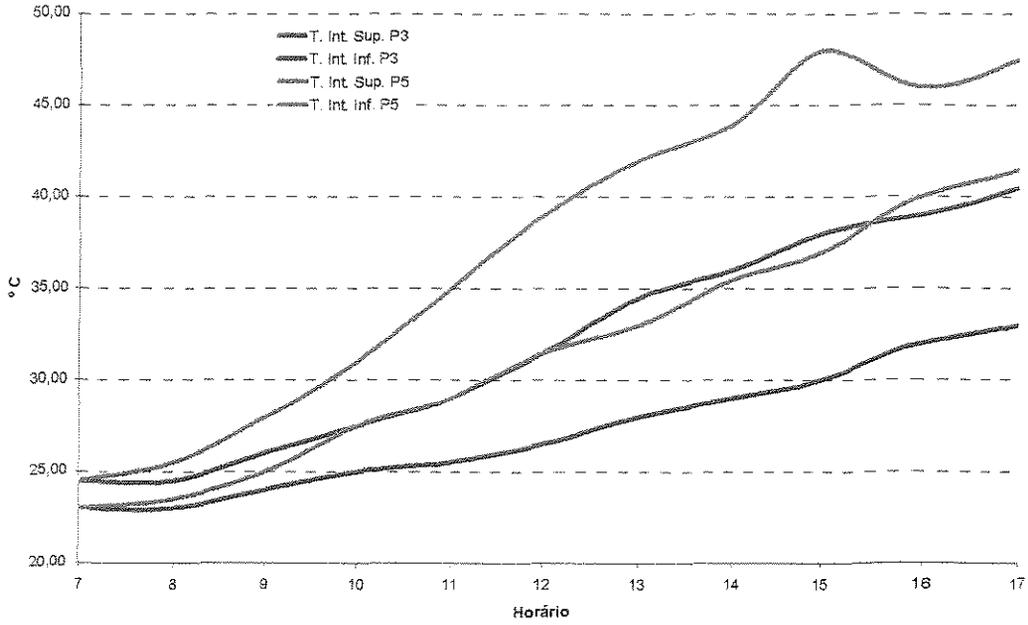


Gráfico D27

Temperatura Interna nos Reservatórios de P3 e P5 - Dezembro de

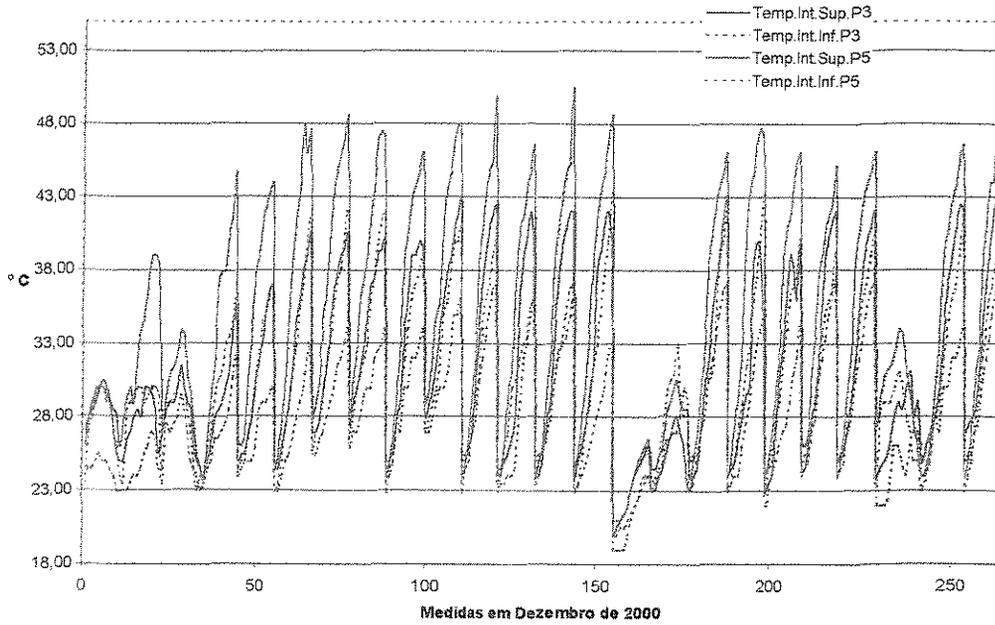


Gráfico D28

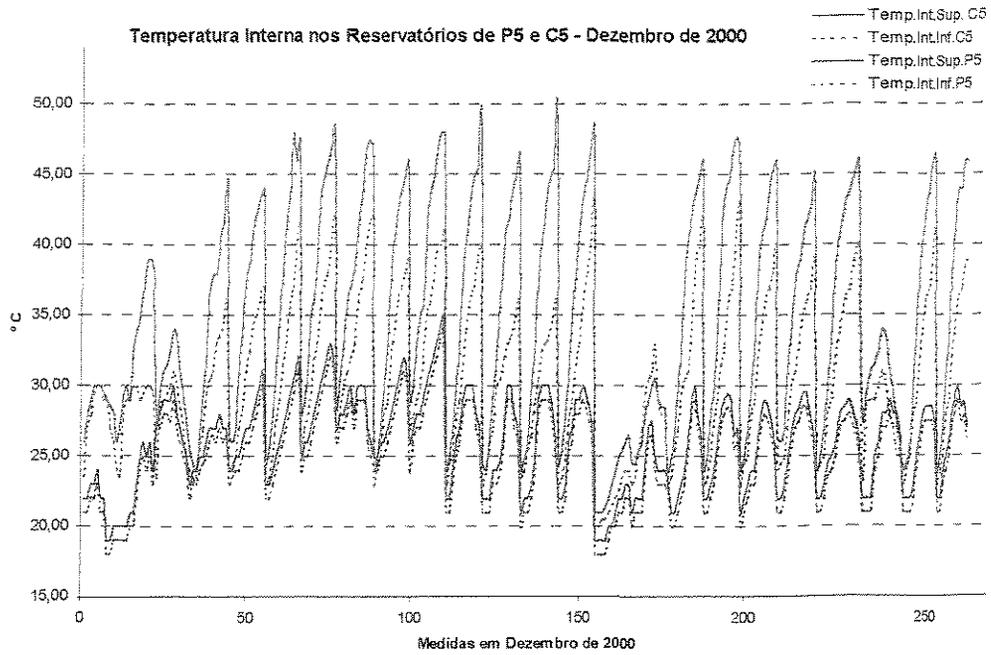


Gráfico D29

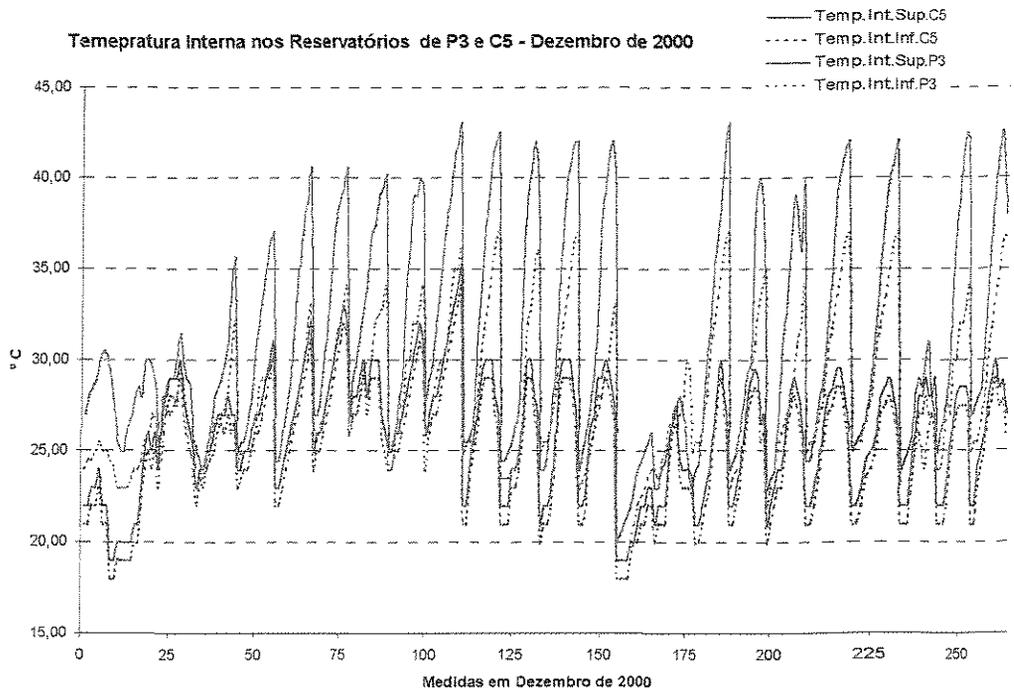


Gráfico D30

