

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

DISSERTAÇÃO

UM MODELO DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE
DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SISTEMAS
DE AQUECIMENTO SOLAR RESIDENCIAL

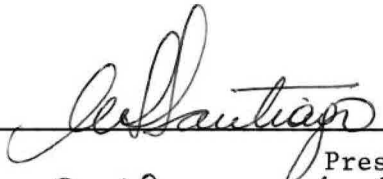
SUBMETIDA POR

Célio Costa Vaz

Em cumprimento parcial aos requisitos exigidos para obtenção
do título de Mestre em Análise de Sistemas e Aplicações

Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Análise de Sistemas e Aplicações

Dr^a Maria Suelena Santiago Barros




Presidente

Dr. Walter Gill



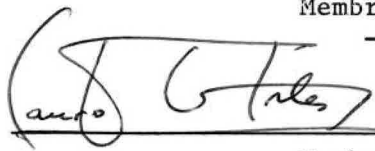
Orientador

Dr. Sérgio Gontijo Alvares



Membro da Banca
-convidado-

Dr. Lauro Tadeu Guimarães Fortes



Membro da Banca

Candidato: Cêlio Costa Vaz

São José dos Campos, 09 de janeiro de 1989

AGRADECIMENTOS

À minha esposa e aos meus filhos pelo carinho e incentivo.

Agradeço ao Professor-Orientador, Dr. Walter Gill, e ao Engº Jorgdieter Anhalt pelo apoio recebido, e a todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho consiste basicamente no planejamento, desenvolvimento e verificação de um modelo de simulação de sistemas de aquecimento solar residencial. Os objetivos principais desse modelo são: 1) Ser ele mesmo um exemplo da aplicação da metodologia para o planejamento das fases de desenvolvimento, verificação e validação de sistemas de aquecimento solar, apresentada no anexo A; 2) Constituir-se em uma ferramenta para a análise térmica de sistemas, visando a melhoria da eficiência sem alterações substanciais no projeto original dos sistemas analisados e 3) Permitir a análise do comportamento dos sistemas quando submetidas a condições ambientais e operacionais específicas. As análises são baseadas em simulações diárias com incremento de tempo de uma hora. Os resultados das simulações são utilizados para correlacionar a fração solar com dois parâmetros: um relacionado com as condições ambientais e o outro com as condições operacionais. Através da análise de variância da estimativa dos parâmetros é possível verificar se a correlação obtida pode ser melhorada aumentando-se o número de dias simulados.

ABSTRACT

This work consists basically of the planning, development and verification of a residential solar water heating simulation model, and it intends to serve itself as an example of the application of the methodology presented in appendix for planning of the development, verification and validation phases of solar residential heating system simulation models; to be a tool for thermal system analysis, aiming at suggestions for the improvement of the system efficiency without substantial changes in design; and to allow for an analysis of the system behavior when it is limited to specific environmental and operational conditions. The analysis is based on daily simulations with one hour time increment. The results of these simulation are used to correlate the solar fraction with two parameters: one coming from environmental conditions, and another one coming from operational conditions. Through a variance analysis of the estimated parameters it is possible to verify either the correlation can be improved by increasing the number of simulated days.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE SÍMBOLOS	
INTRODUÇÃO	1
<u>CAPÍTULO 1 - PLANEJAMENTO DO MODELO DE SIMULAÇÃO</u> .	7
1.1 - Introdução: Aquecimento Solar - Uma Abordagem Sistêmica	7
1.2 - Modelos Previamente Desenvolvidos	13
1.3 - Definição do Problema	21
1.4 - Caracterização do Sistema de Aquecimento a Ser Modelado	25
1.5 - Definição do Modelo de Simulação	27
1.5.1 - Parâmetros e Variáveis	29
1.5.2 - Estrutura do Sistema de Simulação	34
1.6 - Obtenção do Sistema de Simulação	45
1.6.1 - Estrutura de Divisão de Atividades	45
1.7 - Verificação e Validação	53
1.7.1 - Verificação	53
1.7.2 - Validação do Modelo	53
<u>CAPÍTULO 2 - DESENVOLVIMENTO DO MODELO</u>	55
2.1 - Modelo do Coletor Solar Plano	55
2.1.1 - Método de Análise	55
2.1.2 - Descrição Geral dos Coletores Solares Planos	56
2.1.3 - Características Gerais dos Coletores Solares Planos	56
2.1.4 - Hipóteses para Análise Térmica	59
2.1.5 - Descrição Matemática do Modelo	60

2.1.5.1 - Rendimento do Coletor - Balanço de Energia	60
2.1.5.2 - Coeficiente Global de Perda de Calor ...	61
2.1.5.3 - Distribuição de Temperatura entre os Tubos e o Fator de Eficiência do Coletor .	64
2.1.5.4 - Distribuição de Temperatura na Direção do Fluxo	69
2.1.5.5 - Fator de Remoção de Calor do Coletor e Fator de Fluxo	70
2.1.5.6 - Temperatura Média da Placa Absorvedora .	71
2.1.6 - Temperatura do Céu	72
2.1.7 - Coeficiente de Convecção entre a Cobertura e o Ambiente	73
2.1.8 - Direção da Radiação Direta	73
2.1.9 - Translação do Modelo do Coletor	76
2.2 - Modelo do Tanque de Armazenamento	86
2.2.1 - Método de Análise	86
2.2.2 - Perfil de Temperatura	86
2.2.3 - Coeficiente Global de Perda de Calor do Tanque	92
2.2.4 - Estimativa dos Coeficientes de Convecção (h) e (h)	95
2.2.5 - Adição e Remoção de Calor ao Tanque	98
2.2.6 - Aquecimento Elétrico Auxiliar	99
2.2.7 - Homogeneização da Temperatura do Tanque ..	101
2.2.8 - Translação do Modelo do Tanque	102
2.3 - Modelo da Vazão no Termosifão	107
2.3.1 - Método de Análise	107
2.3.2 - Vazão no Termosifão	107
2.3.3 - Translação do Modelo	115
2.4 - Modelo do Sistema - Rotina Principal	117
2.6 - Regressão dos Dados Simulados	118
2.6.1 - Fração Solar do Sistema de Aquecimento ...	118
2.6.2 - Translação do Modelo de Regressão	121

	Página
<u>CAPÍTULO 3 - VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO</u>	125
3.1 - Verificação	125
3.2 - Validação	126
3.2.1 - Dados Experimentais	127
3.2.2 - Ajuste do Modelo	131
3.2.2.1 - Coletor Solar	131
3.2.2.2 - Tanque de Armazenamento	134
3.2.3 - Procedimento de Validação	136
<u>CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE</u> <u>AQUECIMENTO SOLAR RESIDENCIAL</u>	161
4.1 - Introdução	161
4.2 - Coletor Solar	162
4.3 - Tanque de Armazenamento	176
4.4 - Comentários Finais	177
CONCLUSÃO	181
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	183
APÊNDICE A - METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR RESIDENCIAL	
APÊNDICE B - PROPRIEDADES FÍSICAS DA ÁGUA	
APÊNDICE C - TABELA DE DADOS EXPERIMENTAIS (TOTALIZAÇÕES E MÉDIAS DIÁRIAS); FOLHA DE DADOS EXPERIMENTAIS; TABELA DE DADOS EXPERIMENTAIS (MÉDIAS HORÁRIAS)	
APÊNDICE D - PROGRAMAS DE COMPUTADOR	
APÊNDICE E - EXEMPLOS DE ARQUIVO DE DADOS	

APÊNDICE F - GRÁFICOS E RELATÓRIOS REFERENTES AO PERÍODO
SIMULADO PARA VALIDAÇÃO DO MODELO

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1.1 - Exemplos de Alguns Tipos de Sistemas de Aquecimento Solar Residencial	9
1.2 - Tipos de Sistemas de Aquecimento Solar Residencial	10
1.3 e 1.3A - Organização por Componentes e por Funções	11
1.4 - Evolução dos Modelos de Simulação de Sistemas de Aquecimento Solar Residencial	20
1.5 - Interligação entre os Sensores e o Sistema de Aquisição de Dados	24
1.6 - Esquema do Tipo de Sistema a Ser Modelado ..	27
1.7 - Perfil de Consumo	28
1.8 - Estrutura Organizacional para o Modelo de Simulação	30
1.9 - Estrutura do Sistema de Simulação	
1.10 - Estrutura de Divisão de Atividades	46
2.1 - Geometria de um Coletor solar	57
2.2 - Gradientes de Temperatura	58
2.3 - Esquema Térmico de um Coletor com 3 Coberturas	62
2.4 - Dimensões da Placa e do Tubo	65
2.5 - Balanço de Energia de uma Aleta	66
2.6 - Balanço de Energia num Elemento do Fluido ..	69
2.7 - Relações entre o Ângulo da Radiação Direta e o Plano Horizontal	74
2.8 - Relações entre o Ângulo da Radiação Direta e a Normal a um Plano Inclinado	75
2.10 - Fluxograma Geral do Modelo de Simulação de um Coletor Solar Plano	78
2.11 - Fluxograma de Cálculo do Coeficiente Global de Transferência de Calor da Parte Superior do Coletor (U)	79

	Pág.
2.12 - Cálculo de Variáveis de Interesse no Modelo do Coletor	80
2.13 - Exemplo dos Gráficos Emitidos pela Rotina "Colector Simulation"	81
2.15 - Distribuição de Temperaturas no Sistemas de Aquecimento	88
2.16 - Esquema Térmico Representativo do Tanque de Armazenamento	90
2.17 - Tipo de Construção do Tanque de Armazenamento	92
2.18 - Detalhe A1 - Temperaturas nas Paredes de uma Seção i do Tanque	94
2.19 - Resistências à Transferência de Calor entre uma Seção i e o Ambiente	94
2.20 - Fluxograma Geral para Cálculo do Coeficiente Global de Perda de Calor de cada, Seção i do Tanque	97
2.21 - Fluxograma Geral do Modelo do Tanque de Armazenamento	103
2.22 - Exemplo do Relatório Emitido pela Rotina "Tanksimulation"	104
2.23A - Esquema Representativo do Sistema de Aquecimento Solar	108
2.23B - Distribuição de Temperatura do Sistema ...	108
2.24 - Fluxograma Geral da Rotina "Thermosiphonflow"	116
2.25 - Fluxograma da Rotina Principal do Programa SIMULA/PS/HEATSYSTEM	117
2.26 - Exemplo de Relatório Emitido pelo Programa "SIMULA/PKR/DATACOR"	123
2.27 - Exemplo de Relatório Emitido pelo Programa "SIMULA/PS/MULTILINREG	124
3.1 - Forma Gráfica dos Dados Experimentais	129
3.2 - Fração Solar X Dia (Dados Experimentais) ...	130

	Pág.
3.3 - Dimensões da Instalação do Sistema de Aquecimento Simulado	132
3.4 - Temperatura da Água na Entrada e na Saída do Coletor Solar	133
3.5 - Simulação da Temperatura da Água na Entrada e na Saída do Coletor Solar para Ajuste do Modelo	134
3.6 - Curva de Resfriamento Simulada para o Ajuste do Modelo do Tanque de Armazenamento	136
3.7 - Temperatura da Água na Entrada e na Saída do Coletor para Dias Claros	139
3.8 - Temperatura Média do Tanque para Dias Claros	140
3.9 - Temperatura Média do Tanque (Experimental X Simulada)	143
3.10A - Fração Solar (Experimental e Simulada) X Tempo (Dias)	147
3.10B - Fração Solar X Tempo (Num. Dia)	148
3.11 - Intensidade de Radiação Solar Referente ao Dia Experimental Número 46	150
3.12 - Vazão no Coletor para o Dia Experimental Número 46 (sem Retirada de Água do Sistema de Aquecimento)	151
3.12A - Curvas de Performance de um Sistema de Aquecimento Solar	152
3.12B - Curvas de Performance de um Sistema de Aquecimento Solar	153
3.13 - Variação de Parâmetro de um Sistema de Aquecimento Durante um Dia Claro, com Retirada Intermitente de Água para Consumo	154
3.14A - Resultados da Correlação da Performance do Sistema de Aquecimento, Utilizando o Método Proposto no Item 2.6, Capítulo 2	157

	Pág.
3.14B - Resultados da Correlação da Performance do Sistema de Aquecimento, Utilizando o Método Proposto por Gill (1987)	158
3.14C - Resultados da Correlação da Performance do Sistema de Aquecimento, Utilizando o Método Proposto por Morrison (1987)	159
4.1A - Rendimento Instantâneo do Coletor	164
4.1B - Rendimento Instantâneo do Coletor	165
4.2A - Fator de Eficiência X Distância entre Tubos	166
4.2B - Fator de Eficiência X Distância entre Tubos	167
4.3 - Secção de uma Montagem do Tubo de Elevação em um Aleta da Placa Absorvedora	168
4.4A - Fator de Eficiência X Resistência de Contato Térmico	169
4.4B - Fator de Eficiência X Resistência de Contato Térmico	170
4.5A - Temperatura da Água na Saída do Coletor X Comprimento do Coletor	172
4.5B - Temperatura da Água na Saída do Coletor X Comprimento do Coletor	173
4.6 - Vazão no Coletor	175
4.7B - Peso da Placa Absorvedora X Número de Tubos de Elevação	176

LISTA DE TABELAS

	Pág.
1.1 - Dados dos Sistemas Solares	26
3.1 - Resultados das Simulações	138
3.2 - Temperatura Média Diária do Tanque (Experi- mental X Simulado)	141
3.3 - Análise de Variância da Correlação entre as Temperaturas Médias do Tanque (Simulada X Experimental	144
3.4 - Fração Solar (Experimental X Simulado)	145
3.5 - Análise de Variância da Correlação entre a Fração Solar Simulada e Experimental	149

LISTA DE SÍMBOLOS

- A - Constante da equação 77
- A_c - Área de Captação do Coletor
- A_i - Área de uma Secção-i do Tanque de Armazenamento
- $A_{i,1}$ - Área da Parede Interna de uma Secção-i do Tanque de Armazenamento
- $A_{i,0}$ - Área da Parede Externa de uma Secção-i do Tanque de Armazenamento
- A_1, A_2 - Área da Seção Transversal dos "Headers" e dos tubos de elevação
- B - Constante da Equação 77
- b - Comprimento da Solda Tubo/Placa
- C - Consumo de Água Quente por Unidade de Tempo, Constante da Equação 77
- C_b - Condutância da Junção Tubo-Placa por Unidade de Comprimento
- C_E - Consumo de Energia Elétrica
- C_p - Calor Específico da Água
- C_T - Consumo Horário de Energia Elétrica
- D - Diâmetro Externo dos Tubos de Elevação
- D_i - Diâmetro Interno dos Tubos de Elevação
- E - Consumo de Energia Elétrica no Período Simulado
- F - Eficiência da Aleta
- F' - Fator de Eficiência do Coletor
- F_r - Fator de Remoção de Calor
- f' - Fator de Atrito
- f - Fração Solar
- f_e - Fator Equivalente de Fricção
- F_i^C - Função de Controle do Coletor
- F_i^L - Função de Controle do Reabastecimento do Tanque
- F_c - Fator de Eficiência da Placa Absorvedora
- G - Taxa de Fluxo do Fluido de Trabalho por Unidade de Área do Coletor
- G_r - Número de Grashof
- g_0, g - Constante Gravitacional
- h_{p-c} - Coeficiente de Transferência de Calor Placa-Cobertura
- h_w - Coeficiente de Transferência de calor cobertura-ambiente
- $h_{r,p-c}$ - Coeficiente de Transferência de Calor por Radiação placa-cobertura
- $h_{r,c-s}$ - Coeficiente de transferência de Calor por Radiação cobertura-céu
- $h_{f,i}$ - Coeficiente de transferência de Calor Fluido-Tubo

- H - Intensidade da Radiação Solar
H_r - Hora do Dia
h_{i,1} - Coeficiente de Convecção da Parede Interna do Tanque
h_{o,i} - Coeficiente de Convecção da Parede Externa do Tanque
h_t - "Thermosiphon Head"
h₁, h₂, h₃, h₄, h₅, h₆ - Cotas do Sistema de Aquecimento
h_f - "Thermosiphon Head" perdido devido ao Atrito
H_t - Radiação Total no Período Simulado
K - Condutividade Térmica da Placa Absorvedora
K_i - Condutividade Térmica do Isolante
K_b - Condutividade Térmica da Solda
K_e - Fator de Perda de Carga Equivalente
K₁, K₂, K₃ - Fator de Perda de Carga em Tubulações, Condutividade Térmica das Paredes do Tanque
L - Comprimento dos Tubos de Elevação
L_i - Espessura do Isolante, Comprimento de uma Seção-i do Tanque
ṁ_L - Vazão em Massa de Água para Consumo
ṁ_c - Vazão em Massa de Água no Coletor
m_t - Massa de Água no Tanque de Armazenamento
m_i - Massa de Água em uma Seção-i do Tanque
N - Número de Coberturas do Coletor Solar, Número de Seções do Tanque
N_t - Número de Tubos de Elevação
N_u - Número de Nusselt
n - dia do ano
P_r - Número de Prandtl
Q_u - Ganho Total de Energia do Coletor, Quantidade de Calor Removido do Tanque para Consumo
q_u - Energia Absorvida pela Água por Unidade de Área do Coletor
q_w - Fluxo de Calor
q_{TL} - Taxa de Perda de Calor do Tanque de Armazenamento
Q_{L,i} - Quantidade de Calor Perdido por uma Seção-i do Tanque para o ambiente
Q_r - Quantidade de Calor Perdido Pelo Tanque Devido ao Reabastecimento
Q_{st} - Quantidade de Energia Armazenada no Tanque
Q_e - Quantidade de Energia Elétrica Auxiliar
R - Fator de Conversão da Radiação Solar para o Plano do Coletor, Resistência à Transferência de Calor

- R_{el} - Resistência do Aquecedor Elétrico
 R_e - Número de Reynolds
 S - Energia Solar Absorvida por Unidade de Área do Coletor, Peso específico da Água
 T_a - Temperatura Ambiente
 T_p - Temperatura da Placa Absorvedora
 T_c - Temperatura da Cobertura, Temperatura Média do Coletor
 T_{ski} - Temperatura do Céu
 $T_{f,i}$ - Temperatura de Entrada do Fluido no Coletor
 $T_{f,o}$ - Temperatura de Saída do Fluido do Coletor
 $T_{f,m}$ - Temperatura Média do Fluido
 $T_{p,m}$ - Temperatura Média da Placa Absorvedora
 T_T - Temperatura Média do Tanque
 T_H - Histerese do Termostato
 $T_{s,aq}$ - Temperatura do Tanque na seção do Aquecedor Elétrico
 T_{cons} - Temperatura da Água para Consumo
 T_m - Temperatura Média do Sistema de Aquecimento
 $T_{s,i}$ - Temperatura da Água em uma Seção- i do Tanque de Armazenamento
 $T_{L,R}$ - Temperatura da Água de Reabastecimento do Tanque
 U_t - Coeficiente de Perda de Calor da Face Frontal do Coletor
 U_b - Coeficiente de Perda de Calor da Face Trazeira do Coletor
 U_L - Coeficiente Global de Perda de Calor do Coletor
 u - Velocidade de Escoamento em um Tubo de Elevação
 $U_{TL,i}, U_i$ - Coeficiente de Perda de Calor de uma seção- i do Tanque
 V - Velocidade do Vento
 ν - Viscosidade Cinemática
 W - Distância entre as Linhas de Centro de Dois Tubos de Elevação Consecutivos, Capacidade Térmica do Sistema de Aquecimento
 σ - Constante de Boltzman
 η - Rendimento do Coletor
 ϕ - Latitude
 Γ, ζ - Transmitância, Tempo
 α - Absortância
 δ_s - Ângulo de Declinação do Sol
 θ - Ângulo de Incidência da Radiação Solar
 ω - Ângulo Solar Horário
 β - Coeficiente de Expansão Volumétrica da Água

- δ - Espessura da Placa Absorvedora
- γ - Espessura Média da Solda
- ϵ_g - Emitância da Cobertura
- ϵ_p - Emitância da Placa Absorvedora
- ρ - Densidade da Água

(Unidades SI).

INTRODUÇÃO

A elevação dos custos da energia proveniente de fontes, como por exemplo o petróleo, justifica os esforços realizados para que se possa utilizar a energia disponível da forma mais eficaz possível, racionalizar o seu uso, desenvolver novas fontes de energia e buscar o ajuste mais adequado entre fonte e finalidade específica. A crise do petróleo, iniciada em 1973, alterou profundamente a tendência até então existente do uso quase que exclusivo dessa fonte de energia, acarretando, em vários países, uma volta às fontes renováveis, como pode ser exemplificado através do Programa do Alcool desenvolvido no Brasil durante a década de 70.

Entretanto, para que uma fonte de energia seja amplamente utilizada ou substitua fontes tradicionais, é necessário que ela satisfaça pelo menos às seguintes condições:

- 1) seja tecnicamente viável;
- 2) seja economicamente competitiva com as fontes tradicionais;
- 3) seja socialmente aceita.

No Brasil, a energia solar para o aquecimento de água para uso residencial satisfaz perfeitamente à primeira condição; busca-se satisfazer à segunda através do desenvolvimento de sistemas economicamente viáveis; e, a terceira condição depende da conscientização da população para o problema da escassez de energia e de incentivos governamentais.

A utilização da energia solar no Brasil é fortemente fundamentada nos equipamentos para aquecimento de água, com aplicações principalmente no setor residencial (individual e condomínios), hotéis e indústrias. Até 1978 foram instalados no país cerca de 10 a 15 mil metros quadrados de coletores solares para aquecimento de água para uso residencial, sendo projetado para 1990 um mercado mínimo de 600 mil metros quadrados. Dessa forma, a fabricação de sistemas solares de baixo custo, alto desempenho e longa durabilidade é vital para que estas projeções se concretizem e a energia solar substitua uma fração significativa dos derivados de petróleo e de outros energéticos escassos.

Os sistemas solares hoje disponíveis no mercado nacional requerem, de um modo geral, melhorias no seu projeto e fabricação, visando aumentar a sua eficiência térmica e reduzir os custos de fabricação.

Recentemente, a melhoria da eficiência térmica dos sistemas solares vem sendo conseguida, basicamente, utilizando-se a seguinte metodologia:

- 1) realização de testes e aquisição de dados experimentais a cerca do funcionamento dos sistemas durante médios ou longos períodos de tempo;
- 2) modelagem e simulação dos sistemas;
- 3) otimização dos sistemas com base nos dados experimentais e simulados.

Os dados experimentais, geralmente, são obtidos submetendo os sistemas solares a testes de média ou longa duração, acoplados a complexos sistemas de instrumentação, aquisição e tratamento de dados. A obten-

ção destes tipos de dados é, portanto, uma tarefa complexa e de alto custo, motivos pelos quais são escassos os dados a cerca do funcionamento dos sistemas de aquecimento disponíveis no mercado. Isto sem considerar que o desempenho de um determinado sistema solar pode se mostrar bastante diferente se instalado em regiões com diferentes regimes de radiação solar, temperatura ambiente, velocidade do vento e de consumo de água quente.

Por sua vez, a modelagem e a simulação são utilizadas, principalmente, para gerar informações sobre o comportamento dos sistemas solares em variadas condições operacionais e ambientais; e investigar o comportamento do sistema quando se introduz modificações no seu projeto original, visando determinar alterações vantajosas.

Desta forma, a otimização é feita em função dos resultados dos ensaios de média e longa duração, e, principalmente, em função da análise e interpretação dos dados obtidos através de simulações. Em geral, os resultados da otimização são recomendações de modificações no projeto do sistema de aquecimento que deverão conduzir à melhoria da sua performance térmica e/ou à redução dos seus custos de fabricação.

Entretanto, nas situações em que a modelagem e a simulação de sistemas se mostram como ferramentas indispensáveis, existe uma forte tendência de partir-se imediatamente para o esforço de modelagem e simulação. Esta tendência, geralmente conduz a soluções insatisfatórias e ao dispêndio de tempo e recursos desnecessários. A experiência advinda com o desenvolvimento de modelos de simulação mostra que a forma como se inicia um projeto de modelagem e simulação pode resultar no seu sucesso ou fracasso, sendo, portanto, recomendável dispender, ini-

cialmente, esforços no sentido de obter uma boa definição do problema e do modelo que se pretende desenvolver. Dessa forma, no Capítulo 1, procurou-se definir o problema a ser abordado e um modelo de simulação para solucioná-lo. O planejamento do modelo de simulação, é feito com base em uma metodologia, estabelecida pelo autor do presente trabalho para o planejamento de modelos de simulação de sistemas de aquecimento solar residencial, a qual se encontra no Apêndice A.

Em seguida, no Capítulo 2, utilizando uma abordagem por componentes, são apresentadas as hipóteses e o modelo matemático do sistema de aquecimento. No Capítulo 3 são apresentados os resultados de simulações para a verificação e validação do modelo. No Capítulo 4 é feita uma análise do desempenho de um dos sistemas de aquecimento instalados para teste no laboratório de combustão e propulsão do INPE. Esta análise serve, também, como um exemplo completo de utilização do modelo desenvolvido. Finalmente, no Capítulo 5, são apresentadas algumas conclusões e recomendações para um futuro aperfeiçoamento do modelo, visando torná-lo ainda mais preciso e flexível.

Finalmente, vale comentar que foram deixados como apêndices:

- 1) a metodologia de planejamento de sistemas de aquecimento solar que serve de base para a definição do problema e para o planejamento do modelo;
- 2) o ajuste das curvas para as propriedades físicas da água;
- 3) os programas de computador desenvolvidos;

- 4) os dados experimentais obtidos pelo LCP/INPE para o sistema de aquecimento utilizado para a verificação e validação do modelo;
- 5) exemplos dos arquivos de dados de entrada e dos gerados pelo modelo desenvolvido.
- 6) os gráficos e relatórios resultantes das simulações realizadas para a validação do modelo.

CAPÍTULO 1

PLANEJAMENTO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

1.1 - INTRODUÇÃO: AQUECIMENTO SOLAR - UMA ABORDAGEM SISTÊMICA

Para proporcionar uma melhor análise dos sistemas de aquecimento solar, é conveniente classificá-los, de acordo com o uso final da energia captada, em dois tipos:

- 1) sistemas para aquecimento de água;
- 2) sistemas para aquecimento de ambientes.

Cada um destes dois tipos de sistemas podem ser, por sua vez, classificados em ativos, passivos ou híbridos (Kreider, 1982).

Um sistema de aquecimento solar residencial é considerado passivo quando a energia e o fluxo de massa através do sistema ocorrem por meios naturais, envolvendo, por exemplo, condução, evaporação, convecção e radiação térmica. É considerado ativo quando todo o fluxo de massa através do sistema ocorre de modo forçado, envolvendo, por exemplo, bombas e ventiladores. Um sistema é considerado híbrido quando pelo menos um dos fluxos de massa significantes ocorre através de meios naturais e pelo menos um outro ocorre de modo forçado.

Os sistemas solares voltados para o aquecimento de água para uso residencial podem, também, ser classificados em dois tipos básicos:

- 1) diretos;
- 2) indiretos.

Os sistemas diretos são aqueles em que o aquecimento da água é realizado diretamente no coletor solar. Os sistemas indiretos são aqueles nos quais se utiliza um meio separado de aquecimento de um fluido de trabalho no coletor solar e a água para consumo é aquecida de modo indireto por intermédio de um trocador de calor.

Os sistemas solares de aquecimento de água podem, ainda, ser de circuito aberto ou fechado. Nos sistemas de circuito fechado existe um trocador de calor entre o sistema solar e o reservatório de água para consumo. Nos sistemas abertos a água para consumo é diretamente aquecida no coletor. A Figura 1.1 ilustra alguns dos tipos de sistemas solares mencionados. A Figura 1.2 esquematiza os tipos de sistemas de aquecimento solar residencial, incluindo-se os voltados para o aquecimento de ambientes.

Duff e Winn (1981) sugerem duas formas básicas para se abordar os sistemas de aquecimento solar em um projeto de modelagem e simulação. Sugerem que sejam estabelecidas as fronteiras do sistema, especificando que processos e efeitos são internos ao sistema, e que processos e efeitos são externos a este. Em seguida deve-se subdividir o sistema em subsistemas e determinar as interações entre eles. Os subsistemas, por sua vez, podem ser abordados por componentes ou por funções. As Figuras 1.3 e 1.3A exemplificam estas duas situações.

Na abordagem por componentes, um ou mais componentes do sistema podem ser considerados como um

subsistema. Por exemplo, a bomba para circulação do fluido de trabalho no coletor e o trocador de calor na Figura 1.3, podem ser considerados subsistemas distintos ou um único subsistema.

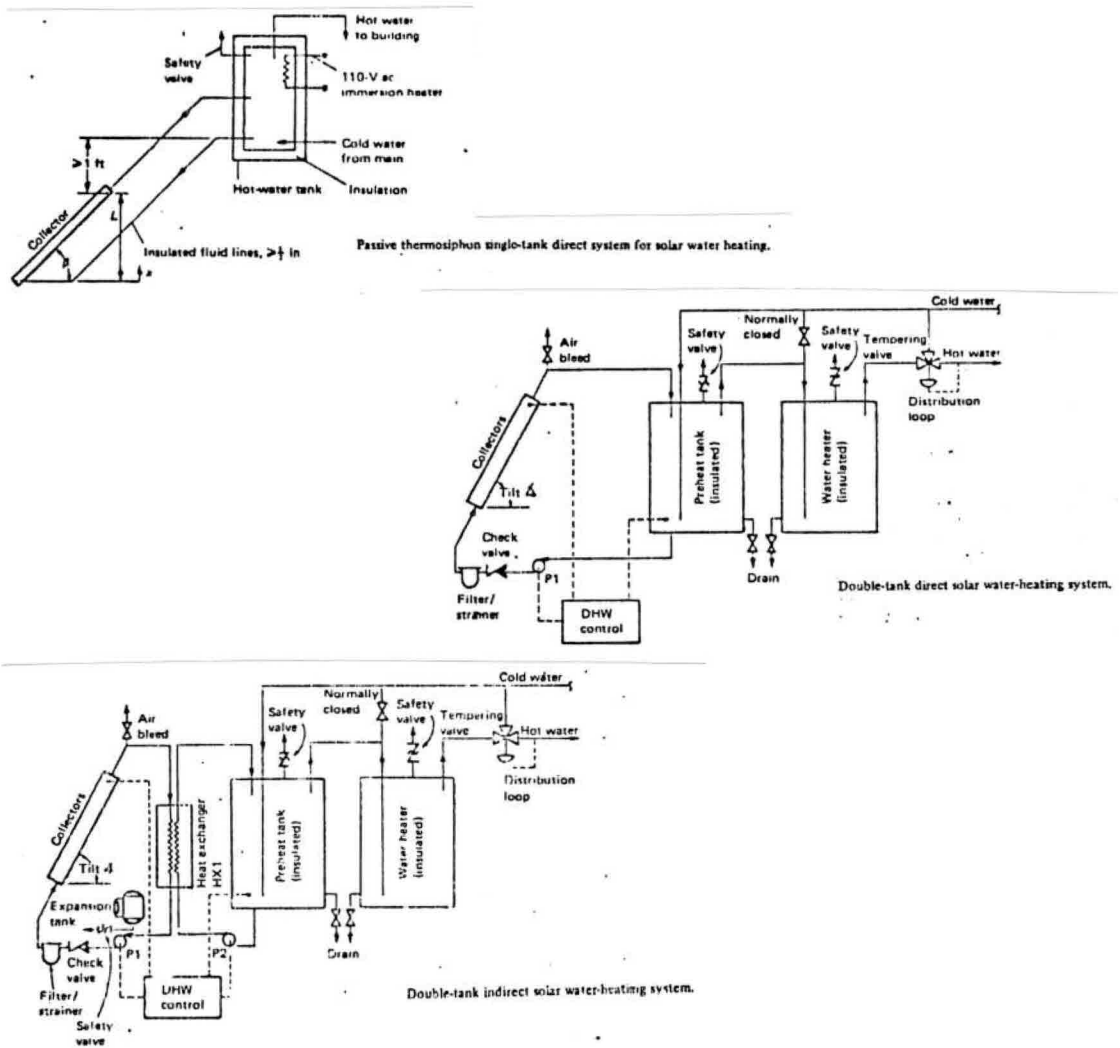


Fig. 1.1 - Exemplos de Alguns Tipos de Sistemas de Aquecimento Solar Residencial.

FONTE: Kreider (1982).

Na abordagem por função, uma ou mais funções do sistema de aquecimento podem ser consideradas como um subsistema. A Figura 1.3A mostra uma possível

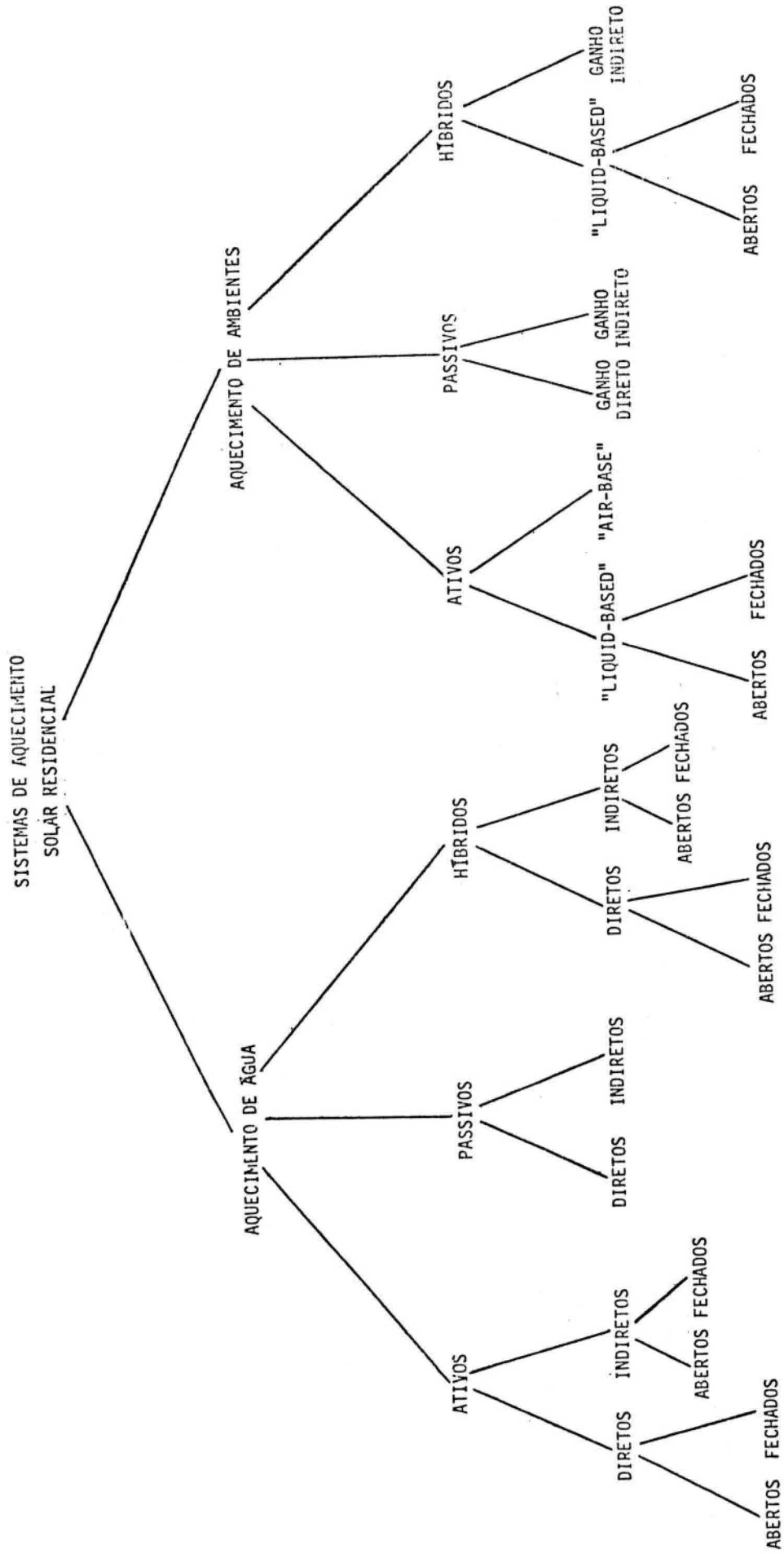


Fig. 1.2 - Tipos de Sistemas de Aquecimento Solar Residencial.

forma de abordar por função o sistema representado na Figura 1.3.

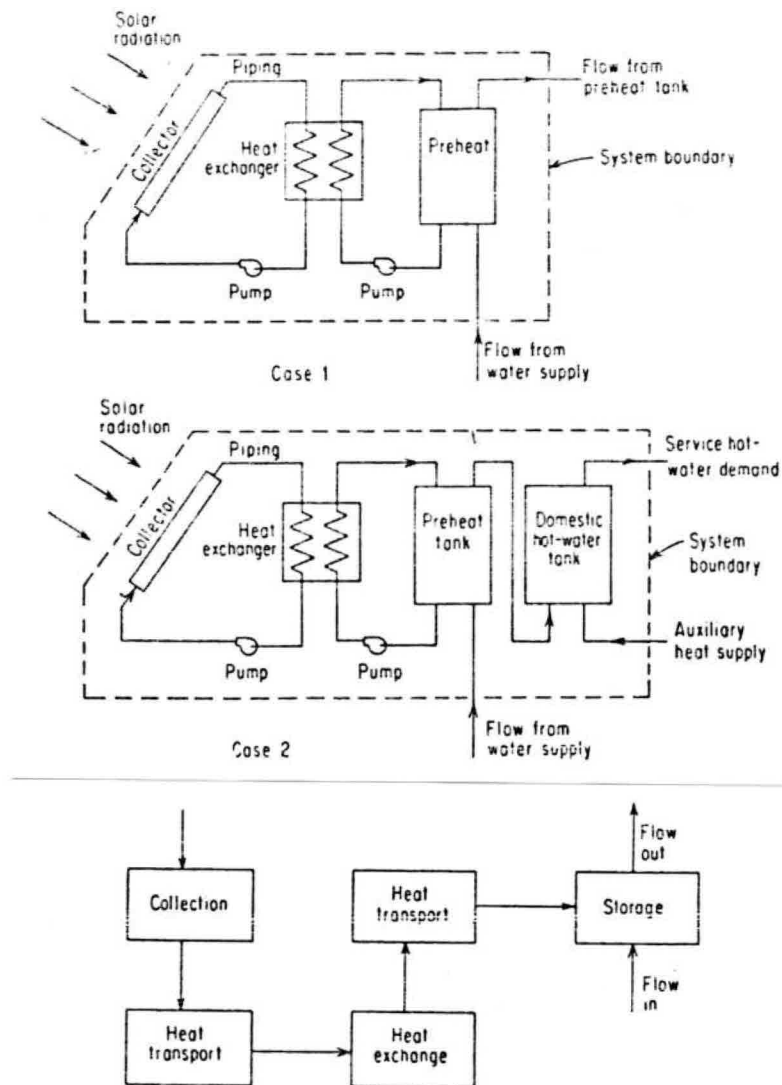


Fig. 1.3 e 1.3A - Organização por Componentes e por Funções.