Temperatura Interna em P1 e C5 para Q1  
- Dezembro de 2000

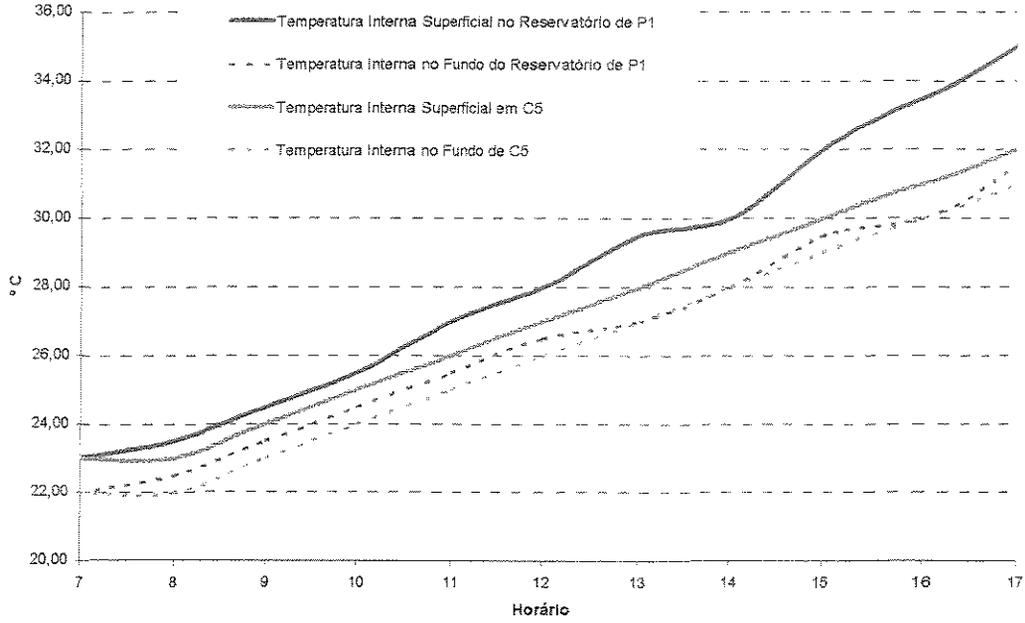


Gráfico D31

Temperatura interna em P2 e C5 para Q1  
- Dezembro de 2000

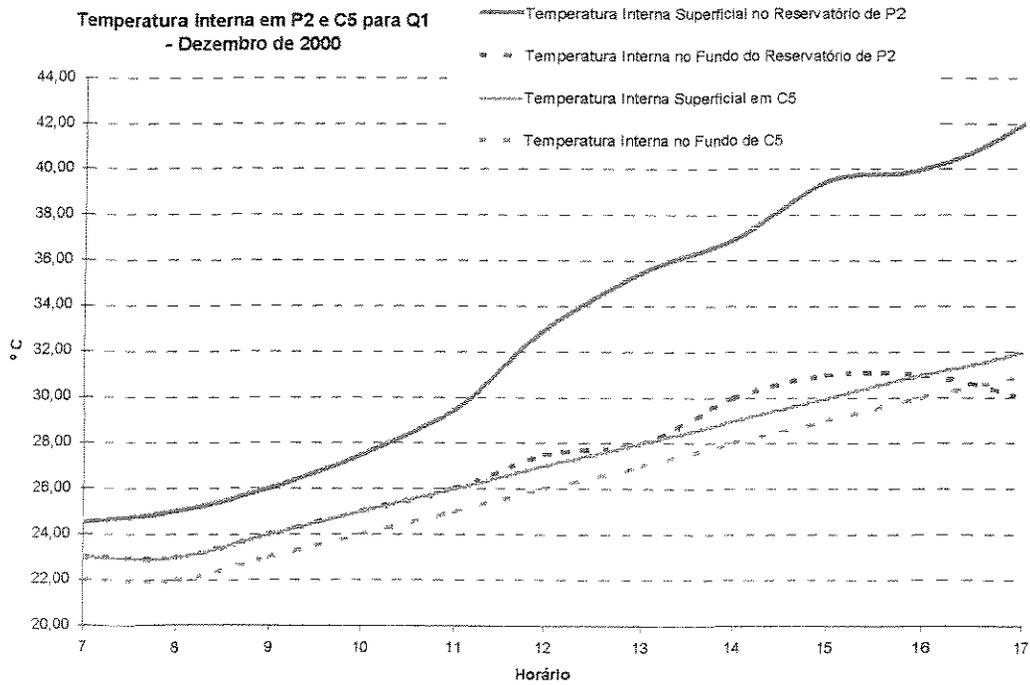


Gráfico D32

Temperatura Interna em P1 e P2 para Q1  
- Dezembro de 2000

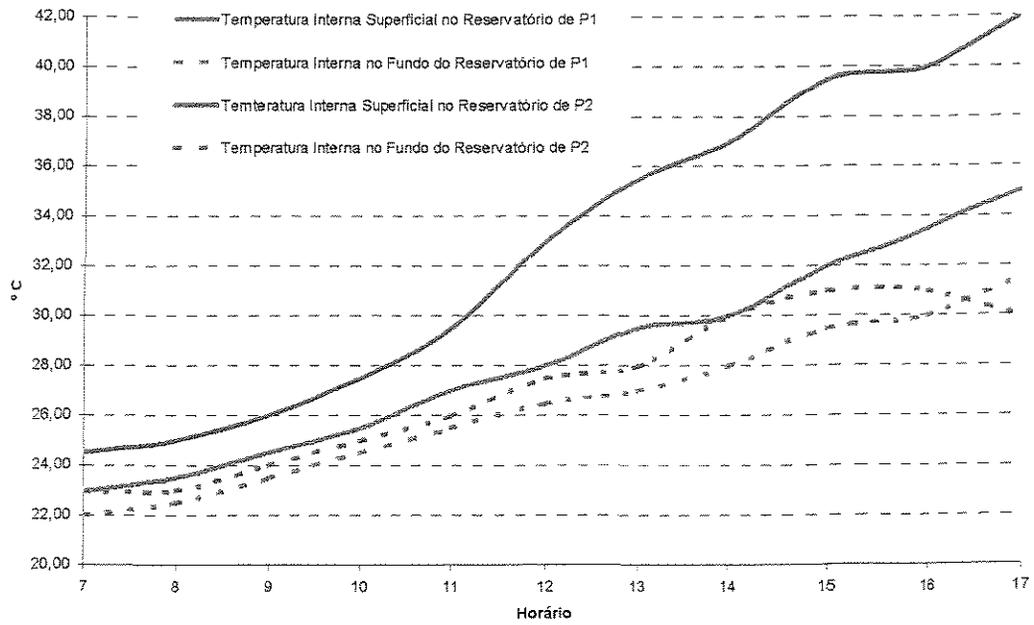