FONTE: Duff, W e Winn, B (1981).

Cada uma das duas formas de abordagem dos sistemas solares possuem suas vantagens e desvantagens, e a escolha de qual forma deve ser utilizada deve ser feita

em função dos propósitos do modelo de simulação e do tipo de sistema que se pretende modelar.

As funções básicas principais de um sistema de aquecimento solar residencial são:

- 1) captação da energia solar;
- 2) transferência desta energia para o fluido de trabalho;
- 3) armazenamento do fluido de trabalho minimizando-se as perdas;
- 4) controle do funcionamento do sistema.

A captação da radiação solar se faz no coletor, onde a energia proveniente do sol é absorvida na sua superfície. Os coletores largamente utilizados em sistemas residenciais são os de superfície plana, empregados para operar em uma faixa de temperatura de 30° C a 90° C.

A segunda função básica de um sistema de aquecimento solar, a transferência da energia térmica absorvida para o fluido de trabalho, é cumprida no interior do coletor, onde o fluido a ser aquecido circula na rede de tubos da placa absorvedora.

A terceira função básica do sistema, o armazenamento de energia, se cumpre no tanque de armazenamento, onde o fluido de trabalho é armazenado em um reservatório de modo que as perdas térmicas sejam mínimas, ficando disponível para o consumo.

A última função básica, o controle do funcionamento da instalação é feito, no caso de sistemas ativos, por dispositivos mecânicos ou eletromecânicos, cuja função é comandar no momento adequado a circulação de água no sistema, ou o uso de sistemas de aquecimento auxiliares.

1.2 - MODELOS PREVIAMENTE DESENVOLVIDOS

Os primeiros modelos de simulação de sistemas de aquecimento solar, desenvolvidos com o propósito de simular a performance térmica de sistemas do tipo passivo e direto, fundamentaram-se na análise da performance de coletores solares planos desenvolvida por Hottel e Willier (1958) e Bliss (1959), a qual foi posteriormente generalizada por Liu e Jordan (1963). Essa análise, denominada " Φ Method", expressa o calor útil ganho no coletor em termos de duas variáveis operacionais:

- 1) a radiação total (direta e difusa) incidente sobre a placa absorvedora;
- 2) a diferença de temperatura entre o fluido de trabalho na entrada do coletor e a temperatura ambiente.

Duffie (p.125, 1974) enumera as principais restrições dessa análise, entre as quais julgamos ser relevante destacar as seguintes:

- 1) a operação do sistema é considerada apenas em regime permanente;
- 2) os fluxos de calor no sistema são unidimensionais;

- 3) o efeito da capacitância térmica dos componentes do sistema é desprezado. A Figura 1.4 ilustra a evolução dos modelos de simulação de sistemas de aquecimento solar residencial.

Close (1962) foi um dos primeiros a propor um modelo matemático para sistemas com circulação natural (passivo e direto), introduzindo o conceito de "temperatura média do sistema", o qual, posteriormente, viria a ser utilizado em alguns modelos como, por exemplo, por Gupta e Garg (1968). O modelo proposto por Close (1962) era voltado para a simulação da performance térmica do sistema, considerando-se o caso ideal de não haver retirada de água durante o dia e os dias serem claros. O perfil de temperatura da placa absorvedora e do tanque foi considerado linear, e as perdas de calor nas tubulações desprezíveis.

Close (1967) desenvolveu um modelo numérico para determinar os parâmetros que mais influenciam sobre o comportamento do sistema. Este modelo permitia a inclusão de dispositivos de controle no sistema (circulação forçada ou termosifão), e levava em consideração o efeito da capacitância térmica da placa absorvedora. O programa desenvolvido, denominado COBLOC, era voltado para o computador digital CDC 1604.

Gupta e Garg (1968) modificaram o modelo proposto por Close (1962), incorporando um fator de eficiência para a placa absorvedora e considerando as variações na temperatura ambiente e na intensidade de radiação. Esse modelo considerava, ainda, a capacitância térmica do sistema, mas a restrição de não ser retirada água do sistema foi mantida. Foram escritos quatro programas de computador em FORTRAN II para realizar as simulações dos sistemas, sendo as respostas do modelo, se-

gundo os Autores, bastante próximas dos resultados experimentais obtidos.

Mais recentemente, Ong (1976) ao invés de considerar uma temperatura média para o sistema, como o fez Close (1962), dividiu o sistema em um número finito de seções, assumindo um perfil linear de temperatura para cada seção. Segundo Ong (p.191, 1976), os resultados obtidos por esse modelo foram considerados melhores que a dos modelos de sistemas com circulação natural anteriormente desenvolvidos.

Sheridan (1967) utilizou um computador analógico para realizar estudos a cerca da operação de sistemas de aquecimento solar ativos e diretos. Esse modelo de Sheridan permitia considerar os efeitos da estratificação do tanque sobre a performance térmica do sistema.

Baseado no modelo de Sheridan (1967), Gutierrez et alli (1974) desenvolveu um modelo para simular um sistema de aquecimento solar com circulação forçada e com tanque de armazenamento estratificado, utilizando um computador híbrido. O objetivo era estudar o efeito de sistemas auxiliares de energia, da capacidade do tanque de armazenamento e do perfil da demanda de energia sobre o sistema, para apresentar resultados genéricos que pudessem vir a ser utilizados como diretrizes para projetos de sistemas de aquecimento solar.

O efeito da estratificação do tanque de armazenamento sobre a performance dos sistemas de aquecimento solar seria, também objeto de estudo de modelos desenvolvidos por diversos pesquisadores, entre outros, por exemplo, Phillips e Dave (1981), Lavan e Thompson

(1977), Sharp e Loehrke (1978), Zob (1979), e Young e Berquan (1984).

A performance transiente dos sistemas de aquecimento solar residencial começou a ser considerada nos modelos de simulação em meados da década de 70. Com o propósito de descrever a performance transiente dos sistemas solares, Tzafestas (1974) desenvolveu um modelo genérico para a simulação do comportamento dinâmico de sistemas solares com circulação natural, baseado na discretização de equações diferenciais.

Klein (p.29, 1975) observou que uma das características importantes dos sistemas solares é a sua modularidade. Vários sistemas possuem componentes comuns, e a sua modelagem pode ser flexível de modo que possa ser utilizada para a simulação de sistemas com configurações diferentes. Desenvolveu, então, o primeiro programa modular para simular o comportamento dinâmico de sistemas solares. Este programa, denominado TRNSYS (Transient System Simulation), escrito em FORTRAN, é composto de uma "rotina executiva" e de um determinado número de subrotinas, a maioria delas dedicadas à modelagem dos componentes dos sistemas de energia solar, tais como coletores, tanques de armazenamento, trocadores de calor, aquecedores auxiliares, bombas etc. Cabe ao usuário apenas a especificação dos componentes do sistema, como eles deverão ser interligados e os níveis de complexidade das soluções.

O programa TRNSYS é considerado um modelo de simulação "quasi-steady" Duff e Byron (p.20, 1981). Isso porque as funções dependentes do tempo, como a radiação incidente e a temperatura ambiente, são funções discretas aplicadas ao sistema em intervalos finitos (usualmente 1 hora) Klein et alli (p.2, 1975).

Estudos de avaliação do TRNSYS tem demonstrado que o erro médio entre os resultados da simulação e os resultados experimentais situam-se em torno de 10% para as variáveis de estado consideradas Duff e Winn (p.21, 1981).

Considerando, também, a performance transiente dos sistemas, Eltimsahy e Coppas (1976) desenvolveram um método para a simulação "on-line" de sistemas de aquecimento solar residencial. Esse método consiste em utilizar um sistema existente como "modelo de referência", o qual é utilizado para fornecer em tempo real dados para o computador no qual a simulação do sistema de interesse é realizada. A aplicação deste método exige a utilização de sofisticados equipamentos de medida e aquisição de dados, além da existência do "modelo de referência". A principal aplicação desse método, segundo seus autores, é a pesquisa em sistemas solares.

Baseado na possibilidade de obter dados de simulação de um determinado sistema, através dos modelos até então desenvolvidos de forma satisfatória, como por exemplo o TRNSYS, Klein et alli (1976) desenvolveu um método denominado Φ F-CHART para estimar a performance anual de sistemas de aquecimento solar residencial em termos da Fração Solar (razão entre a quantidade de energia fornecida pelo sistema solar e a energia total demandada de um determinado sistema de aquecimento em um determinado período). Esse método foi programado em conjunto com rotinas para análise de viabilidade econômica, sendo o programa de computador denominado Φ FCHART, Duffie (p.511, 1980).

O método F-CHART apresenta certas restrições que impossibilitam a sua utilização para sistemas que:

- 1) sejam diferentes dos tipos para os quais foi desenvolvido (sistemas ativos, indiretos, fechados); ou
- 2) sistemas do mesmo tipo mas cujos parâmetros operacionais não se enquadram nas restrições estabelecidas, Duffie (p.486, p.60, 1980).

Também com o objetivo de estimar a performance térmica anual dos sistemas solares, Klein (1978) desenvolveu um método de simulação denominado " Φ Method", o qual é uma extensão do " Φ Method". Neste modelo o esforço computacional foi significativamente reduzido.

Klein e Beckman (1979) combinaram o conceito de "utilizabilidade" (fração da radiação solar incidente que pode ser convertida em calor útil, isto é utilizada, por um coletor sem perdas térmicas e ópticas e operando a uma diferença de temperatura fixa entre o fluido na entrada do coletor e o ambiente) com o método F-CHART e desenvolveram um método de simulação denominado " Φ F-CHART Method", para sistemas nos quais o método F-CHART não pode ser aplicado pelo fato de alguns parâmetros operacionais não se enquadrarem nas suas restrições, Duffie (p.600, 1980). Portanto, o método " Φ F-CHART" também somente se aplica a sistemas do tipo ativo, indireto e fechado, sendo relaxadas apenas algumas das restrições operacionais existentes no F-CHART.

Braun (1983) estendeu o método de simulação " Φ F-CHART" a sistemas do tipo ativos, indiretos e abertos, mantendo, entretanto, as restrições operacionais do

" ϕ F-CHART". Esta extensão do método " ϕ F-CHART" foi denominada "Modified ϕ , F-CHART Method", podendo também ser aplicada a sistemas do tipo fechado para os quais o método " ϕ ", " ϕ F-CHART" foi desenvolvido. Entretanto, o "Modified ϕ , ϕ F-CHART Method" é de aplicação mais difícil que o F-CHART, sendo recomendado o seu uso apenas para os sistemas para os quais o F-CHART não se aplica.

Baseado em propriedades estatísticas de médias mensais da intensidade e da temperatura de bulbo seco, Sfeir (1980) desenvolveu um modelo estocástico para a simulação da performance térmica anual de sistemas de aquecimento solar ativos, diretos e abertos. Este modelo assume que a temperatura da água de entrada no coletor é igual à temperatura do tanque de armazenamento sobre o qual não se considera o efeito de estratificação. Segundo o seu autor, este método pode ser adaptado para outros tipos de sistemas de aquecimento. Experimentos realizados pelo seu autor mostraram que os resultados desse modelo são bastante próximos aos do modelo F-CHART.

Usualmente, os modelos de simulação expressam a performance térmica dos coletores solares como uma função linear das condições operacionais. Recentemente, Gordon (1981), Cooper e Dunkle (1981), e Phillips (1982) passaram a considerar a não-linearidade da eficiência térmica dos coletores em relação às condições operacionais. Entretanto, comparações realizadas por Gordon (1981) entre a performance térmica não-linear e linear de um mesmo coletor, mostraram que para a maioria das circunstâncias os modelos lineares são adequados. Phillips (p.77, 1982) afirma que o ganho na precisão dos modelos não-lineares em relação aos modelos lineares não justifica o esforço computacional adicional requerido pelos modelos não-lineares em relação aos lineares.

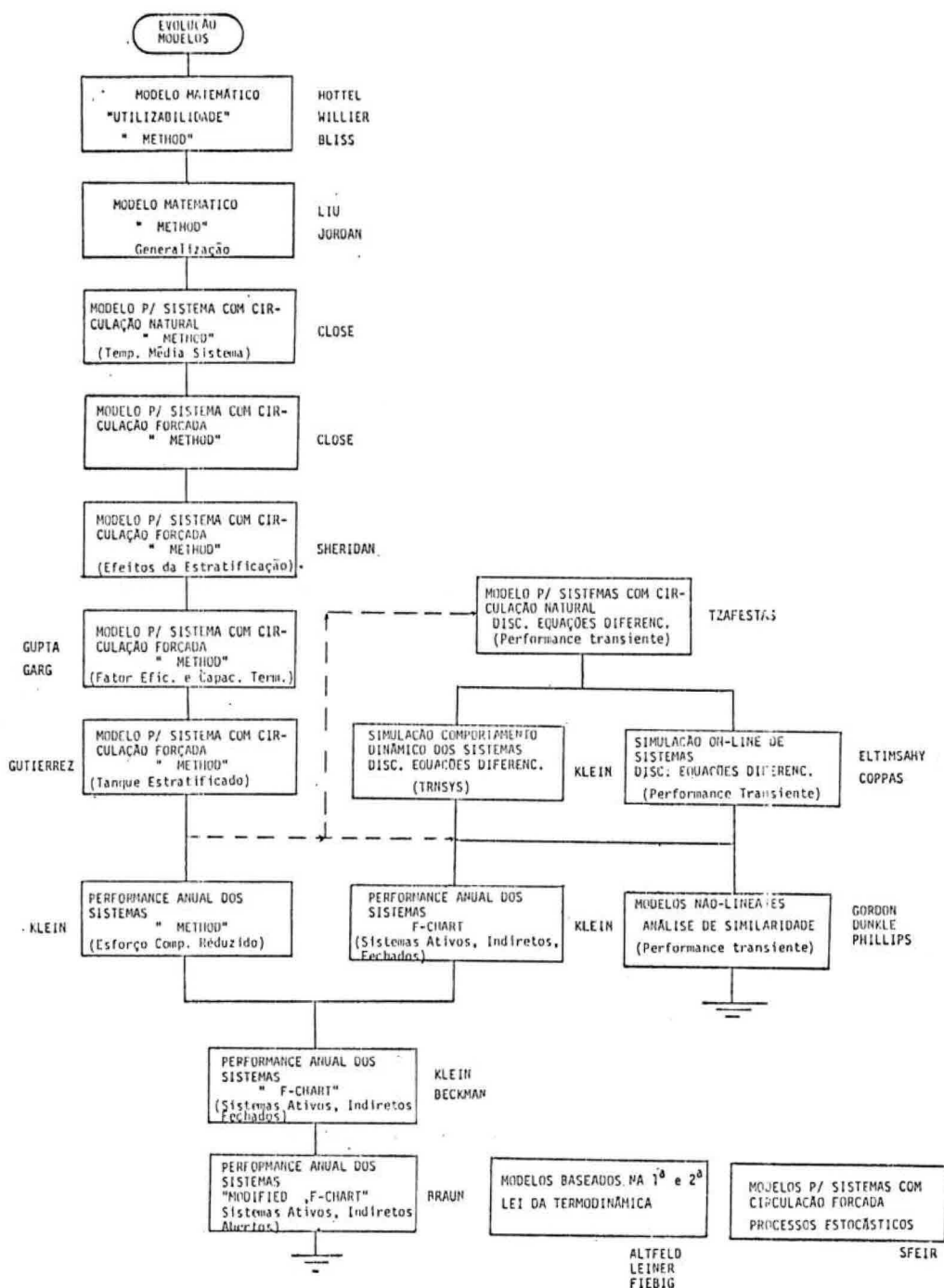


Fig. 1.4 - Evolução dos Modelos de Simulação de Sistemas de Aquecimento Solar Residencial.

Finalmente, vale comentar que todos os modelos citados anteriormente desenvolvem a análise energética do sistema baseada na primeira Lei da Termodinâmica, a qual permite determinar as quantidades de energia transferidas em um processo. Fugindo a esta linha, alguns pesquisadores, tais como K. Altfeld, W. Leiner e M. Fiebig, têm procurado desenvolver modelos de simulação de sistemas de aquecimento solar baseado em um outro tipo de análise energética, a qual fundamenta-se na aplicação simultânea da Primeira e da Segunda Lei da Termodinâmica. Este outro tipo de análise leva em conta também a degradação da energia que acompanha qualquer processo real, ou seja, quando se utiliza energia gerada por um processo espontâneo qualquer é impossível para o sistema e suas vizinhanças a recuperação espontânea do estado anterior de menor entropia. Entretanto, raramente se encontra trabalhos sobre modelagem de sistemas de aquecimento solar que utilizam este tipo de análise energética.

1.3 - DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A definição que segue foi elaborada com base em um problema real apresentado por uma empresa governamental que atua no setor energético, a qual será referenciada por "cliente", a um dos Laboratórios de Energia Solar do INPE, o qual será referenciado por LCP/INPE.

Existem no País diversos fabricantes de sistemas de aquecimento solar para uso residencial e uma dezena de modelos diferentes desses sistemas. No entanto, é fácil verificar grandes variações tanto na capacidade de projetar um sistema adequado às necessidades do usuário, quanto na qualidade dos sistemas comercializados.

Estas variações na capacidade de projeto e a inexistência de informações a cerca do desempenho dos sistemas solares disponíveis no mercado nacional, levaram uma empresa governamental do setor energético ("cliente") a propor ao LCP/INPE a idealização de um experimento para verificar a real viabilidade de reduzir o consumo residencial de energia elétrica, utilizando energia solar para o aquecimento de água.

Desta forma, para avaliar a redução no consumo de energia elétrica propiciada pela utilização de energia solar, o LCP/INPE realizou testes em quatro sistemas solares de fabricantes nacionais, sendo dois de baixo custo e dois mais sofisticados. Todos foram projetados para aquecer diariamente 150 litros de água de 15°C para 40°C, ou seja, fornecer 4354 WHr de energia por dia. Cada um dos sistemas foi equipado com um sistema de aquecimento secundário (resistência elétrica e termostato) para permitir manter a temperatura da água no reservatório em torno de no mínimo 45°C, caso a energia proveniente da radiação solar fosse insuficiente.

Foram instalados sensores de temperatura na entrada e na saída de água dos coletores, na tomada de água quente para consumo, e para medir as seguintes condições ambientais:

- a) temperatura ambiente;
- b) radiação solar no plano dos coletores;
- c) temperatura da água fria na entrada de todos os sistemas;
- d) velocidade do vento na altura dos coletores.

Os aquecedores auxiliares foram controlados por um temporizador eletrônico para permitir a ligação destes à rede elétrica apenas em determinados períodos do dia, mesmo com a temperatura da água no reservatório abaixo de 45 C.

O consumo de água quente foi simulado através de válvulas eletromagnéticas calibradas para permitir a retirada de água a uma vazão constante, de acordo com o perfil de consumo fornecido pelo "cliente".

Os dados ambientais e operacionais, mencionados anteriormente, foram obtidos e registrados através de um sistema de aquisição de dados em conjunto com um computador ligado aos sensores. Este sistema de aquisição de dados realizava a leitura de todos os dados de cinco em cinco segundos, calculava os valores médios a cada 6 minutos, armazenava-os em fita magnética e os transferia periodicamente para um outro computador onde os cálculos eram realizados. A Figura 1.5 mostra o esquema de interligação entre os sensores e o sistema de aquisição de dados, bem como as conexões com os demais equipamentos.

Desta forma, registrou-se o consumo de água quente, a radiação total recebida, a energia substituída, o consumo elétrico e a fração solar de cada sistema durante, aproximadamente, 6 (seis) meses.

Entretanto, é necessário também obter este mesmo tipo de informação para outras localidades, as quais apresentam perfil de consumo, temperatura ambiente e intensidade de radiação solar bastante diferentes da região na qual o experimento foi realizado (Cachoeira Paulista, SP), e para sistemas de aquecimento projetados por outros fabricantes.

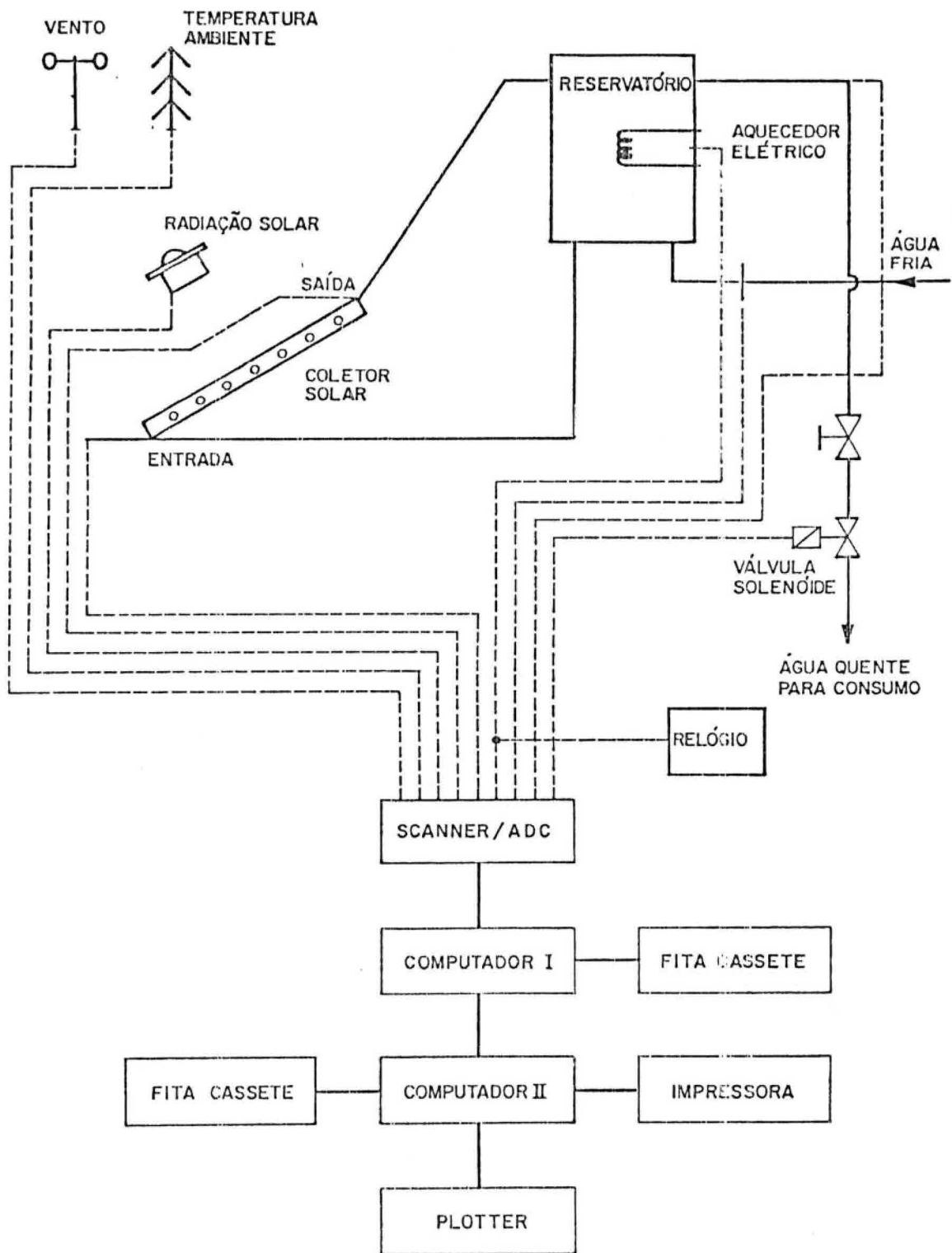


Fig. 1.5 - Interligação entre os Sensores e o Sistema de Aquisição de Dados.

Como seria demasiadamente custoso repetir o experimento descrito para outros sistemas de aquecimento e em diferentes localidades, adotou-se a solução de desenvolver um modelo de simulação de sistemas de aquecimento solar que permita obter resultados semelhantes aos do sistema de teste descrito. Ou seja, o LCP/INPE necessita de um modelo de simulação que permita analisar o desempenho térmico de sistemas de aquecimento solar do tipo aberto, direto, passivo ou ativo, quando submetidos a variadas condições ambientais e operacionais, e determinar a redução no consumo de energia elétrica que seria proporcionado pelo uso da energia solar (determinar a fração solar).

1.4 - CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO A SER MODELADO

Os sistemas de aquecimento solar a serem modelados são os do tipo que foram testados no LCP/INPE (passivo, direto e aberto, conforme a classificação apresentada anteriormente). A Figura 1.6 representa esquematicamente o tipo de sistema a ser modelado.

Os demais dados necessários para a caracterização do sistema encontram-se apresentados na Tabela 1.1.

Conforme descrito na definição do problema e representado na Figura 1.5, o consumo de água quente é controlado por um "timer" e por uma válvula solenóide que permite a retirada de água em uma vazão constante de 3 litros por minuto. A válvula solenóide é controlada de modo que só é permitida a retirada de água quente às 7:00 hs, às 12:00 hs e às 18:00 hs, em conformidade com o perfil de consumo esquematizado na Figura 1.7.

TABELA 1.1

DADOS DOS SISTEMAS SOLARES

SISTEMA	I	II	III	IV
DATA DE INSTALAÇÃO	22/09/86	04/10/86	17/11/86	08/01/87
NÚMERO DE COLETORES	2	2 (1)	1	2
ÁREA TOTAL m ²	3.74	3.72 (1.86)	2.79	3.48
COBERTURA	SEM	VIDRO 3 mm	VIDRO 3 mm MARTELADO	VIDRO 4 mm MARTELADO
CAIXA	SEM	ALUMÍNIO	ALUMÍNIO ANODIZADO	ALUMÍNIO ANODIZADO
ISOLAÇÃO	SEM	LÃ DE VIDRO 50 mm	POLIURETANO 25 mm	POLIURETANO
ABSORVEDOR	POLIPROPILENO RÍGIDO	EPDM TUBOS FLEXÍVEIS	TUBOS DE COBRE ALETAS DE COBRE ENCAIXADAS	TUBOS DE COBRE, ALETAS DE ALUMÍ- NIO PRENSADAS
SUPERFÍCIE ABSORVEDORA	PRÓPRIA PLACA	PRÓPRIOS TUBOS	TINTA PRETA	TINTA PRETA
TIPO DO TANQUE	CILINDRO VERTICAL ABERTO	CUBICO ABERTO	CILINDRO HORIZONTAL PRESSURIZADO	CILINDRO HORIZONTAL PRESSURIZADO
VOLUME (l)	280	250	150	200
MATERIAL	POLIPROPILENO	FIBROASBESTO	AÇO VIDRIFICADO	AÇO INOX
ISOLAÇÃO	LÃ DE VIDRO 25 mm	POLIURETANO 100 mm	LÃ DE VIDRO 50 mm	LÃ DE VIDRO 50 mm
TUBULAÇÃO	PVC 1 1/2"	POLIPROPILENO 1 1/2"	COBRE 1"	COBRE 1"
AQUECEDOR ELÉTRICO	127 VOLTS 8,2 Ω 1,95 KW	220 VOLTS 32,4 Ω 1,49 KW	127 VOLTS 9,3 Ω 1,73 KW	220 VOLTS 26,8 Ω 1,8 KW
TERMOSTATO	SIM	SIM (NOVO 30/01/87)	SIM	SIM
VOL. AQUECIDO (% DO VOL. TOTAL)	50%	25%	50%	50%

FONTE: Anhalt (1987).

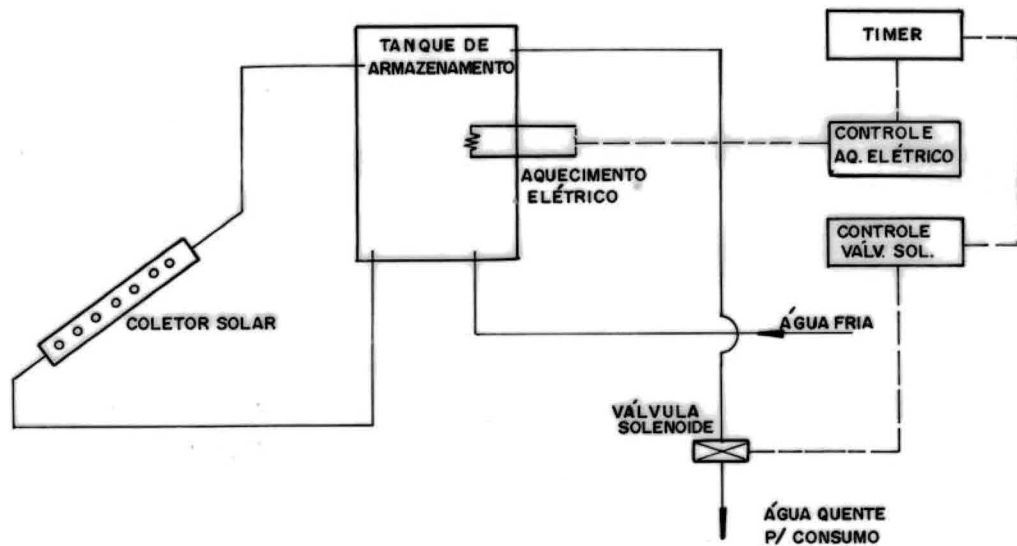


Fig. 1.6 - Esquema do Tipo de Sistema a Ser Modelado.

1.5 - DEFINIÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

O modelo a ser desenvolvido deverá ser determinístico, discreto, por incremento fixo de tempo (1 hora). A modelagem do coletor deverá ser baseada no método de modelagem de sistemas de aquecimento solar denominado " Φ Method", Hottel e Willier (1958), Bliss (1959). A modelagem do comportamento térmico do tanque de armazenamento deverá ser baseada no método de discretização de equações diferenciais desenvolvido por Duffie (1974).

O tanque deverá ser considerado como estratificado, isto é, a temperatura da água na sua parte superior é maior que a temperatura na sua parte inferior, devendo ser dividido em um número "N" de seções, em cada

uma das quais a temperatura da água deverá ser considerada uniforme. O reabastecimento de água no tanque de armazenamento deverá ser feito nos mesmos instantes e na mesma taxa com que é retirada para consumo.

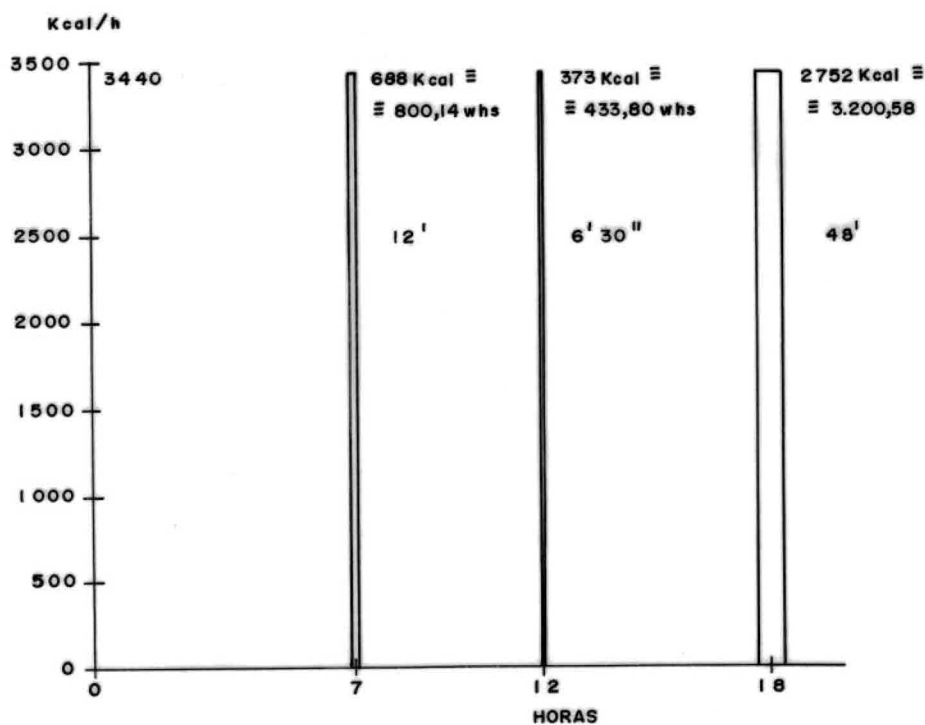


Fig. 1.7 - Perfil de Consumo.

FONTE: Anhalt (1987).

O temporizador controla a ligação dos aquecedores elétricos, permitindo sua ligação à rede elétrica, caso necessário, de 5:00 hs às 7:00 hs, de 10:00 hs às 12:00 hs e das 15:00 hs às 18:00 hs, inibindo o uso de energia elétrica em qualquer outro período, mesmo que a temperatura da água no reservatório esteja abaixo de 45°C.

A partir dos dados ambientais e do perfil de consumo de água quente fornecidos ao modelo na forma de "inputs determinísticos", o modelo deverá simular o comportamento térmico do sistema, fornecendo, além dos valores das variáveis de saída especificadas no modelo estático, o comportamento do sistema simulado de modo que se possa analisar a eficiência térmica dos seus componentes e obter a redução no consumo de energia elétrica proporcionada pelo uso da energia solar (fração solar).

O modelo de simulação deverá ser composto por três módulos básicos:

- 1) um módulo de "input" para o fornecimento dos dados ambientais, operacionais e das condições de inicialização e término das simulações;
- 2) um módulo composto pelos modelos dinâmicos de cada componente do sistema de aquecimento solar e por um modelo dinâmico do sistema que integra os modelos dos componentes;
- 3) um módulo de edição responsável pela emissão dos dados simulados.

A Figura 1.8 representa esquematicamente a estrutura geral do modelo de simulação.

1.5.1 - PARÂMETROS E VARIÁVEIS

Com relação aos componentes do sistema de aquecimento, separadamente, são os seguintes os parâmetros e as variáveis de entrada e saída a serem considerados no modelo:

a) Coletor Solar Plano

a.1 - Parâmetros

Área de Captação de Energia Solar

Número de Tubos de Elevação

Absortividade da Placa

Transmitância da Cobertura

Distância Placa-Cobertura

Emitância da Cobertura

Condutividade Térmica do Isolante

Condutividade Térmica da Placa

Condutividade Térmica dos Tubos

Distância entre Tubos de Elevação

Densidade do Material da Placa

Densidade do Material dos Tubos

Comprimento dos Tubos de Elevação

Largura da Placa Absorvedora

Espessura da Placa Absorvedora

Diâmetro Externo dos Tubos de Elevação

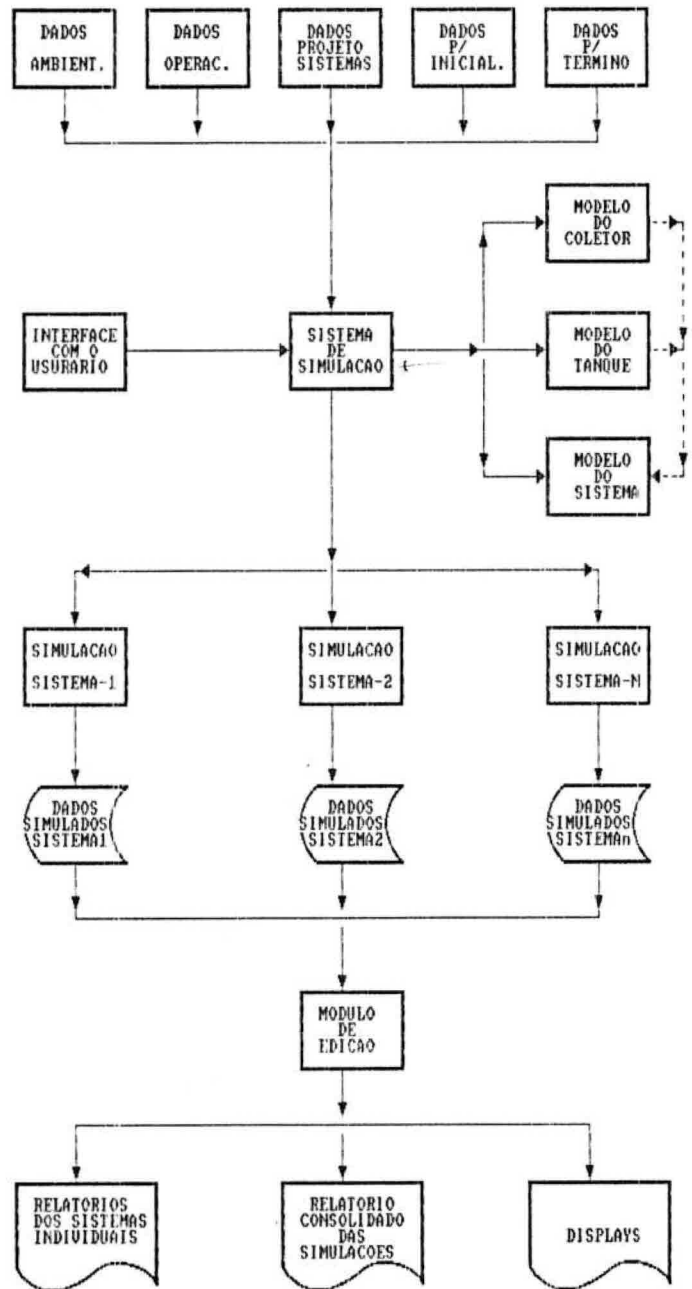


Fig. 1.8 - Estrutura Organizacional para o Modelo de Simulação.