Gráfico D33

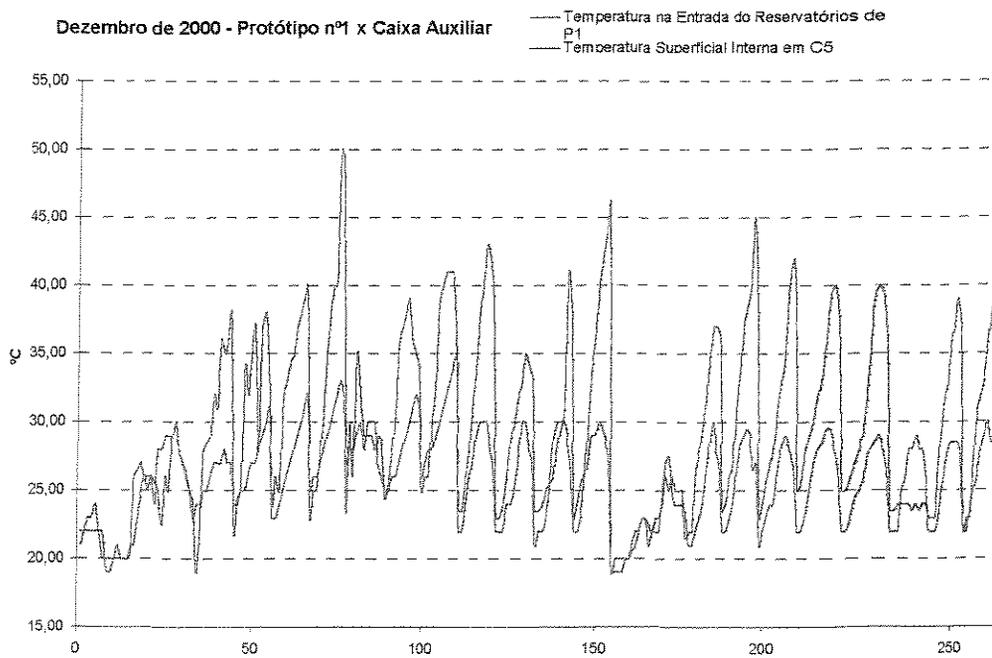


Gráfico D34

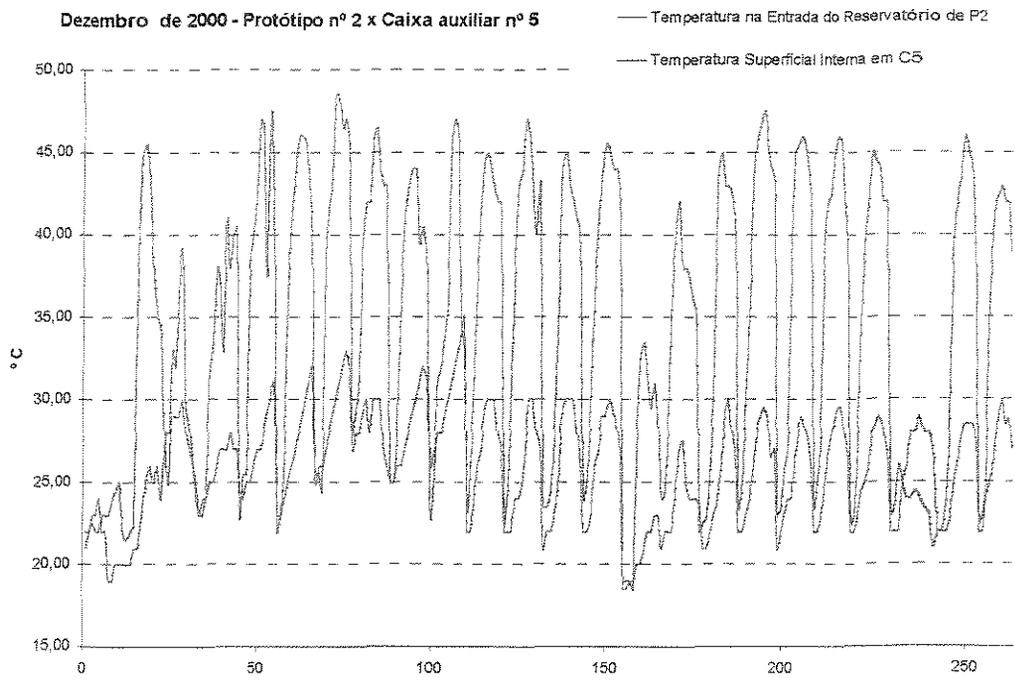


Gráfico D35

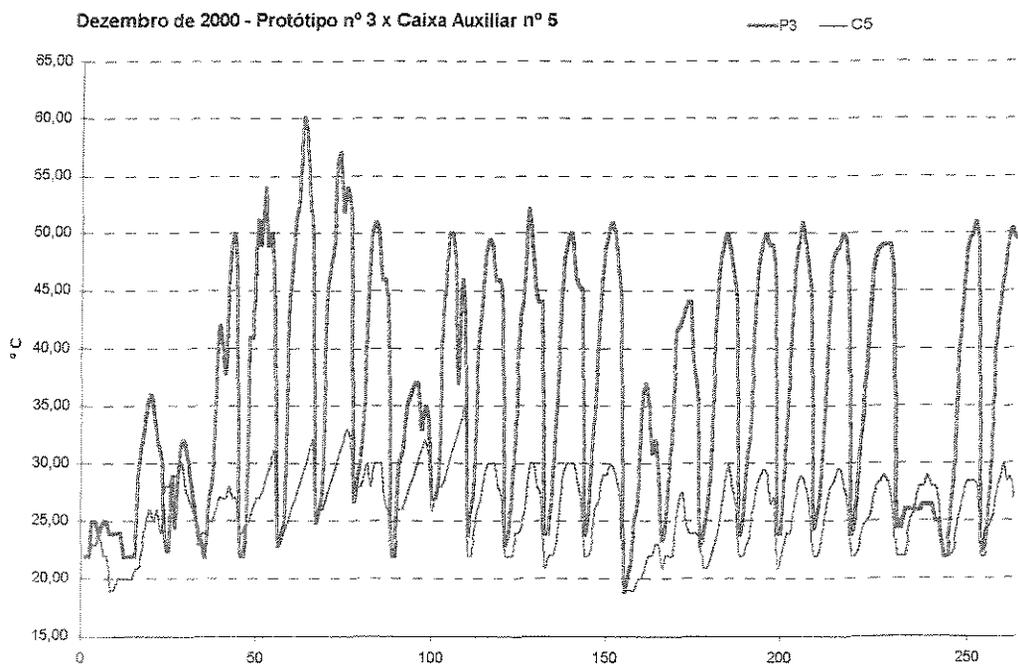


Gráfico D36

Dezembro de 2000 - Protótipo nº 4 x Caixa Auxiliar nº 5

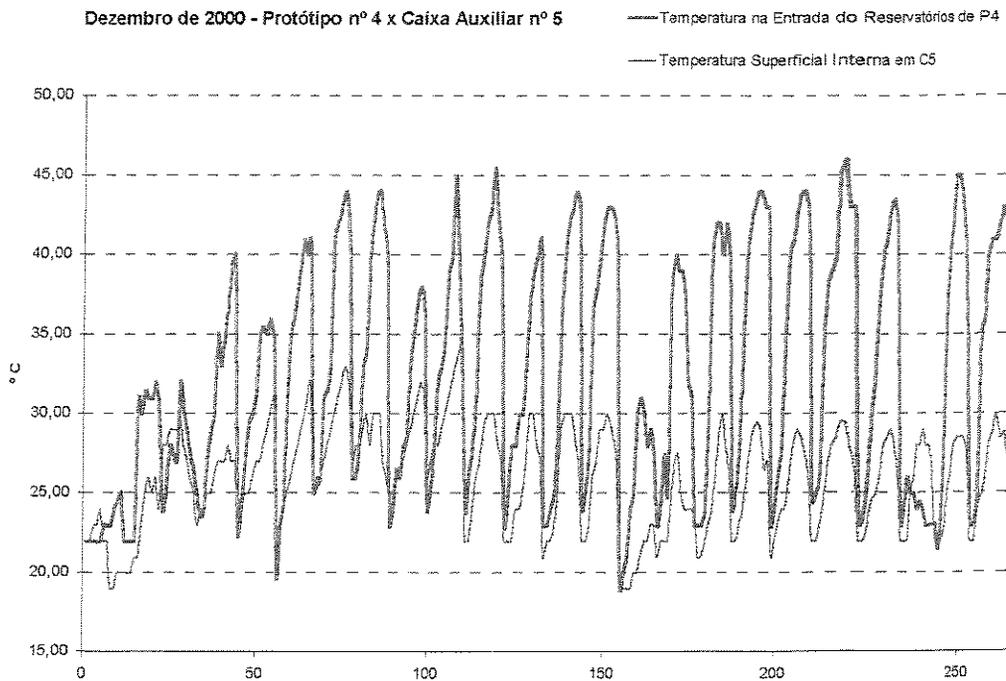


Gráfico D37