Diâmetro Interno dos Tubos de Elevação

Espessura do Isolamento Térmico

Inclinação do Coletor em Relação à Horizontal

Orientação do Coletor em Relação ao Norte

Latitude do Local de Instalação do Coletor Solar

a.2 - Saídas

Fator de Eficiência do Coletor

Coeficiente Global de Perda de Calor

Vazão de Água no Coletor

Temperatura da Água na Saída do Coletor Solar

Calor Absorvido pela Água

Rendimento Térmico do Coletor

a.3 - Entradas

Radiação Solar Incidente em uma Superfície Horizontal

Temperatura Ambiente

Velocidade do Vento

Temperatura da Água na Entrada do Coletor Solar

b) Tanque de Armazenamento

b.1 - Parâmetros

Volume do Tanque de Armazenamento

Tipo do Tanque de Armazenamento

Condutividade Térmica do Isolante

Condutividade Térmica do Material do Tanque

Espessura do Isolamento Térmico

Número de Segmentos para Estratificação do
Tanque de Armazenamento

b.2 - Saídas

Temperatura da Água na Saída do Tanque para o
Coletor

Temperatura da Água para Consumo

Temperatura da Água na Seção 'i' do Tanque

Coefficiente Global de Perda de Calor

b.3 - Entradas

Vazão da Água Quente p/ Consumo

Temperatura da Água de Retorno do Coletor

Temperatura da Água de Reabastecimento do
Tanque

Perfil de Consumo de Água Quente

Hora do dia

c) Aquecimento Auxiliar

c.1 - Parâmetros

Resistência Elétrica

Tensão de Operação

Temperatura Mínima da Água na Saída do Tanque

c.2 - Saídas

Consumo de Energia Elétrica

c.3 - Entradas

Temperatura da Água na Saída do Tanque

Hora do Dia

1.5.2 - ESTRUTURA DO SISTEMA DE SIMULAÇÃO

Conforme definido no item 3.3 do Apêndice A (Metodologia de Planejamento de Sistemas de Aquecimento Solar Residencial), o sistema de simulação deve ser entendido como o conjunto de arquivos de dados e programas de computador que incorporam em si os modelos estático e dinâmico do sistema de aquecimento solar, proporcionam as formas para a introdução dos dados necessários à simulação do sistema real, processam esses dados e emitem os resultados interessantes desses processamentos.

Desta forma, baseado na estrutura organizacional representada na Figura 1.8, estruturou-se o sistema de simulação da forma como esquematizado na Figura 1.9. Os dados ambientais são fornecidos através do arquivo "SIMULA/PKR/DATARADIATION". Os parâmetros de projeto do coletor solar, do tanque de armazenamento e do aquecimento elétrico auxiliar são fornecidos através dos arquivos "SIMULA/PJ/COLETOR" e "SIMULA/PJ/TANK", respectivamente. Os dados operacionais são fornecidos através dos arquivos "SIMULA/OP/TANK" e "SIMULA/OP/PROFILE", sendo que o primeiro destes contém informações referentes a algumas características operacionais do tanque de armazenamento, e o segundo o perfil de consumo de água quente, ou seja, de retirada de energia do sistema. Finalmente, os dados para inicialização do modelo do tanque de armazenamento são fornecidos através do arquivo "SIMULA/IN/TANK".

O programa de computador responsável pela simulação do sistema de aquecimento solar, que incorpora os modelos dos componentes do sistema de aquecimento e as funções de controle do mesmo é o "SIMULA/PS/HEATSYSTEM". Além de emitir relatórios e gráficos contendo dados das simulações em base horária, gera o arquivo "SIMULA/PKR/SYSTEM" com os dados simulados necessários para a determinação dos parâmetros da função de correlação dos dados e para cálculo da fração solar.

O programa "SIMULA/PS/DATACORR" transforma os dados simulados do arquivo "SIMULA/PKR/SYSTEM" em médias diárias, calcula os valores das variáveis independentes da função de correlação para a fração solar, gravando-os no arquivo "DATA/PKT/LSN", de acordo com o período de integração estabelecido.

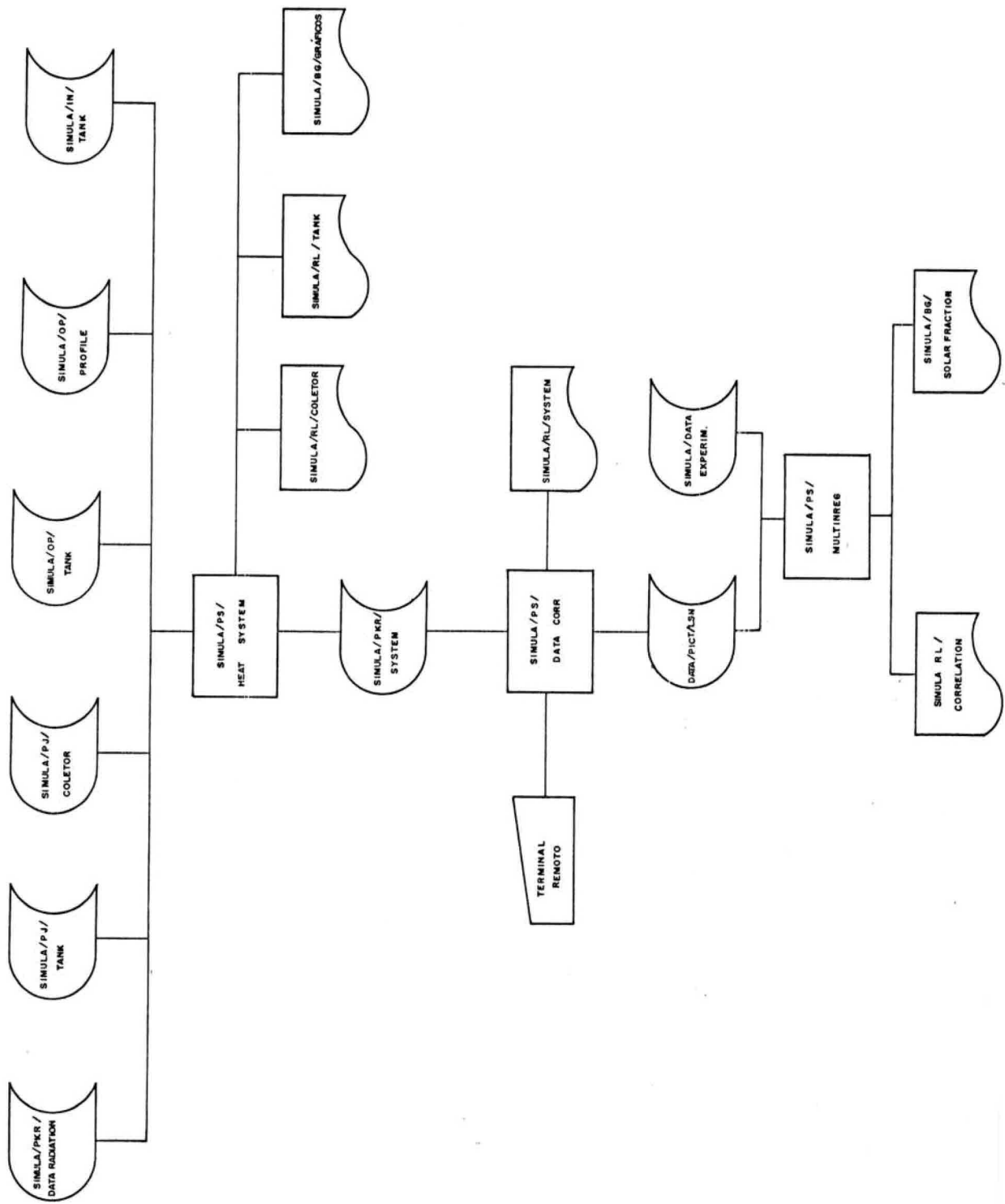


Fig. 1.9 - Estrutura do Sistema de Simulação.

Finalmente, o programa "SIMULA/PS/MULTLINREG" lê o arquivo "DATA/PKT/LSN", encontra os parâmetros da função de correlação pelo método dos mínimos quadrados, emite gráficos e relatórios contendo os valores dos parâmetros e as estatísticas da correlação.

Em seguida serão definidos os conteúdos dos arquivos de dados de entrada mencionados anteriormente.

SIMULA/PKR/DATARADIATION:

Este arquivo, em disco magnético, deve conter os seguintes dados, os quais são lidos sequencialmente pelo programa "SIMULA/PS/HEATSYSTEM" até o final do arquivo:

- a) latitude do local de instalação do sistema de aquecimento;
- b) número do dia do ano;
- c) hora do dia;
- d) temperatura ambiente;
- e) velocidade do vento;
- f) intensidade de radiação solar no plano horizontal;
- g) temperatura da água de reabastecimento.

Estes dados devem ser formatados nos registros do arquivo do seguinte modo:

!Nº do	!Hora do	!Temper.	!Veloc.	!Intens.	!Temp.	!
!Dia do	!Dia	!Amb.	!Vento	!Radia.	!Água	!Filler!
!Ano	!	!	!	!	!Reab.!	!
!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!
! I3	! I3	! F4.1	! F4.1	! F7.2	! F4.1!	X47 !
!	!	!	!	!	!	!

Veja exemplo deste arquivo no Apêndice E.

SIMULA/PJ/TANK:

Este arquivo, em disco magnético, deve conter os seguintes dados, referentes aos parâmetros de projeto do tanque de armazenamento:

- a) tipo do tanque de armazenamento;
- b) diâmetro interno (se tipo = 1), ou dimensões de base (se tipo = 2);
- c) altura ou comprimento;
- d) espessura da parede interna;
- e) espessura do isolamento térmico;
- f) espessura do revestimento externo;
- g) condutividade térmica do material da parede interna;
- h) condutividade térmica do material de isolamento térmico;

- i) condutividade térmica do material de revestimento externo;
- j) seção do tanque na qual encontra-se o aquecimento auxiliar;
- k) voltagem do aquecimento elétrico auxiliar;
- l) resistência elétrica do aquecimento elétrico auxiliar.

Estes dados devem ser dispostos nos registros deste arquivo, em formato livre, da seguinte forma:

Registro 1	<hr/>			
	Tipo do Tanque de Armazenamento		Filler	
	<hr/>			
Registro 2	<hr/>			
	Diâmetro Interno	Altura ou Comprimento	Filler	
	<hr/>			
Registro 3	<hr/>			
	Espess. Parede Interna	Espess. Isol. Térmico	Espess. Revest. Externo	Filler
	<hr/>			
Registro 4	<hr/>			
	Condut. Térmica Parede Interna	Condut. Térmica do Isol. Térmico	Condut. Térmica do Revest. Externo	Filler
	<hr/>			

Registro 5

Seção do	Volt. do	Resist.	
Aquec.	Aquec.	Elétrica	Filler
Elétrico	Elétrico	do Aquec.	
		Elétrico	

Veja exemplo deste arquivo no Apêndice E.

SIMULA/PJ/COLETOR:

Este arquivo, em disco magnético, deve conter os seguintes dados referentes aos parâmetros de projeto do coletor solar:

- a) largura da placa absorvedora;
- b) distância entre a placa absorvedora e a cobertura de vidro;
- c) espessura do isolamento térmico;
- d) espessura da placa absorvedora;
- e) diâmetro externo dos tubos de elevação;
- f) diâmetro interno dos tubos de elevação;
- g) comprimento dos tubos de elevação;
- h) número de tubos de elevação;
- i) distância entre os centros dos tubos de elevação;
- j) diâmetro dos "headers";

- j) diâmetro dos "headers";
- k) diâmetro da tubulação de conexão com o tanque;
- l) fator de perda de carga equivalente da tubulação de conexão;
- m) alturas com relação ao solo, conforme definidas no modelo térmico do sistema;
- n) transmitância da placa absorvedora;
- o) absorvância da placa absorvedora;
- p) espessura da placa absorvedora;
- q) condutividade térmica do isolante térmico;
- r) condutividade térmica da placa absorvedora;
- s) densidade do material da placa absorvedora;
- t) densidade do material dos tubos de elevação e "headers";
- u) emitância da cobertura.

Estes dados devem ser dispostos nos registros deste arquivo, em formato livre, da seguinte forma:

Registro 1

Larg.	Dist.	Espess.	Espess.	
Placa	Placa	Isol.	Placa	Filler
Absorv.	Cobert.	Térmico	Absorv.	

Registro 2

Diam. Ext. Tubos Elev.	Diam. Int. Tubos Elev.	Comp. dos Tubos Elev.	Nº de Tubos Elev.	Dist. entre Linhas de Centro dos Tubos	Filler
---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	-------------------------	---	--------

Registro 3

Diâmetro dos "Headers"	Comprimento Total dos "Headers"	Filler
------------------------------	---------------------------------------	--------

Registro 4

Diâmetro das Conexões	Comprim. Total das Conexões	Fator de Perda de Carga Equiv. das Conexões	Filler
-----------------------------	-----------------------------------	---	--------

Registro 5

Alt. (H1)	Alt. (H2)	Alt. (H3)	Alt. (H4)	Alt. (H5)	Alt. (H6)	Filler
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------

Registro 6

Transm. da Cobert.	Absort. da Cobert.	Emissiv. da Placa Absorv.	Filler
--------------------------	--------------------------	---------------------------------	--------

Registro 7

Condutividade	Condutividade	
Térmica do	Térmica da	Filler
Isolante	Placa	
Térmico	Absorvedora	

Registro 8

Densid.	Densid.	Emitância	
da Placa	dos Tubos	da	Filler
Absorv.	de Elev.	Cobertura	

Vide exemplo deste arquivo no Apêndice E.

SIMULA/OP/TANK:

Este arquivo, em disco magnético, deve conter o seguinte parâmetro de natureza operacional referente ao tanque de armazenamento: temperatura mínima da água para acionamento do aquecimento elétrico auxiliar.

Este dado deve ser disposto no registro único deste arquivo, em formato livre, da seguinte forma:

Registro

Único

Temperatura	
Mínima da	Filler
Água	

Veja exemplo deste arquivo no Apêndice E.

SIMULA/OP/PROFILE:

Este arquivo, em disco magnético, deve conter os seguintes dados referentes ao perfil de consumo de energia (água quente):

- a) número de registros a serem lidos;
- b) hora de consumo;
- c) vazão do consumo;
- d) quantidade de energia a ser consumida.

Estes dados devem ser dispostos nos registros deste arquivo, em formato livre, da seguinte forma:

Registro 1	<hr/>			
	Número de			
	Registros		Filler	
	a Serem			
	Lidos (n)			
	<hr/>			
Registro 2	<hr/>			
	Hora do	Vazão do	Quantid.	
	Consumo	Consumo	Energia	Filler
	- 1		a Ser	
			Consumida	
	<hr/>			

Registro 3

Hora do	Vazão do	Quantid.	
Consumo	Consumo	Energia	Filler
- 2		a Ser	
		Consumida	

Registro n

Hora do	Vazão do	Quantid.	
Consumo	Consumo	Energia	Filler
- n		a Ser	
		Consumida	

Veja exemplo deste arquivo no Apêndice E.

SIMULA/IN/TANK:

Este arquivo, em disco magnético, deve conter os seguintes parâmetros para inicialização do modelo do tanque de armazenamento:

- a) número de seções para estratificação;
- b) temperatura inicial do tanque;
- c) número de horas de simulação por dia.

Estes dados devem ser dispostos no registro único deste arquivo, da seguinte forma:

Registro				
Único	Nº de	Temp.	Nº de	
	Seções p/	Inicial	Horas p/	Filler
	Estratif.	Tanque	Simul.	

Veja exemplo deste arquivo no Apêndice E.

1.6 - OBTENÇÃO DO SISTEMA DE SIMULAÇÃO

1.6.1 - ESTRUTURA DE DIVISÃO DE ATIVIDADES

O diagrama mostrado na Figura 1.10 representa a Estrutura de Divisão de Atividades - EDA para a fase de obtenção do sistema de simulação. Nas páginas seguintes as atividades constantes da EDA serão especificadas.

ESPECIFICAÇÃO DE ATIVIDADES

Atividade 1.0 - Desenvolvimento dos Modelos Dinâmicos.

CÓDIGO E NOME	ESPECIFICAÇÃO
1.1 - DESENVOLVIMENTO DO MODELO DINÂMICO DO COLETOR SOLAR PLANO	Consiste na formulação do modelo matemático que irá representar o coletor solar, através de equações algébricas, diferenciais, integrais, expressões lógicas, gráficos e tabelas.

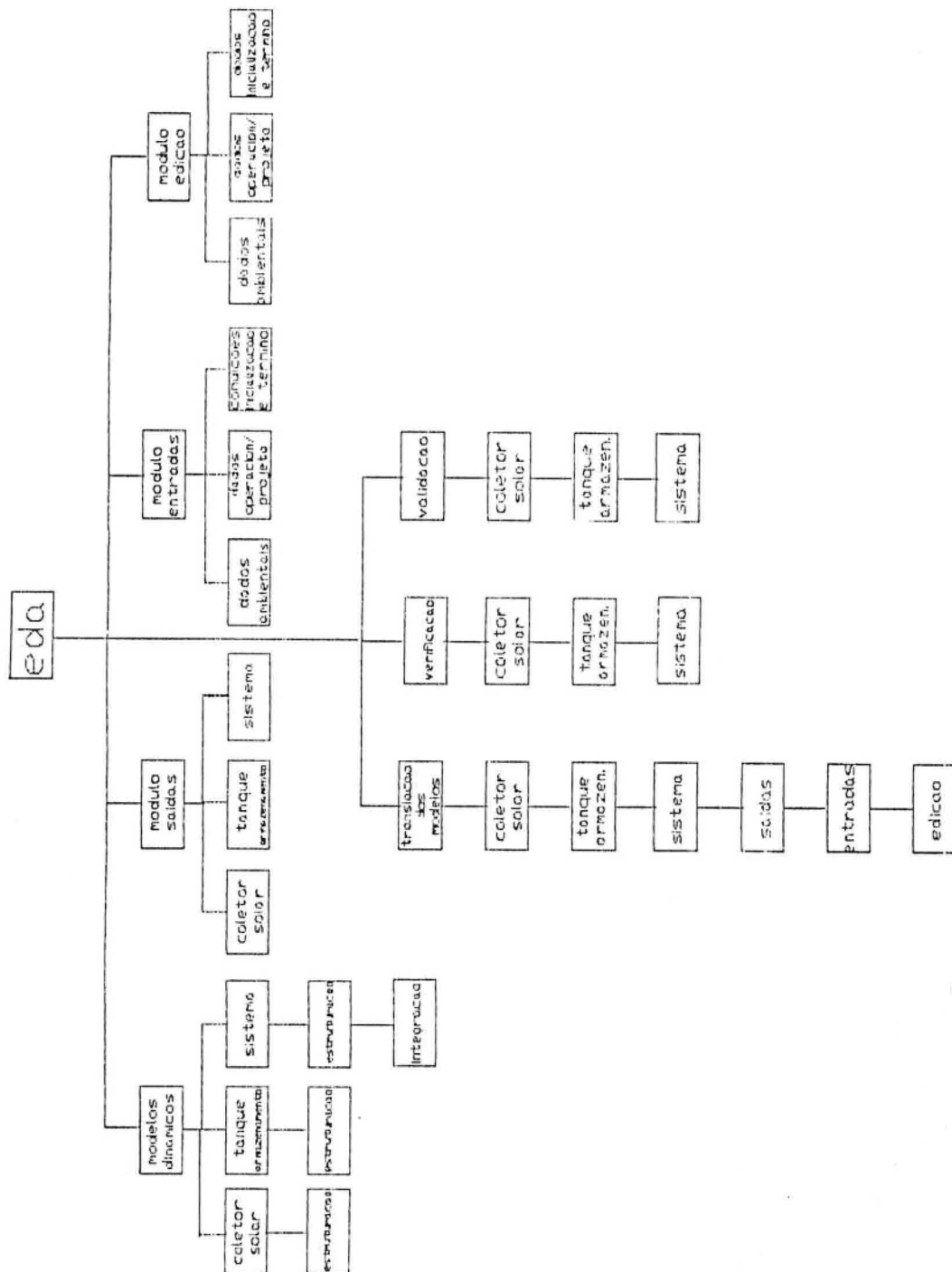


Fig. 1.10 - Estrutura de Divisão de Atividades.