Dezembro de 2000 - Protótipo nº 5 x Caixa Auxiliar nº 5

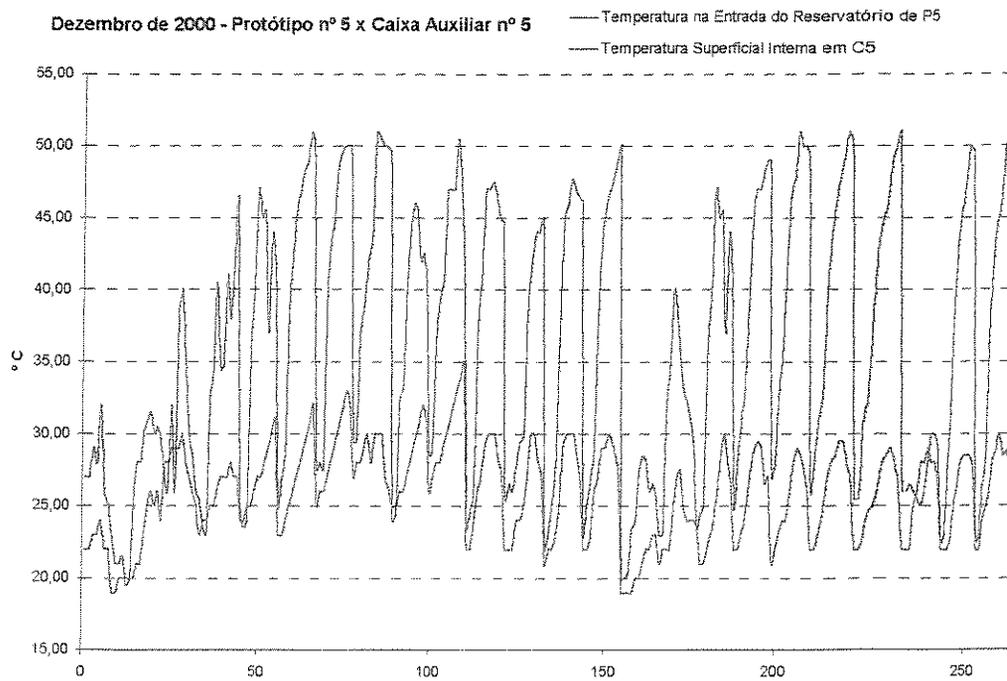


Gráfico D38

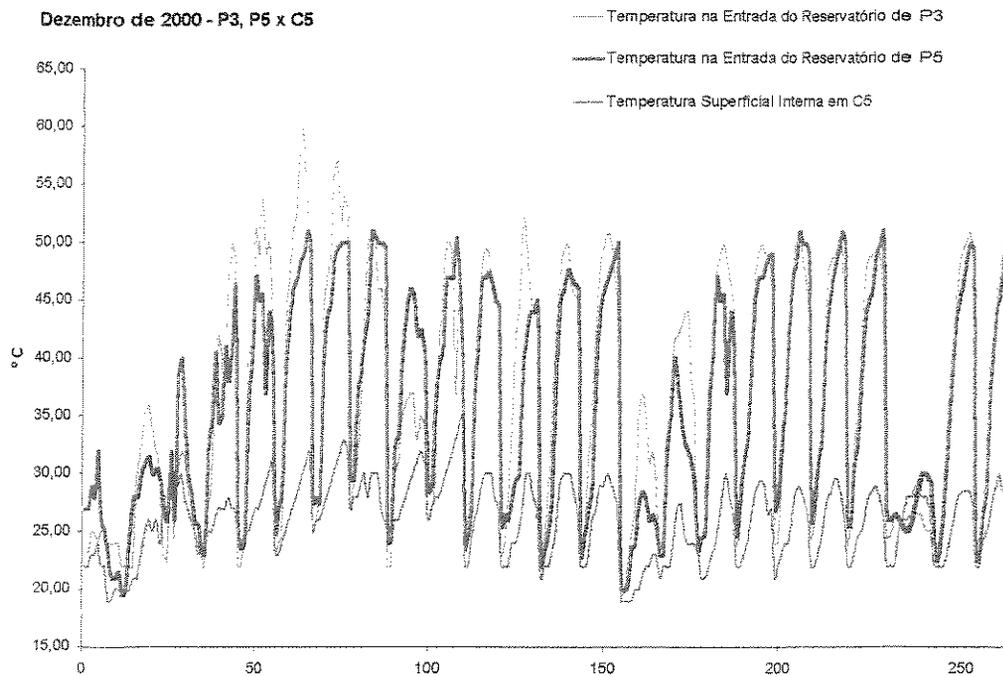


Gráfico D39

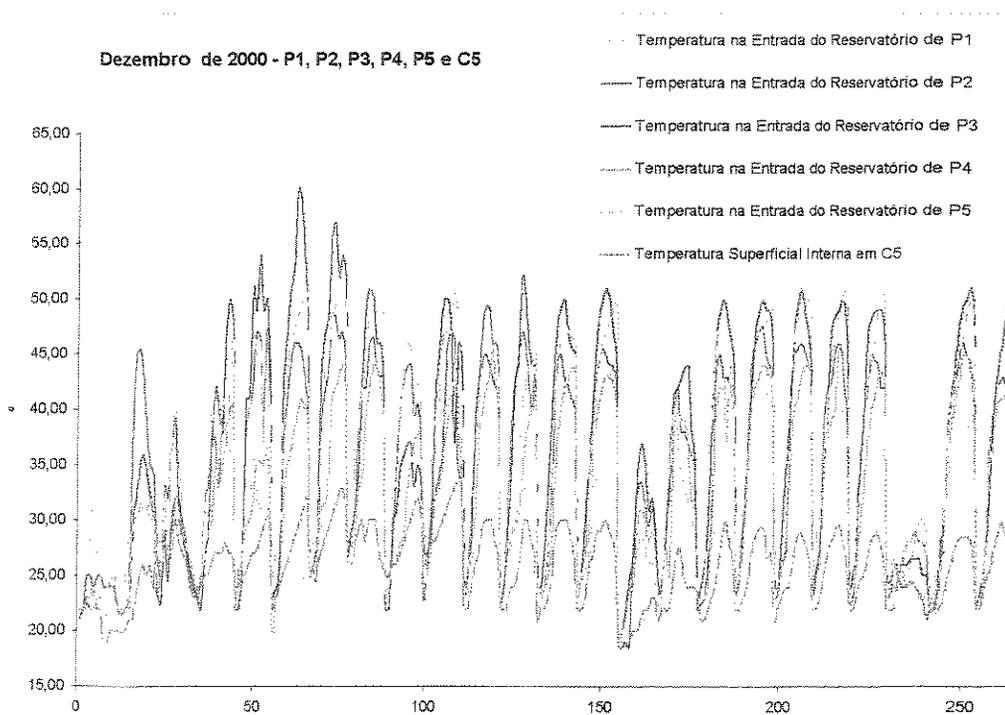


Gráfico D40

## ANEXO I - Gráficos Estatísticos do mês de Janeiro de 2001

Terminologia:

$f(x)$  = Modelo matemático;

P2 = Protótipo 2;

P3 = Protótipo 3;

P5 = Protótipo 5;

C5 = Caixa auxiliar nº 5;

Q1 = Qualidade horária de sol sem nuvens;

Q2 = Qualidade horária de sol e nuvens brancas;

Q3 = Qualidade horária de nublado e quente;

Q4 = Qualidade horária de tempo fechado para chuva;

Q5 = Qualidade horária de início de chuva;

Q6 = Qualidade horária de chuva ;

T = Temperatura em °C

$R^2$  = Coeficiente de correlação;

f(X) de P2 para Q2 - Janeiro de 2001

$$T(^{\circ}\text{C}) = 0,0017x^4 - 0,0798x^3 + 1,0962x^2 - 2,2383x + 14,584$$
$$R^2 = 0,9864$$

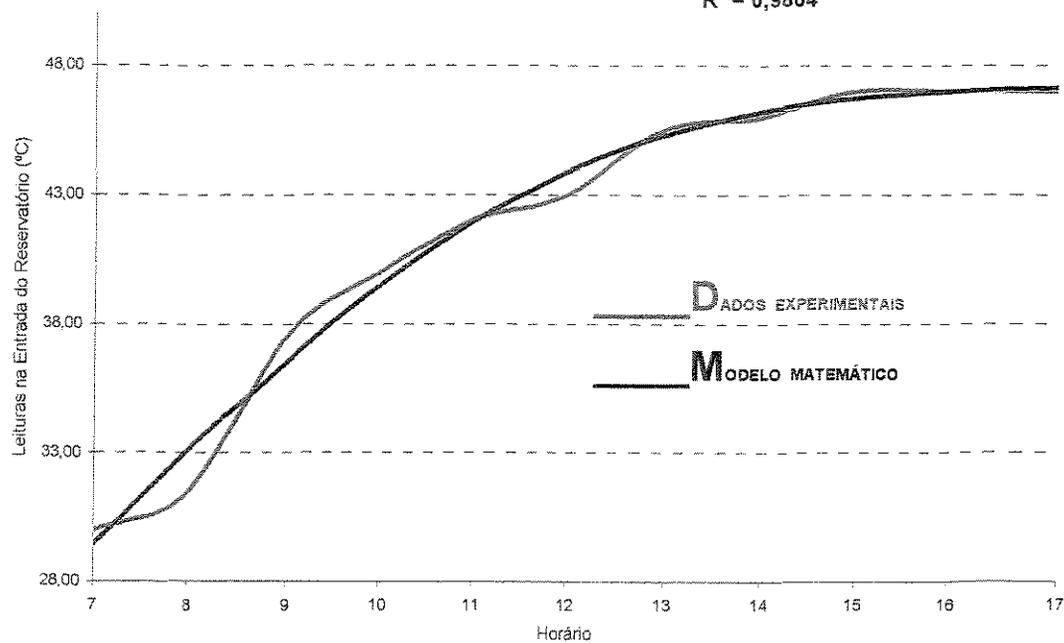


Gráfico J1

f(X) de P2 para Q3 - Janeiro de 2001

$$T(^{\circ}\text{C}) = 0,0064x^4 - 0,3345x^3 + 6,0355x^2 - 42,253x + 124,77$$
$$R^2 = 0,9955$$