- 1.1.1- ESTRUTURAÇÃO DO MODELO DINÂMICO DO COLETOR SOLAR PLANO
- Consiste em estruturar a formulação do modelo matemático do coletor solar em uma sequência lógica (fluxograma) adequada à realização dos cálculos em computador.
- 1.2 - DESENVOLVIMENTO DO MODELO DINÂMICO DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO
- Consiste na formulação do modelo matemático que irá representar o tanque de armazenamento, através de equações algébricas, diferenciais, integrais, expressões lógicas, gráficos e tabelas.
- 1.2.1 - ESTRUTURAÇÃO DO MODELO DINÂMICO DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO
- Consiste em estruturar a formulação do modelo matemático do tanque de armazenamento em uma sequência lógica (fluxograma), adequada à realização dos cálculos em computador.
- 1.3 - DESENVOLVIMENTO DO MODELO DINÂMICO DO SISTEMA
- Consiste na formulação do modelo matemático das funções do sistema que não serão consideradas no modelo dinâmico dos componentes, por serem de maior abrangência.
- 1.3.1- ESTRUTURAÇÃO DO MODELO DINÂMICO DO SISTEMA
- Consiste em estruturar a formulação do modelo dinâmico do sistema em uma sequência lógica (fluxograma), adequada para a realização dos cálculos em computador.

Atividade 2.0 - Especificação do Módulo de Saídas.

CÓDIGO E NOME	ESPECIFICAÇÃO
2.1 - ESPECIFICAÇÃO DAS SAÍDAS REFERENTES AO MODELO DINÂMICO DO COLETOR SOLAR PLANO	Consiste em especificar as saídas referentes ao modelo dinâmico do coletor solar plano, definindo os parâmetros e variáveis que deverão constar de cada saída, o seu lay-out, e o tipo de periférico a ser utilizado.
2.2 - ESPECIFICAÇÃO DAS SAÍDAS REFERENTES AO TANQUE DE ARMAZENAMENTO	Consiste em especificar as saídas referentes ao modelo dinâmico do tanque de armazenamento, definindo os parâmetros e variáveis que deverão constar de cada saída, o seu lay-out, e o tipo de periférico a ser utilizado.
2.3 - ESPECIFICAÇÃO DAS SAÍDAS REFERENTES AO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR	Consiste em especificar as saídas referentes ao modelo dinâmico do sistema de aquecimento solar, definindo os parâmetros que deverão constar de cada arquivo de saída, o seu lay-out, e o tipo de periférico a ser utilizado.

Atividade 3.0 - Especificação do Módulo de Entradas.

CÓDIGO E NOME	ESPECIFICAÇÃO
3.1 - ESPECIFICAÇÃO DAS ENTRADAS REFERENTES AOS DADOS AMBIENTAIS	Consiste em especificar as entradas referentes aos dados de natureza ambiental necessários ao sistema de simulação, definindo os parâmetros e variáveis que deverão constar de cada arquivo de entrada, o seu lay-out e o tipo de periférico a ser utilizado.
3.2 - ESPECIFICAÇÃO DAS ENTRADAS REFERENTES AOS DADOS OPERACIONAIS	Consiste em especificar os dados de natureza operacional necessários ao sistema de simulação, definindo os parâmetros e variáveis que deverão constar de cada arquivo de entrada, o seu lay-out e o tipo de periférico a ser utilizado.
3.3 - ESPECIFICAÇÃO DAS ENTRADAS REFERENTES ÀS CONDIÇÕES DE INICIALIZAÇÃO	Consiste em especificar as entradas referentes aos parâmetros que definem as condições de inicialização do modelo de simulação, definindo quais deverão constar de que arquivos, os lay-out desses arquivos, e o tipo de periférico a ser utilizado.

Atividade 4.0 - Especificação do Módulo de Edição.

CÓDIGO E NOME	ESPECIFICAÇÃO
4.1 - ESPECIFICAÇÃO DA EDIÇÃO DOS DADOS AMBIENTAIS	Consiste em especificar a edição dos dados ambientais, definindo o lay-out dos arquivos de saída que conterão esses dados, e o tipo de periférico a ser utilizado.
4.2 - ESPECIFICAÇÃO DA EDIÇÃO DOS DADOS OPERACIONAIS	Consiste em especificar a edição dos dados operacionais, definindo o lay-out dos arquivos de saída que deverão conter esses dados, e o tipo de periférico a ser utilizado.
4.3 - ESPECIFICAÇÃO DA EDIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE INICIALIZAÇÃO	Consiste em especificar a edição dos parâmetros de inicialização do modelo de simulação, definindo o lay-out do arquivo de saída e o tipo de periférico a ser utilizado.

Atividade 5.0 - Translação dos Modelos e dos Módulos do Sistema de Simulação.

CÓDIGO E NOME	ESPECIFICAÇÃO
5.1 - TRANSLAÇÃO DO MODELO DINÂMICO DO COLETOR SOLAR	Consiste em realizar a análise de sistema do modelo dinâmico do coletor solar sob o ponto de vista de processamento de dados (projetos lógico e físico) e o desenvolvimento dos programas de computador definidos.
5.2 - TRANSLAÇÃO DO MODELO DINÂMICO DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO	Idem à atividade 5.1 para o modelo dinâmico do tanque de armazenamento.
5.3 - TRANSLAÇÃO DO MODELO DINÂMICO DO SISTEMA	Idem à atividade 5.1 para o modelo dinâmico do sistema.
5.4 - TRANSLAÇÃO DO MÓDULO DE SAÍDAS	Idem à atividade 5.1 para o módulo de saídas
5.5 - TRANSLAÇÃO DO MÓDULO DE ENTRADAS	Idem à atividade 5.1 para o módulo de entradas.
5.6 - TRANSLAÇÃO DO MÓDULO DE EDIÇÃO	Idem à atividade 5.1 para o módulo de edição.

Atividade 6.0 - Verificação dos Modelos de Simulação

CÓDIGO E NOME	ESPECIFICAÇÃO
6.1 - VERIFICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO DO COLETOR SOLAR	Consiste em realizar o processo de verificação do modelo de simulação do coletor solar plano conforme definido no item 1.7.1.
6.2 - VERIFICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO	Consiste em realizar o processo de verificação do modelo de simulação do tanque de armazenamento, conforme definido no item 1.7.1.
6.3 - VERIFICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR	Consiste em realizar o processo de verificação do modelo de simulação do sistema de aquecimento solar, conforme definido no item 1.7.1.

Atividade 7.0 - Validação dos Modelos de Simulação

CÓDIGO E NOME	ESPECIFICAÇÃO
7.1 - VALIDAÇÃO DO MODELO DO COLETOR SOLAR PLANO	Consiste em realizar o processo de validação do modelo do coletor solar, conforme definido no item 1.7.2.

- 7.2 - VALIDAÇÃO DO MODELO DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO
- Consiste em realizar o processo de validação do modelo do tanque de armazenamento, conforme definido no item 1.7.2.
- 7.3 - VALIDAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR
- Consiste em realizar o processo de validação do modelo de simulação do sistema de aquecimento solar, conforme definido no item 1.7.2.

1.7 - VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO

1.7.1 - VERIFICAÇÃO

A verificação do modelo deverá ser feita inicialmente tomando-se os modelos dos componentes do sistema de aquecimento solar isoladamente, de forma dinâmica, isto é, os programas de computador referentes aos modelos dos componentes serão executados e os resultados comparados com dados de sistemas disponíveis na literatura.

Em seguida, utilizando-se dados reais disponíveis para os sistemas de aquecimento solar testados no LCP/INPE, o modelo completo será executado e os resultados comparados com os dados reais, obtidos através do sistema de aquisição de dados mencionados anteriormente.

1.7.2 - VALIDAÇÃO DO MODELO

Vale inicialmente lembrar que, conforme mencionado no item 3.4 da Metodologia de Planejamento (Apêndice A), Shannon (p.208, 1975) afirma que o conceito de validação

validação deve ser considerado como um grau e não como um teste passa-não-passa, devendo o nível de validação a ser alcançado ser estabelecido em função dos propósitos do modelo e dos custos do processo de validação.

Desta forma, os valores simulados deverão ser plotados contra os valores reais disponíveis, devendo ser computadas as estatísticas básicas para verificar a correlação entre os dados simulados e observados para o sistema de aquecimento solar, para um período que abranja algumas das várias situações ambientais e operacionais a que o sistema real está sujeito a ser submetido.

CAPÍTULO 2

DESENVOLVIMENTO DO MODELO

2.1 - MODELO DO COLETOR SOLAR PLANO

2.1.1 - MÉTODO DE ANÁLISE

O modelo de simulação de um coletor solar plano a ser descrito, é um modelo determinístico, discreto por incremento fixo de tempo (1 hora) conforme classificação para modelos de simulação sugerida por Shannon (1975).

As hipóteses e a formulação matemática do modelo serão baseadas conforme mencionado no capítulo anterior, no método de análise da performance térmica de coletores solares planos proposto por Hottel e Woertz (1942) e desenvolvida por Hottel e Whillier (1958) e Bliss (1959), denominada " ϕ method". Como será visto adiante, este método não considera os efeitos da capacitância térmica do coletor. Klein, Duffie e Beckman (1973) mostraram que o fato de se desprezar a capacitância térmica do coletor e os efeitos transientes decorrentes desta capacitância conduzem a erros desprezíveis para a maioria das aplicações práticas.

Segundo Howell (1982), apesar da existência de bibliografia mais recente sobre a análise do desempenho térmico de coletores solares planos, o conhecido método de Hottel-Willier-Woertz-Bliss continua sendo largamente utilizado em relação a outras formulações mais complexas.

Desta forma considerou-se que, para os propósitos deste trabalho, o modelo do coletor poderia ser completamente fundamentado no " ϕ method". Duffie (1974), apresenta uma análise do desempenho térmico de coletores solares planos, baseada no " ϕ method". Devido à relativa facilidade com que se pode estruturar esta análise de Duffie (1974) para se obter um processo lógico e iterativo de cálculo das variáveis de interesse específico para o modelo em questão

e ainda, devido à razoável precisão que se consegue obter para um modelo baseado nesta formulação, o modelo matemático do coletor será completamente fundamentado na análise de Duffie (1974).

2.1.2 - DESCRIÇÃO GERAL DOS COLETORES SOLARES PLANOS

As partes mais importantes de um coletor solar plano podem ser vistas na Figura 2.1. Um coletor plano é basicamente composto por:

- . uma placa absorvedora - de cobre ou alumínio pintada ou com revestimento seletivo (pequena emitância para a radiação infravermelha);
- . tubos de elevação - por onde circula o líquido a ser aquecido. Os tubos de elevação são intimamente ligados a placa absorvedora;
- . cobertura - de vidro ou plástico transparente. A cobertura visa criar um efeito estufa transparente à radiação solar e opaca para o infravermelho;
- . isolante térmico - as partes laterais e inferiores do coletor são cobertas por um isolante térmico para minimizar as perdas de calor.

2.1.3 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS COLETORES SOLARES PLANOS

Para que a análise que será feita adiante possa ser melhor compreendida faz-se necessário descrever os gradientes de temperatura que existem num coletor com a geometria indicada na Figura 2.1.

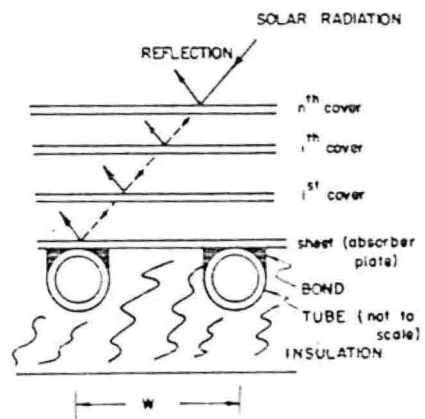
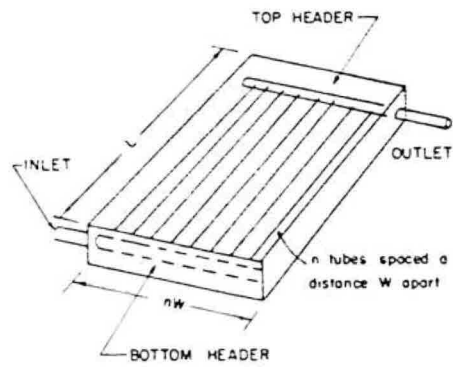
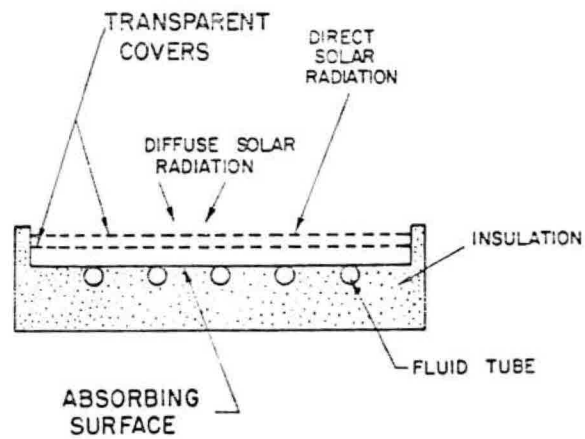


Fig. 2.1 - Geometria de um coletor solar.
FONTE: Duffie (1974)

A Figura 2.2 mostra a região entre dois tubos quaisquer. Parte da energia solar absorvida pela placa coletora deve ser conduzida ao longo da placa para a região entre os tubos. Então a temperatura na região mediana entre dois tubos deve ser maior que a temperatura nas proximidades dos tubos. A temperatura na região sobre os tubos deve permanecer praticamente uniforme devido a presença do tubo

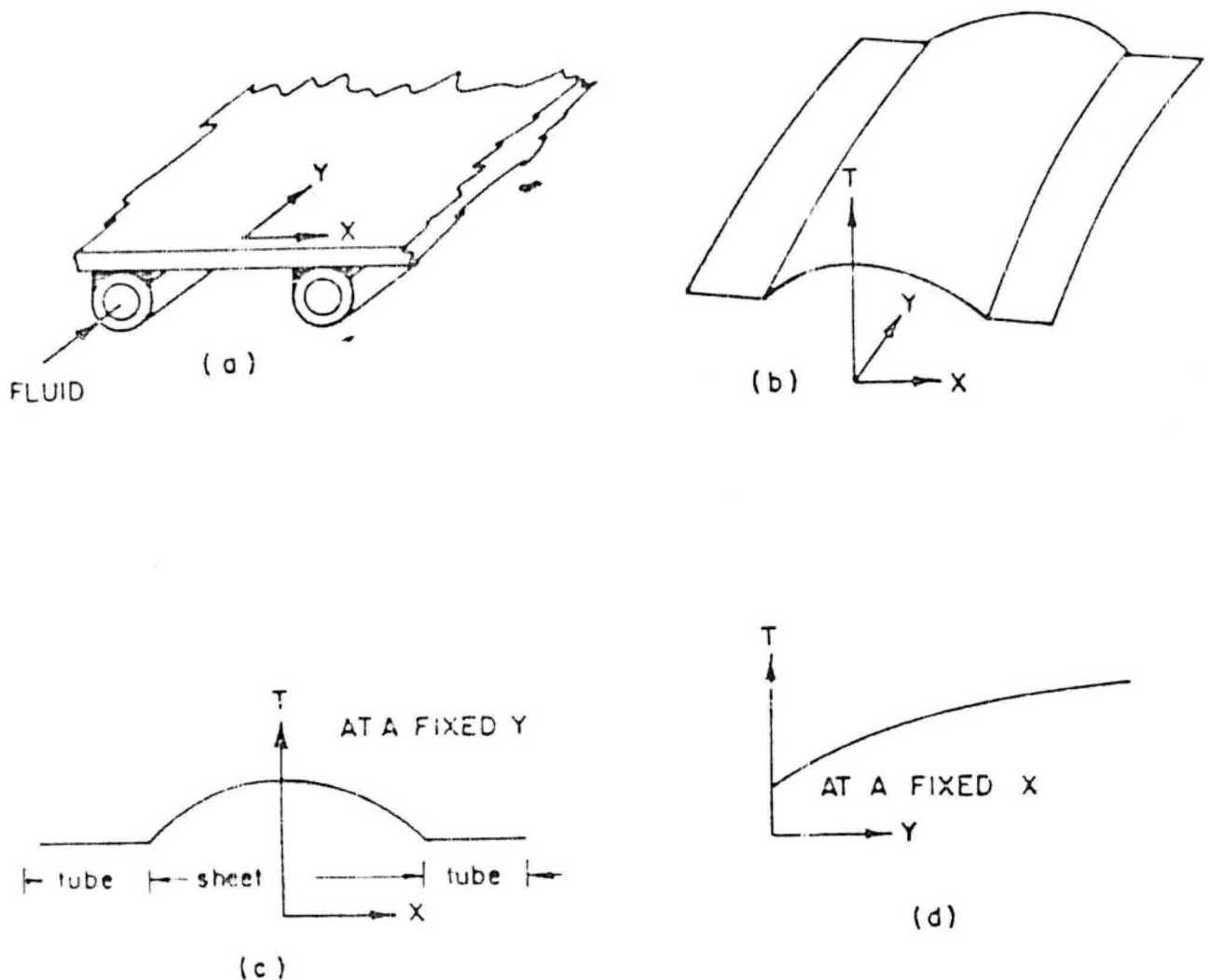


Fig. 2.2 - Gradientes de temperatura.
FONTE: Duffie (1974)

A energia transferida para o fluido deverá aquecê-lo provocando um gradiente de temperatura na direção do fluxo. Como em qualquer região do coletor o nível geral da temperatura é governado pela temperatura local do fluido, uma situação tal como a mostrada na Figura 2.2b é esperada.

Em qualquer ponto de coordenada "y", a distribuição geral de temperatura na direção "x" é mostrada na Figura 2.2c, e num dado ponto "x" a distribuição de temperatura será como mostrado na Figura 2.2d.

2.1.4 - HIPÓTESES PARA ANÁLISE TÉRMICA

Nas análises que se seguem considerou-se as seguintes simplificações (Duffie, 1974):

- a) Regime de trabalho permanente;
- b) Geometria de construção do tipo tubo e placa;
- c) A área ocupada pelos tubos distribuidor e coletor ("headers") são desprezíveis;
- d) O fluxo nos tubos de elevação é uniforme;
- e) Não há absorção de energia solar nas coberturas;
- f) O fluxo de calor no isolante é unidirecional;
- g) O céu é considerado como um corpo negro para radiações de longo comprimento de onda e se encontra a uma temperatura equivalente ("temperatura do céu");
- h) Os gradientes de temperatura nas redondezas dos tubos são desprezados;
- i) Os gradientes de temperatura na direção do fluxo e entre os tubos são considerados independentemente;

- j) As propriedades dos materiais independem da temperatura;
- k) As perdas são para um mesmo ambiente;
- l) Sombras sobre a placa absovedora são desprezadas.