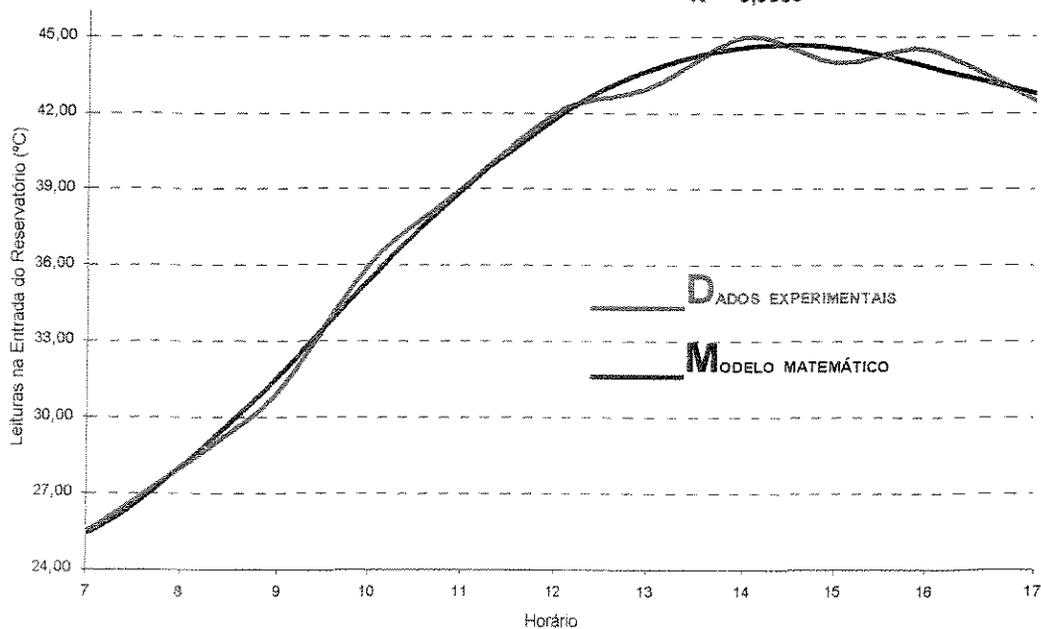


Gráfico J2

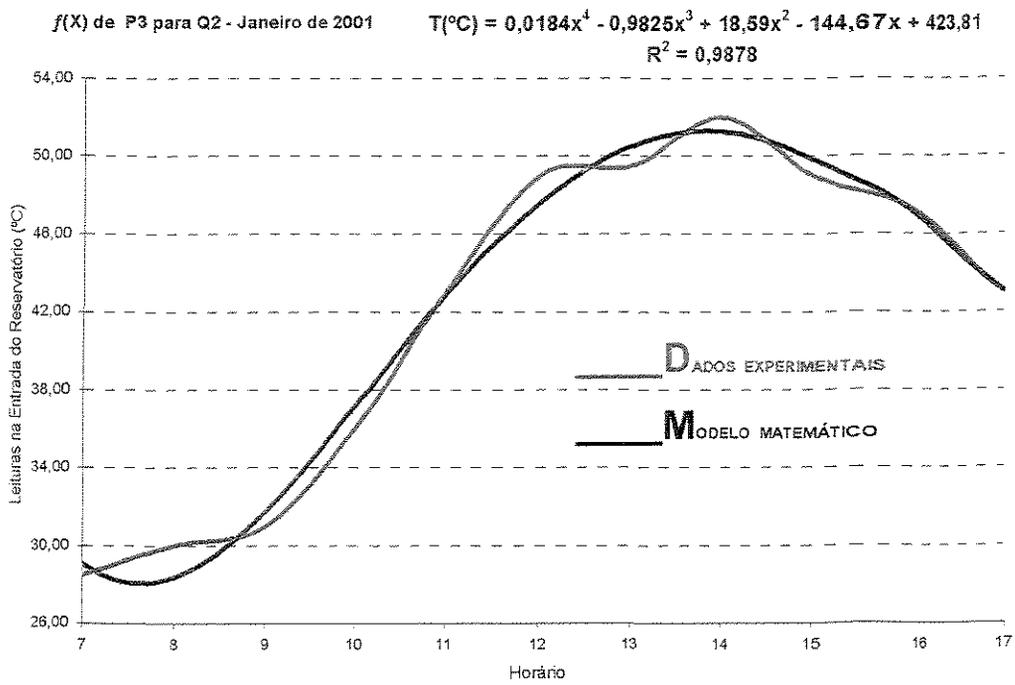


Gráfico J3

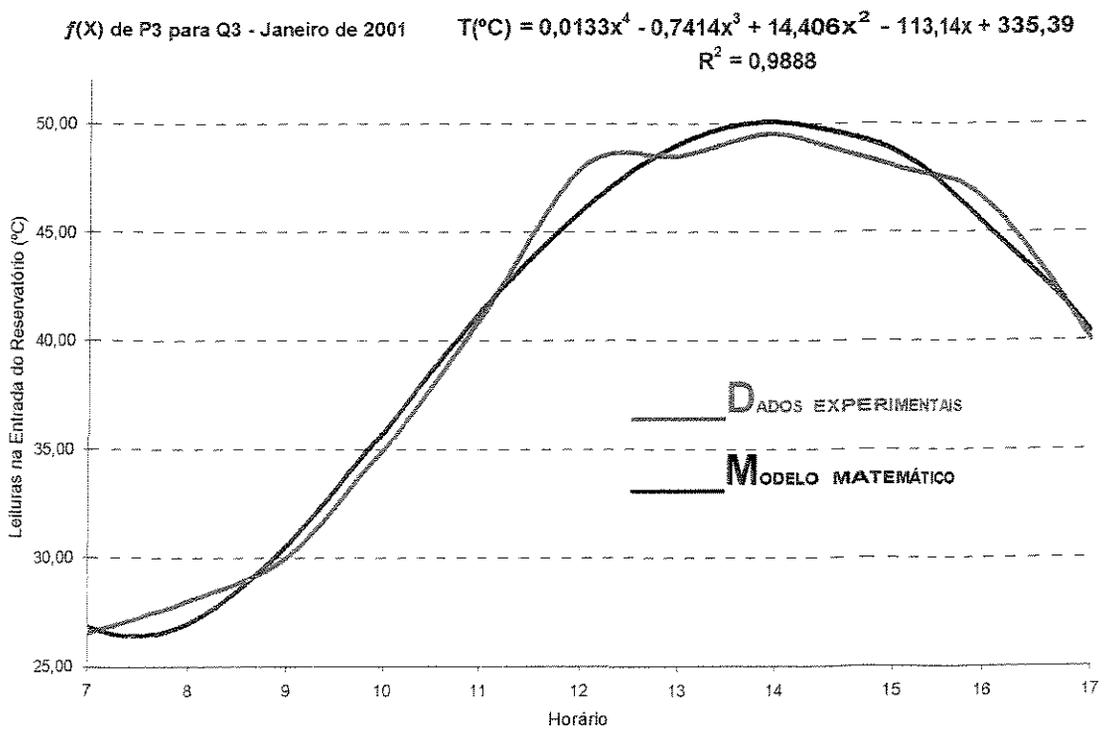


Gráfico J4

f(X) de P5 para Q2 - Janeiro de 2001

$$T(^{\circ}\text{C}) = 0,0191x^4 - 0,9436x^3 + 16,744x^2 - 123,25x + 347,6$$
$$R^2 = 0,9985$$

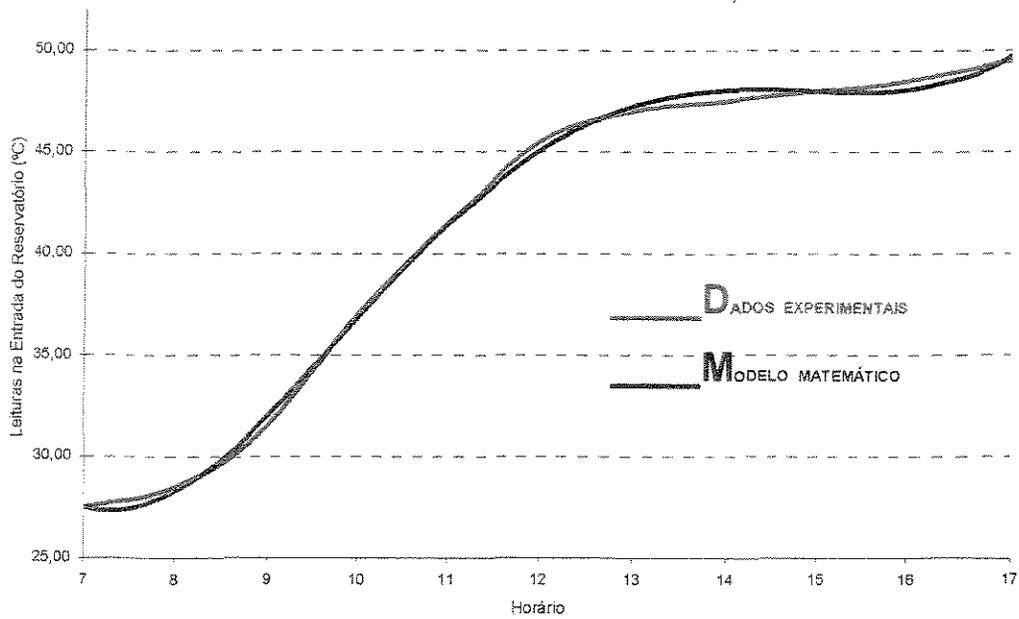


Gráfico J5

f(X) de P5 para Q3 - Janeiro de 2001

$$T(^{\circ}\text{C}) = 0,0047x^4 - 0,2778x^3 + 5,7832x^2 - 49,496x + 175,42$$
$$R^2 = 0,9635$$