2.1.5 - DESCRIÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO

2.1.5.1 - RENDIMENTO DO COLETOR - BALANÇO DE ENERGIA

A performance de um coletor solar pode ser descrita em termos de um balanço de energia que indica a transformação de energia solar incidente num ganho de energia útil e nas várias perdas.

O balanço de energia do coletor pode ser descrito como:

$$A_c \{ [HR(\tau\alpha)]_b + [HR(\tau\alpha)]_d \} = Q_u + Q_L + Q_s \quad (1)$$

onde: H = taxa de incidência da radiação direta ou difusa sobre uma superfície de área unitária com qualquer orientação.

R = fator de conversão da radiação direta ou difusa para o plano do coletor.

$(\tau\alpha)$ = produto transmitância/absortância.

A_c = área da superfície absorvedora.

Q_u = taxa de transferência de calor útil para o fluido de trabalho.

Q_L = taxa de perda de calor para o ambiente.

Q_s = taxa de energia armazenada no coletor.

b = radiação direta

d = radiação difusa

Uma medida da eficiência do coletor pode ser definida como a razão entre a energia útil ganha num período de tempo e a radiação solar incidente no coletor no mesmo período:

$$\eta = \left[\frac{Q_u}{A_c} d\tau \right] / \left[HR d\tau \right] \quad (2)$$

Deve-se observar que um sistema de energia solar deve ser concebido para obter energia a um custo mínimo. Então, pode ser desejável projetar um coletor com um rendimento menor que o que seria tecnologicamente possível se os custos forem significativamente menores.

2.1.5.2 - COEFICIENTE GLOBAL DE PERDA DE CALOR

O propósito de se desenvolver o conceito de um coeficiente global de perda de calor para o coletor é simplificar os cálculos que se seguem transformando o esquema térmico representado na Figura 2.3a, para o sistema de 3 coberturas representado na Figura 2.3b. Para um ponto qualquer sobre a placa onde a temperatura é T_p , uma quantidade de energia solar S é absorvida pela placa. Esta quantidade de energia é distribuída entre perdas superiores, laterais, inferiores e a energia útil.

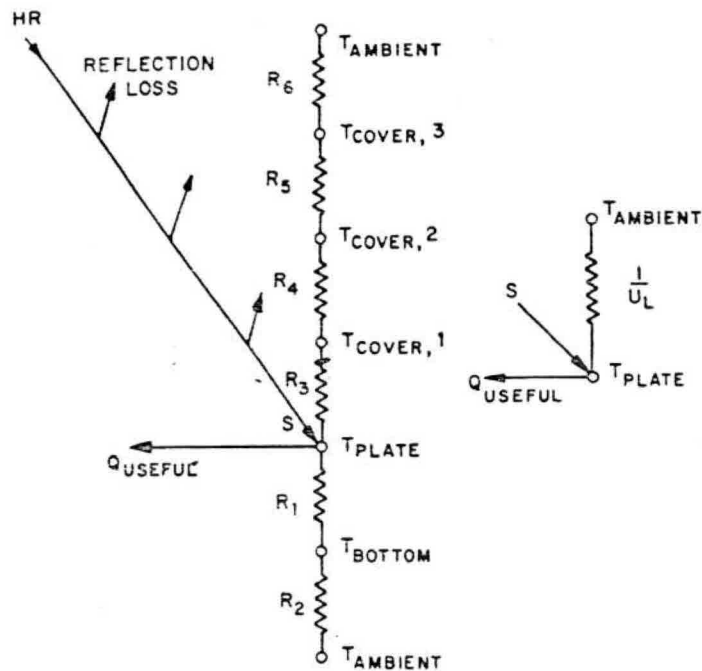


Fig. 2.3 - Esquema térmico de um coletor com 3 coberturas.
 FONTE: Duffie (1974).

O coeficiente de perda para a parte superior é resultante da convecção e radiação entre placas paralelas. A perda de calor por unidade de área na parte superior do coletor é então:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{loss, top}} = & h_{\text{p-cl}} (T_{\text{plate}} - T_{\text{cover, 1}}) \\
 & + \frac{\sigma (T_{\text{plate}}^4 - T_{\text{cover, 1}}^4)}{(1/\epsilon_{\text{plate}}) + (1/\epsilon_{\text{glass}}) - 1}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

onde: $h_{\text{p-cl}}$ = coeficiente de transferência de calor entre a placa absorvedora e a cobertura-1;

E_p = emitância da placa absorvedora;

E_g = emitância do vidro;

σ = constante de Boltzmann

Linearizando o termo da radiação tem-se:

$$q_{\text{loss,top}} = (h_{\text{p-cl}} + h_{\text{rl}})(T_{\text{plate}} - T_{\text{cover,l}}) \quad (5)$$

onde:
$$h_{\text{rl}} = \sigma (T_{\text{plate}} + T_{\text{cover,l}})(T_{\text{plate}}^2 + T_{\text{cover,l}}^2) / [(1/\epsilon_{\text{plate}}) + (1/\epsilon_{\text{glass}}) - 1]. \quad (6)$$

A resistência R_3 pode então ser expressa como:

$$R_3 = \frac{1}{h_{\text{p-cl}} + h_{\text{rl}}} \quad (7)$$

Uma expressão similar pode ser escrita para cada resistência entre as coberturas de vidro. Em geral, pode-se ter tantas coberturas quantas se quiser, mas na prática o limite parece ser três sendo que a maioria dos sistemas utilizam apenas uma.

A última resistência da parte superior possui a mesma forma que a anterior, sendo que o coeficiente de convecção é para o vento que sopra sobre o coletor.

$$h_{\text{r6}} = \epsilon_{\text{glass}} \sigma (T_{\text{cover,n}} + T_{\text{sky}})(T_{\text{cover,n}}^2 + T_{\text{cover,n}}^2 + T_{\text{sky}}^2) \left[\frac{T_{\text{cover,n}} - T_{\text{sky}}}{T_{\text{cover,n}} - T_{\text{ambient}}} \right] \quad (8)$$

onde: $t_{\text{cover,n}}$ = temperatura da cobertura superior

t_{sky} = temperatura do céu

t_{ambient} = temperatura ambiente.

A resistência à transferência de calor para o ambiente é então:

$$R_6 = \frac{1}{h_w + h_{r6}} \quad (9)$$

onde: h_w = coeficiente de transferência de calor por convecção entre a cobertura superior e o ar ambiente.

Para o esquema térmico representado pela Figura 2.3 contendo 3 coberturas o coeficiente de perda de calor da placa para o ambiente é:

$$U_t = \frac{1}{R_3 + R_4 + R_5 + R_6} \quad (10)$$

O coeficiente global da transferência de calor do coletor será então:

$$U_L = U_t + U_b \quad (11)$$

onde, U_b é o coeficiente global de perda da parte inferior.

2.1.5.3 - DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA ENTRE OS TUBOS E O FATOR DE EFICIÊNCIA DO COLETOR

A distribuição de temperatura entre os tubos pode ser facilmente calculada se considerarmos temporariamente que o gradiente na direção do fluxo é desprezível (Duffie (1974)).

Considere a Figura 2.4. A distância entre os tubos é W , o diâmetro externo do tubo é D , e a espessura da placa é δ . Devido ao fato do material da placa ser um bom condutor o gradiente de temperatura através da placa é desprezível. Assumiremos que a placa no local da junção com o tubo está a uma temperatura T_b . A região compreendida entre as

linhas de centro "A" e "B", pode então ser considerada como um problema clássico de aletas.

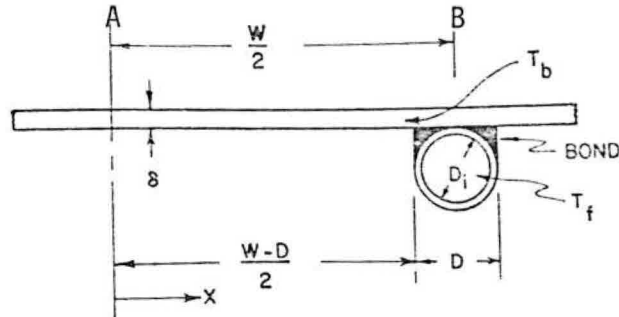


Fig. 2.4 - Dimensões da placa e do tubo
FONTE: Duffie (1974).

A aleta mostrada na Figura 2.5 possui comprimento $(W-D)/2$. Um balanço de energia numa região elementar Δx desta aleta leva a:

$$S\Delta x + U_L \Delta x (T_a - T) + (-k\delta \frac{dT}{dx}) \Big|_x - (-k\delta \frac{dT}{dx}) \Big|_{x+\Delta x} = 0 \quad (12)$$

dividindo por Δx e encontrando o limite quando $\Delta x \rightarrow 0$, fica:

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = \frac{U_L}{k\delta} \left(T - T_a - \frac{S}{U_L} \right) \quad (13)$$

sujeito às seguintes condições de contorno

$$\frac{dT}{dx} \Big|_{x=0} = 0, \quad T \Big|_{x=(W-D)/2} = T_b \quad (14)$$

definindo-se: $m^2 = U_L/k\delta$ e $\psi = T - T_a - S/U_L$, tem-se:

$$\frac{d^2 \psi}{dx^2} - m^2 \psi = 0 \quad (15)$$

sujeita às seguintes condições de contorno:

$$\left. \frac{d\psi}{dx} \right|_{x=0} = 0, \quad \psi \Big|_{x=(W-D)/2} = T_b - T_a - \frac{S}{U_L} \quad (16)$$

cuja solução geral é: $\psi = c_1 \sinh mx + c_2 \cosh mx$

as constantes C_1 e C_2 são encontradas substituindo-se as condições de contorno na solução geral. O resultado é então:

$$\frac{T - T_a - S/U_L}{T_b - T_a - S/U_L} = \frac{\cosh mx}{\cosh m(W-D)/2} \quad (17)$$

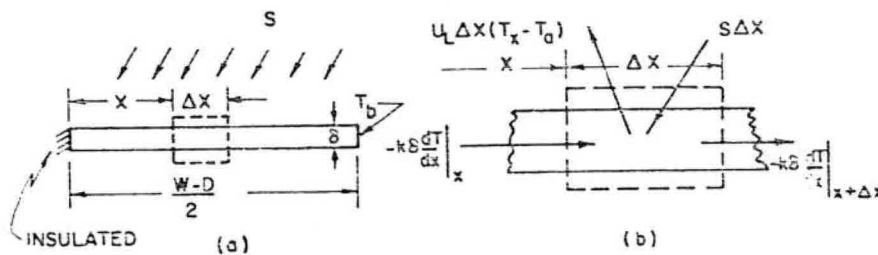


Fig. 2.5 - Balanço de energia de uma aleta.

FONTE: Duffie (1974)

A energia conduzida para a região do tubo pode ser encontrada aplicando-se a lei de Fourier na base da aleta:

$$\begin{aligned} q'_{\text{fin-base}} &= -k\delta \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=(W-D)/2} \\ &= \frac{k\delta m}{U_L} [S - U_L (T_b - T_a)] \tanh m \frac{W-D}{2} \end{aligned} \quad (18)$$

É conveniente usar o conceito de eficiência de aleta e reescrever a equação acima como:

$$q_{\text{fin-bas}} = (W-D) F[S - U_L(T_b - T_a)] \quad (19)$$

onde:

$$F = \frac{[\tanh m (W-D)/2]}{m(W-D)/2} \quad (20)$$

O ganho líquido do calor do coletor inclui o calor coletado na região dos tubos.

$$q'_{\text{tube}} = D[S - U_L(T_b - T_a)] \quad (21)$$

Então o ganho líquido de calor por unidade de comprimento do coletor será:

$$q'_u = [(W - D)F + D][S - U_L(T_b - T_a)] \quad (22)$$

Finalmente, este ganho líquido de calor deve ser transferido do tubo para o fluido. A resistência ao fluxo de calor resulta da conexão tubo-aleta e do contato fluido-tubo. O ganho útil de calor pode ser escrito em termos das duas resistências como sendo:

$$q'_u = \frac{T_b - T_f}{1/(h_{f,i} \pi D_i) + 1/c_b} \quad (23)$$

onde: c_b = condutância da junção por unidade de comprimento

$h_{f,i}$ = coeficiente transferência de calor entre o tubo e o fluido.

A condutância da junção pode ser estimada como sendo:

$$c_b = \frac{k_b b}{\gamma}$$

onde: k_b = condutividade térmica

b = comprimento

γ = espessura média da solda

Agora devemos eliminar T_b da expressão de q'_u (Eq.23) para deixá-la em função apenas de dimensões conhecidas, parâmetros físicos e da temperatura local do fluido. Resolvendo para T_b e substituindo na equação 22 tem-se:

$$q'_u = WF' [S - U_L (T_f - T_a)] \quad (25)$$

onde:

$$F' = \frac{1/U_L}{W \left[\frac{1}{U_L [D + (W-D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{f,i}} \right]} \quad (26)$$

onde: F' = fator de eficiência do coletor.

O fator de eficiência do coletor é um parâmetro de projeto para um dado fluxo de fluido. A interpretação do fator F' fica fácil quando identificamos que o numerador da equação 26 é a resistência à transferência de calor entre a placa absorvedora e o ambiente, e o denominador é a resistência à transferência de calor entre o fluido e o ar ambiente.

2.1.5.4 - DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA NA DIREÇÃO DO FLUXO

O fluido entra no coletor com uma temperatura $T_{f,i}$ e aumenta a temperatura ao longo do coletor até sair com uma temperatura $T_{f,o}$. Considere a Figura 2.6 abaixo. Podemos expressar o balanço de energia na direção do fluxo através de um tubo de comprimento Δy como sendo:

$$\dot{m}C_p T_f \Big|_y - \dot{m}C_p T_f \Big|_{y+\Delta y} + \Delta y q'_u = 0 \quad (27)$$

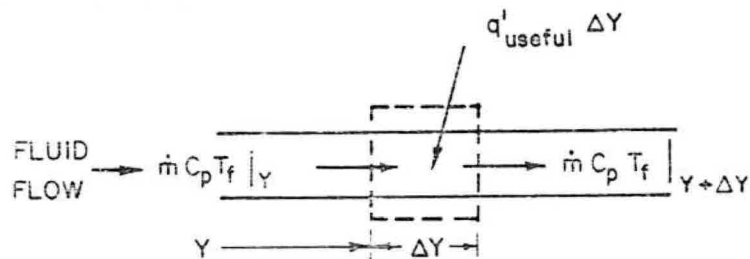


Fig. 2.6 - Balanço de energia num elemento do fluido.

Dividindo a equação 27 por Δy , encontrando o limite para $\Delta y \rightarrow 0$ e substituindo o resultado na equação 25 obtém-se:

$$mC_p \frac{dT_f}{dy} - WF' [S - U_L (T_f - T_a)] = 0 \quad (28)$$

Assumindo que F' e U_L são independentes da posição, então a solução, para qualquer ponto Y , sujeito a condição de que a temperatura de entrada do fluido é $T_{f,i}$ é:

$$\frac{T_f - T_a - S/U_L}{T_{f,i} - T_a - S/U_L} = e^{-[U_L WF' / mCp] Y} \quad (29)$$

Se o coletor tiver um comprimento L , então a temperatura de saída $T_{f,o}$ do fluido será dada pela substituição de "y" por "L" na equação 29.

2.1.5.5 - FATOR DE REMOÇÃO DE CALOR DO COLETOR E FATOR DE FLUXO

É conveniente definir uma variável que relacione o ganho real de energia do coletor com o ganho líquido se a superfície inteira do coletor estivesse na temperatura de entrada do fluido. Matematicamente, o fator de remoção de calor, F_R , é então (Duffie, 1974):

$$F_R = \frac{GC_p (T_{f,o} - T_{f,i})}{[S - U_L (T_{f,i} - T_a)]} \quad (30)$$

onde: G é a taxa de fluxo por unidade de área do coletor.

O fator de remoção de calor pode ser expresso como:

$$\begin{aligned} F_R &= \frac{GC_p}{U_L} \left[\frac{T_{f,o} - T_{f,i}}{S/U_L - (T_{f,i} - T_a)} \right] \\ &= \frac{GC_p}{U_L} \left[\frac{(T_{f,o} - T_a - S/U_L) - (T_{f,i} - T_a - S/U_L)}{S/U_L - (T_{f,i} - T_a)} \right] \quad (31) \end{aligned}$$

Fazendo $y = L$ na equação 29, F_R pode ser reescrito como:

$$F_R = \frac{GC_p}{U_L} (1 - e^{-[U_L F' / GC_p]}) \quad (32)$$

Define-se o fator de fluxo do coletor como sendo F_r/F' .

$$F'' = F_R/F' \quad (33)$$

Para uma melhor compreensão do significado destas equações pode-se reescrever a equação 30 como sendo:

$$Q_u = A_C F_R [S - U_L (T_{f,i} - T_a)] \quad (34)$$

que é a equação de Hottel-William-Bliss.

onde: Q_u é o ganho total de energia útil do coletor.

Esta é uma representação bastante conveniente quando se analisa sistemas de energia solar.

2.1.5.6 - TEMPERATURA MÉDIA DA PLACA ABSORVEDORA

Para avaliar a performance do coletor é necessário conhecer o coeficiente global de perda de calor U_L . Entretanto, U_L é função da temperatura da placa absorvedora.

A temperatura média do fluido pode ser encontrada integrando-se a equação 24 de zero a L:

$$T_{f,m} = \frac{1}{L} \int_0^L T_{f,y} dy \quad (35)$$

Realizando a integração e substituindo F_r da do pela equação 32 pode-se mostrar que a temperatura média do fluido é dada por (Duffie, 1974).

$$T_{f,m} = T_{f,i} + \frac{Q_u/A}{U_L F_R} \left[1 - \frac{F_R}{F'} \right] \quad (36)$$

A diferença de temperatura entre a placa ab sorvedora e o fluido não será constante ao longo da direção do fluxo devido às mudanças na perda de calor do coletor. En tretanto, como uma aproximação, a temperatura média da placa pode ser dada por:

$$T_{p,m} - T_{f,m} = Q_u R_{p-f} \quad (37)$$

onde R_{p-f} é a resistência à transferência de calor entre a placa e o fluido. Para líquidos fluindo em tubos R_{p-f} é da do por:

$$R_{p-f} = 1/(h_{f,i} \pi D_i N_t L) \quad (38)$$

onde: N_t é o número de tubos e L é o comprimento dos tubos.

2.1.6 - TEMPERATURA DO CÉU

Para estimar a performance de um coletor so lar é necessário avaliar a radiação trocada entre a super fície do coletor e o céu. O céu pode considerado como um cor po negro a uma temperatura equivalente tal que a radiação trocada entre o céu e a superfície do coletor seja dada por:

$$Q = \epsilon A \sigma (T_{ski}^4 - T^4) \quad (39)$$

W.C.Swinbank (1963) propôs uma relação entre a temperatura do céu e a temperatura ambiente como:

$$T_{sky} = 0.0552 T_{air}^{1.5}$$

onde T_{sky} e T_{air} são dadas em graus Kelvin.

2.1.7 - COEFICIENTE DE CONVECÇÃO ENTRE A COBERTURA E O AMBIENTE

Será utilizada seguinte relação, proposta por W.C.Macadams, citado por Duffie (1974), para o coeficiente de perda de calor por convecção entre a cobertura do coletor e o ambiente:

$$h_{\text{wind}} = 5.7 + 3.8 V \quad (41)$$

onde V é a velocidade do vento (m/s).