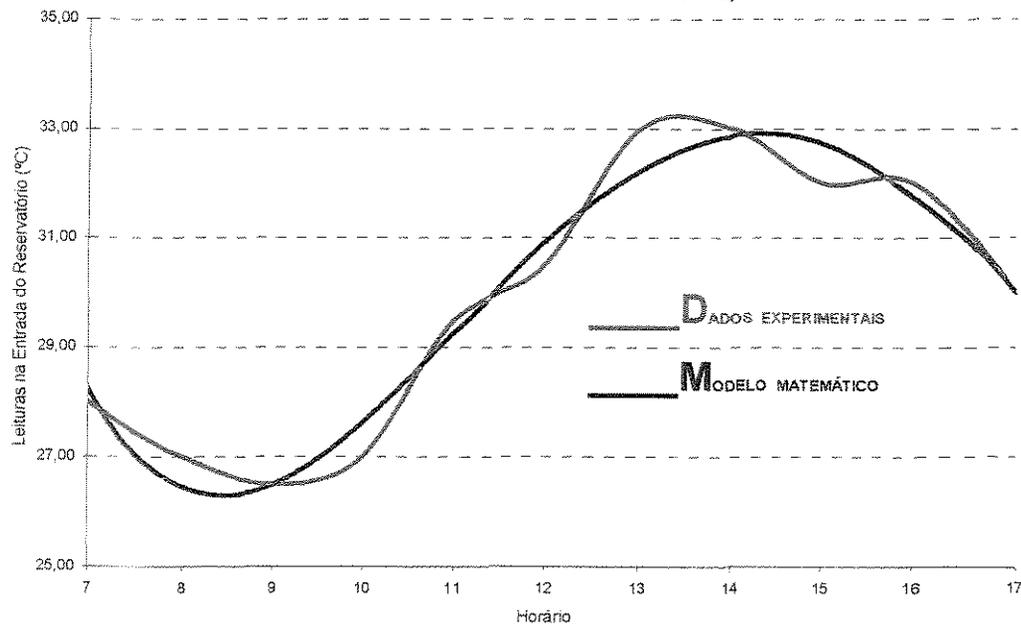


Gráfico J6

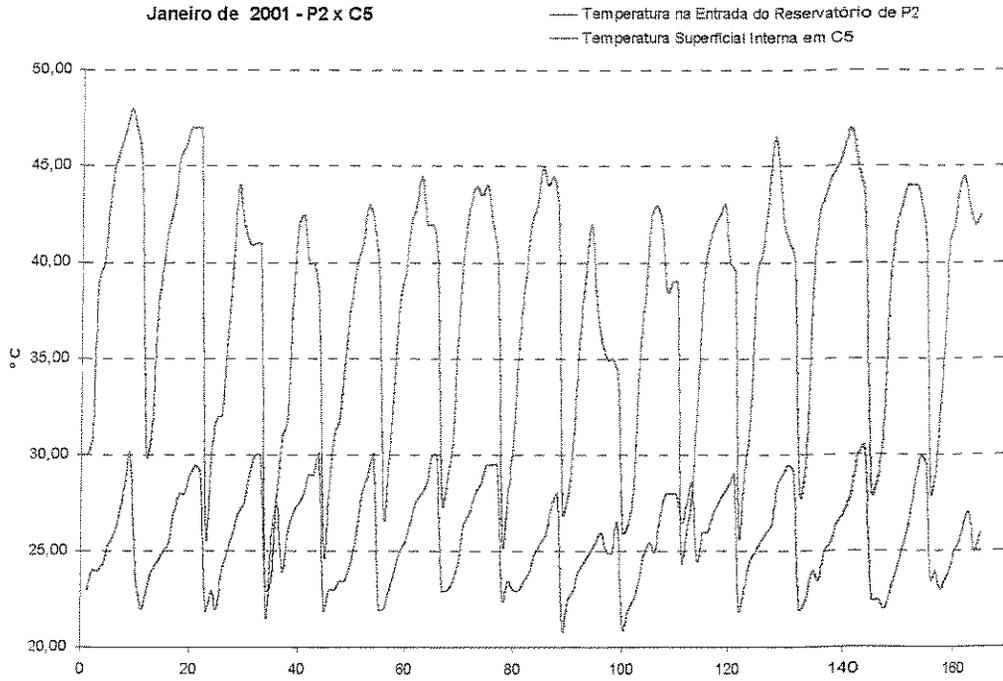


Gráfico J7

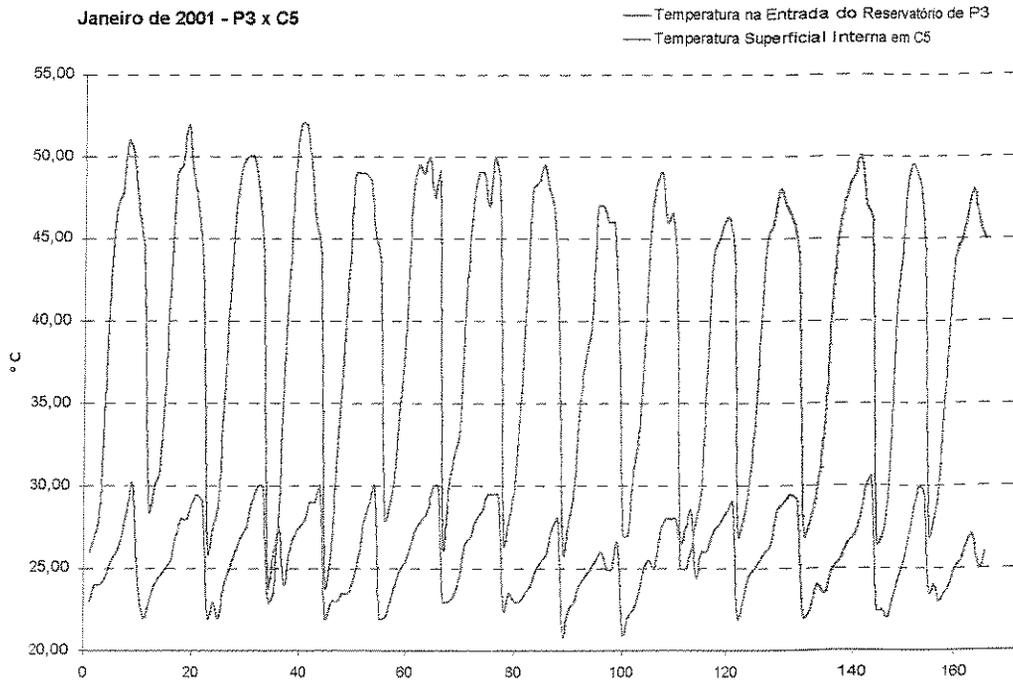


Gráfico J8

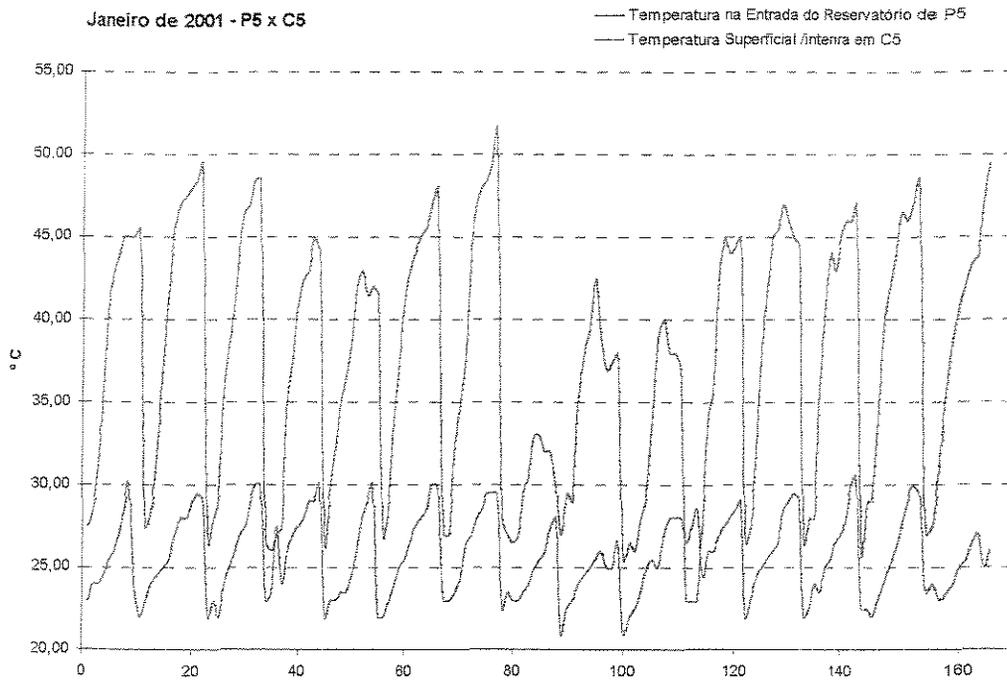


Gráfico J9

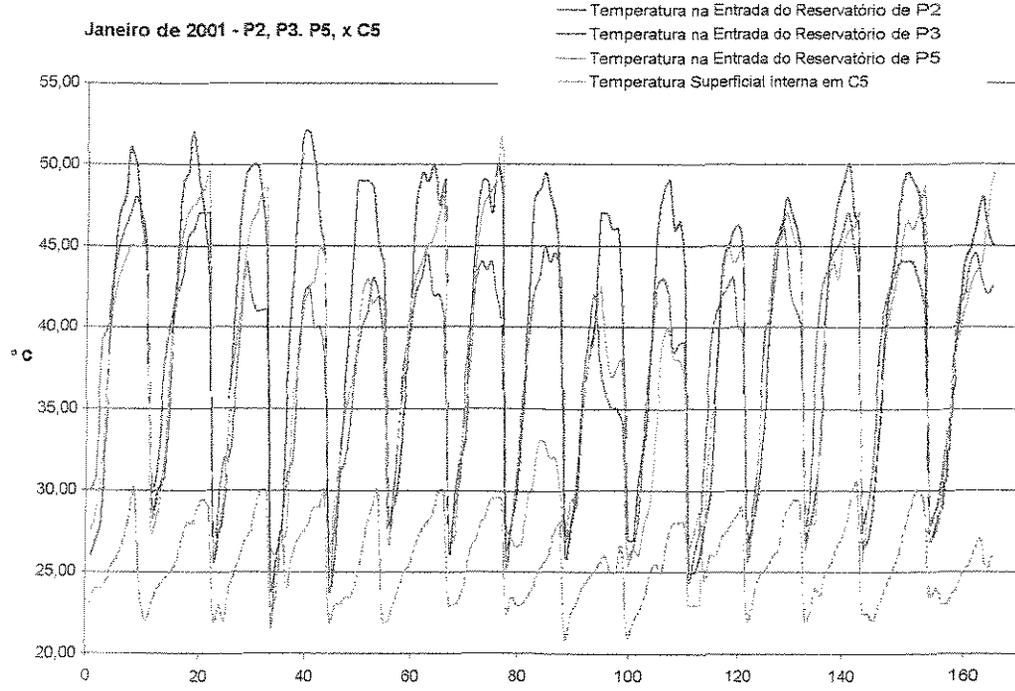


Gráfico J10

## ANEXO J - Intervalo de Confiança

Seja o intervalo de confiança, definido pela expressão (J1).

$$P(\bar{X} - \xi \leq \mu \leq \bar{X} + \xi) = 1 - \alpha \quad (\text{J.1})$$

Sendo o erro cometido, simbolizado por  $\xi$ .

$$\xi = t_{\alpha/2} S / n^{0,5} \quad (\text{J.2})$$

O elemento  $t_{\alpha/2}$ , é proveniente da metade da área de insucesso da distribuição de Student, disponível em livros estatística.

A significância é simbolizada pela letra grega " $\alpha$ ", onde a confiança é a diferença de

$$\text{Confiança} = 1 - \alpha \quad (\text{J.3})$$

Considerando uma confiança de 95%, e uma significância de 5%, pode-se extrair o valor de  $t_{\alpha/2}$ , da área de probabilidade de Student, em função dos graus de liberdade ( $\nu$ ) e de  $\alpha/2$ , onde:

$$\nu = n - 1 \quad (\text{J.4})$$

$$\nu = 11 - 1 = 10$$

$$\alpha/2 = 2,5\% = 0,025$$

Buscando na tabela de Student, encontra-se  $t_{\alpha/2} = 2,228$

$$\text{Assim } \xi = 2,228 \cdot 1,7 / 11^{0,5} = 1,14 \text{ } ^\circ \text{C}$$

E o intervalo de confiança, ficou em:

$$P(42^\circ \text{C} \leq \mu \leq 44^\circ \text{C}) = 95\%$$

Significando que a verdadeira média de temperatura interna em P5 para Dezembro de 2000, na qualidade Q2 está compreendida entre 42° C a 44° C com 95% de confiança.

## ANEXO K - Cálculo da Média Aritmética e Desvio Padrão Amostral em Situações Específicas

MA = MÉDIA ARITMÉTICA    DPA = DESVIO PADRÃO AMOSTRAL    DT = DIFERENÇA DE TEMPERATURA											
P5 Q2						P3 Q2					
942,25	474,50	11,00	20.497,25	262,25	11,00	6.270,56	416,00	262,95	DPA 7 =	1,72	
	<b>MA 17 =</b>	<b>43,14</b>	$\chi^2$	<b>MA 7 =</b>	<b>23,84</b>	$\chi^2$	DPA 17 =	2,42	<b>MA 7 =</b>	<b>23,90</b>	
DT às 17	DT às 17 Q2	DPA 17=	1,70	DT às 7 Q2	DPA 7 =	1,35	DT às 17 Q2	DT às 7 Q2	MA 17 =	<b>37,82</b>	
25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40,25	40,25	1,00	1.620,06	25,25	1,00	637,56	33,75	24,75	1.139,06	612,56	
40,50	40,50	1,00	1.640,25	23,75	1,00	564,06	33,50	23,75	1.122,25	564,06	
44,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
42,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44,50	44,50	1,00	1.980,25	23,50	1,00	552,25	39,50	25,25	1.560,25	637,56	
44,75	44,75	1,00	2.002,56	23,75	1,00	564,06	39,75	24,00	1.580,06	576,00	
41,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
43,00	43,00	1,00	1.849,00	23,75	1,00	564,06	39,50	23,45	1.560,25	550,12	
45,75	45,75	1,00	2.093,06	20,50	1,00	420,25	36,25	19,50	1.314,06	380,25	
25,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44,00	44,00	1,00	1.936,00	23,50	1,00	552,25	40,00	23,50	1.600,00	552,25	
44,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
43,00	43,00	1,00	1.849,00	25,25	1,00	637,56	36,75	24,75	1.350,56	612,56	
42,00	42,00	1,00	1.764,00	24,00	1,00	576,00	39,50	25,00	1.560,25	625,00	
43,00	43,00	1,00	1.849,00	25,50	1,00	650,25	39,50	23,00	1.560,25	529,00	
25,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
43,75	43,75	1,00	1.914,06	23,50	1,00	552,25	38,00	26,00	1.444,00	676,00	
42,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Planilha das temperaturas internas médias em P5 e P3, sob o efeito de Q2 às 7:00 e 17:00, em dezembro de 2000 mais cálculo de média aritmética e desvio padrão amostral nos dois horários.

MA = MÉDIA ARITMÉTICA      DPA = DESVIO PADRÃO AMOSTRAL										
P5 T int Sup							P3		18.310,00	6.558,00
1.012,50	514,00	11,00	24.058,00	271,00	11,00	6.706,50	448,00	268,00	DPA 7 =	1,69
	MA =	46,73	x <sup>2</sup>	MA =	24,64	x <sup>2</sup>	DPA 17 =	2,53	MA 7 =	24,36
17:00	SÓ Q2	DPA =	2,00	D7Q2	DPA =	1,73	T17Q2	T 7Q2	MA 17 =	40,73
26,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
38,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44,50	44,50	1,00	1.980,25	26,50	1,00	702,25	35,50	25,00	1.260,25	625,00
44,00	44,00	1,00	1.936,00	24,50	1,00	600,25	37,00	24,50	1.369,00	600,25
47,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
48,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
46,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
48,00	48,00	1,00	2.304,00	24,00	1,00	576,00	43,00	25,50	1.849,00	650,25
49,50	49,50	1,00	2.450,25	24,50	1,00	600,25	42,50	24,50	1.806,25	600,25
46,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50,00	50,00	1,00	2.500,00	24,50	1,00	600,25	42,00	24,00	1.764,00	576,00
48,50	48,50	1,00	2.352,25	21,00	1,00	441,00	39,50	20,00	1.560,25	400,00
26,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
46,00	46,00	1,00	2.116,00	24,00	1,00	576,00	43,00	24,00	1.849,00	576,00
46,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
46,00	46,00	1,00	2.116,00	26,50	1,00	702,25	39,50	24,50	1.560,25	600,25
45,00	45,00	1,00	2.025,00	24,00	1,00	576,00	42,00	25,00	1.764,00	625,00
46,00	46,00	1,00	2.116,00	27,50	1,00	756,25	42,00	24,00	1.764,00	576,00
26,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
46,50	46,50	1,00	2.162,25	24,00	1,00	576,00	42,00	27,00	1.764,00	729,00
46,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Planilha das temperaturas internas superficiais em P5 e P3, sob o efeito de Q2 às 7:00 e 17:00, em dezembro de 2000 mais cálculo de média aritmética e desvio padrão amostral nos dois horários.



**N I C A M P**  
BIBLIOTECA CENTRAL  
DE DOCUMENTAÇÃO CIRCULANTE