2.1.8 - DIREÇÃO DA RADIAÇÃO DIRETA

As relações geométricas entre um plano com uma orientação qualquer em relação à terra num dado instante e a radiação solar direta incidente, isto é, a posição do sol em relação ao plano, pode ser descrita em termos de vários ângulos (Benford e Rock, 1939). Estes ângulos e as relações entre eles são as seguintes:

ϕ = Latitude

δ = Declinação do sol

β = Inclinação da superfície em relação à horizontal

γ_s = Ângulo de azimute solar

γ = Ângulo de azimute da superfície

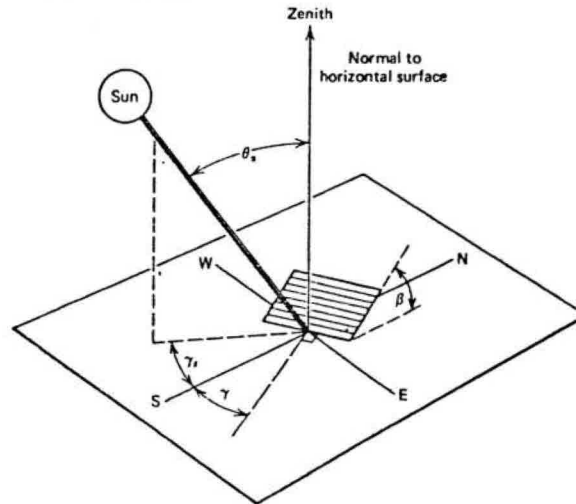


Fig. 2.7 - Relações entre o ângulo da radiação direta e o plano horizontal.

- ω - Ângulo horário, 15° /hora (manhã positiva tarde negativa).
- θ - Ângulo de incidência da radiação, isto é, o ângulo entre a radiação direta e a normal à superfície.
- FONTE: Duffie (1974)

A declinação, δ , pode ser encontrada a partir da equação de Cooper (1969):

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (42)$$

onde, n , é o dia do ano, o qual pode ser convenientemente obtido a partir da seguinte tabela:

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
n	i	31+i	59+i	90+i	120+i	151+i	181+i	212+i	243+i	293+i	304+i	334+i

onde i = i-ésimo dia do mês.

A equação que relaciona o ângulo de incidência da radiação, θ , com os demais ângulos é:

$$\begin{aligned} \cos\theta &= \sin\delta \sin\vartheta \cos\beta - \sin\delta \cos\vartheta \sin\beta \cos\gamma + \\ &+ \cos\delta \cos\vartheta \cos\beta \cos\omega \\ &+ \cos\delta \sin\vartheta \sin\beta \cos\gamma \cos\omega \\ &+ \cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega \end{aligned} \quad (43)$$

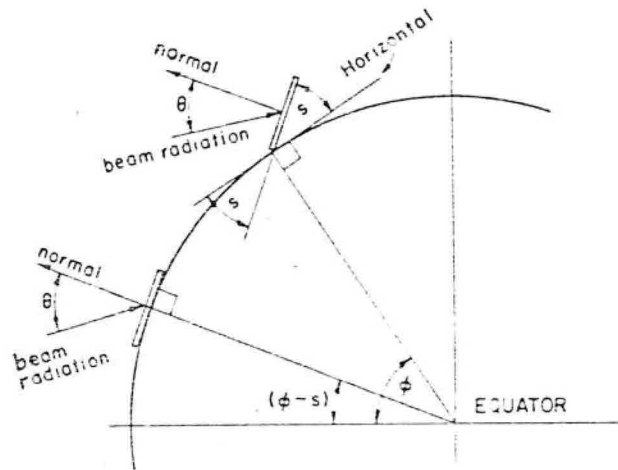


Fig. 2.8 - Relações entre o ângulo da radiação direta e a Normal a um plano inclinado.

FONTE: Duffie (1974).

Para superfícies horizontais, $\beta=0^\circ$, e o ângulo de incidência é o ângulo de zenith do sol, θ_z , dado pela equação 44 fica:

$$\cos\theta_z = \cos\delta \cos\vartheta \cos\omega + \sin\delta \sin\vartheta \quad (44)$$

- Razão entre a radiação direta em superfícies inclinadas e superfícies horizontais

Para propósitos de projetos solares e cálculo de performances, frequentemente é necessário calcular a radiação horária na superfície do coletor (inclinada) a partir de medidas ou estimativas realizadas para a radiação em superfícies horizontais.

O fator geométrico, R_b , a taxa de radiação na superfície inclinada em relação à superfície horizontal é dado por:

$$R_b = \frac{GbT}{Gb} = \frac{Gbn \cos \theta}{Gbn \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (45)$$

O ângulo de azimute ótimo para coletores solares planos é usualmente 0° no hemisfério norte, ou 180° no hemisfério sul. Nestes casos, portanto, $\gamma = 0^\circ$ ou $\gamma = 180^\circ$, donde tem-se:

$$R_b = \frac{\cos(\theta - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\theta - \beta) \sin \delta}{\cos \theta \cos \delta \cos \omega + \sin \theta \sin \delta} \quad p/\gamma=0^\circ \quad (46)$$

$$R_b = \frac{\cos(\theta + \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\theta + \beta) \sin \delta}{\cos \theta \cos \delta \cos \omega + \sin \theta \sin \delta} \quad p/\gamma=180^\circ \quad (47)$$

2.1.9 - TRANSLAÇÃO DO MODELO DO COLETOR

O programa de computador, escrito na linguagem ALGOL, para a simulação do coletor solar foi incorporado ao Programa responsável pela simulação do sistema de aquecimento (Simula/PS/Heastsystem) como sendo a rotina denominada "colectorsimulation", vide apêndice D, a qual possui os seguintes parâmetros formais de entrada:

- Latitude do local da instalação do sistema de aquecimento;
- Dia do ano a ser simulado;
- Hora do dia;
- Temperatura ambiente;
- Velocidade do vento;
- Intensidade de radiação solar no plano horizontal;
- Temperatura de entrada do fluido no coletor;
- Vazão do fluido no coletor.

Esta rotina devolve ao Programa principal, como parâmetro formal de saída, a temperatura de saída do fluido do coletor. O fluxograma representado na Figura 2.10 esquematiza a lógica geral da rotina "collectorsimulation". As Figuras 2.11 e 2.12 mostram de forma um pouco mais detalhada, o fluxograma para a determinação de algumas variáveis importantes do modelo.

O conjunto de gráficos emitidos pela rotina, para um determinado dia e hora selecionados, para possibilitar a análise do desempenho do coletor é mostrado na Figura 2.13. A Figura 2.14 mostra um exemplo do relatório contendo os dados de entrada e os simulados, emitido pela rotina "collectorsimulation".

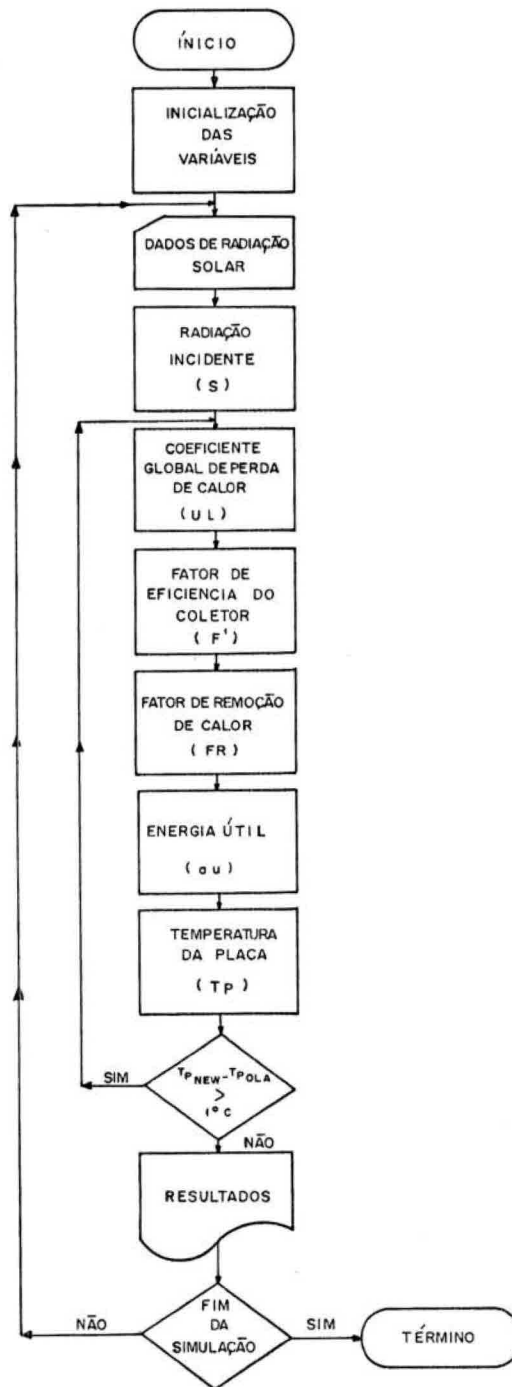


Fig. 2.10 - Fluxograma Geral do Modelo de Simulação de um Coletor Solar Plano.

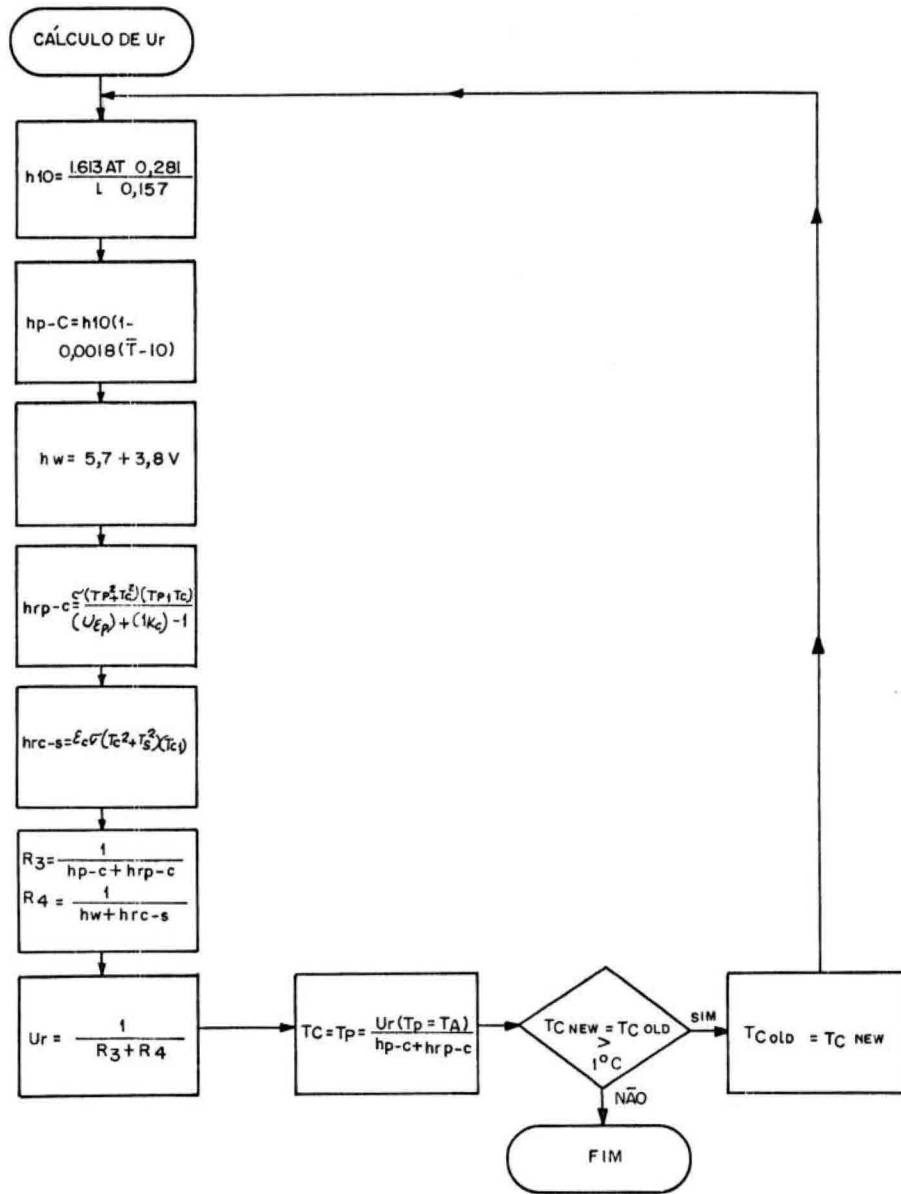


Fig. 2.11 - Fluxograma do Cálculo do Coeficiente Global de Transferência de Calor da Parte Superior do Coletor (U_T).

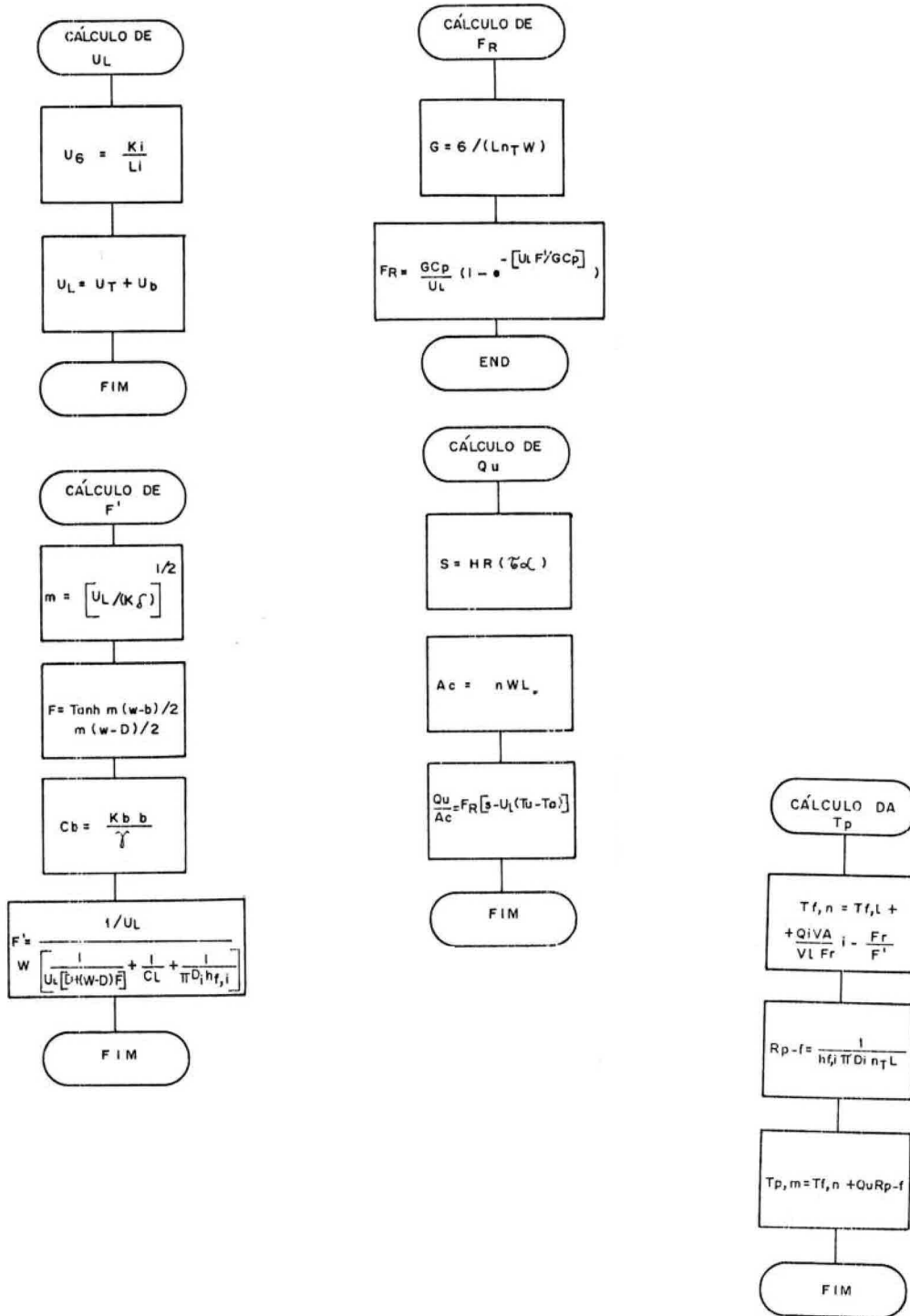


Fig. 2.12 - Cálculo de Variáveis de Interesse no Modelo do Coletor.

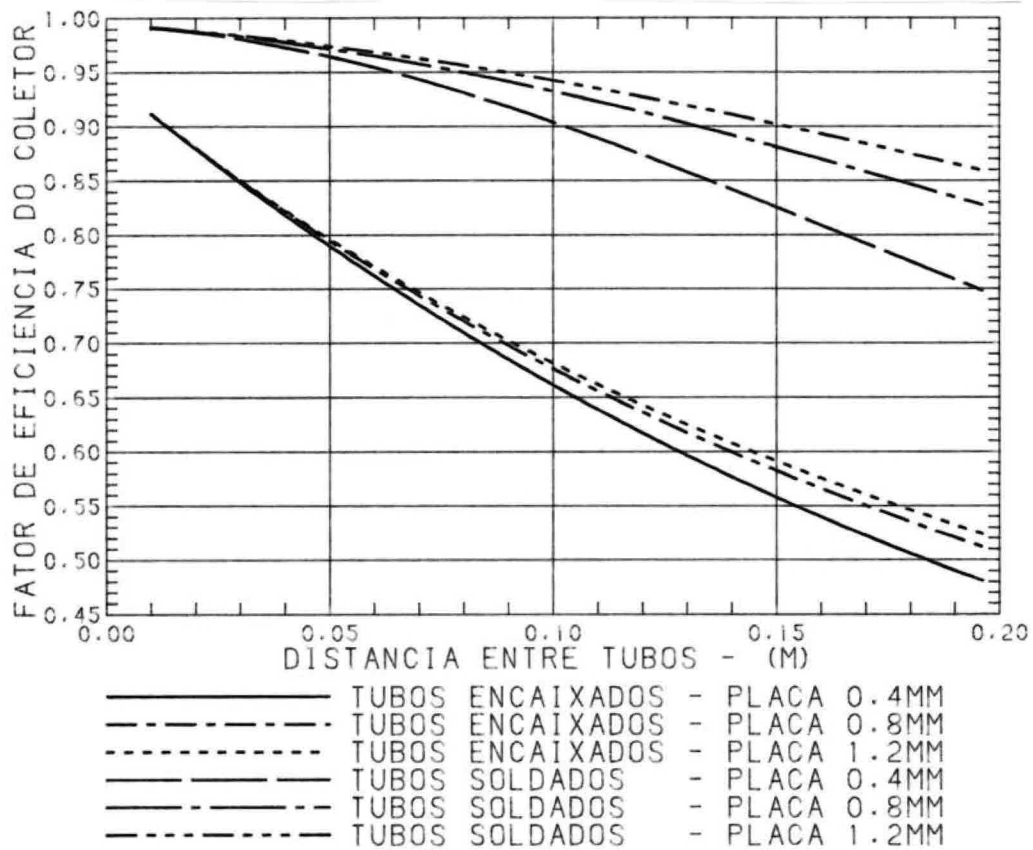
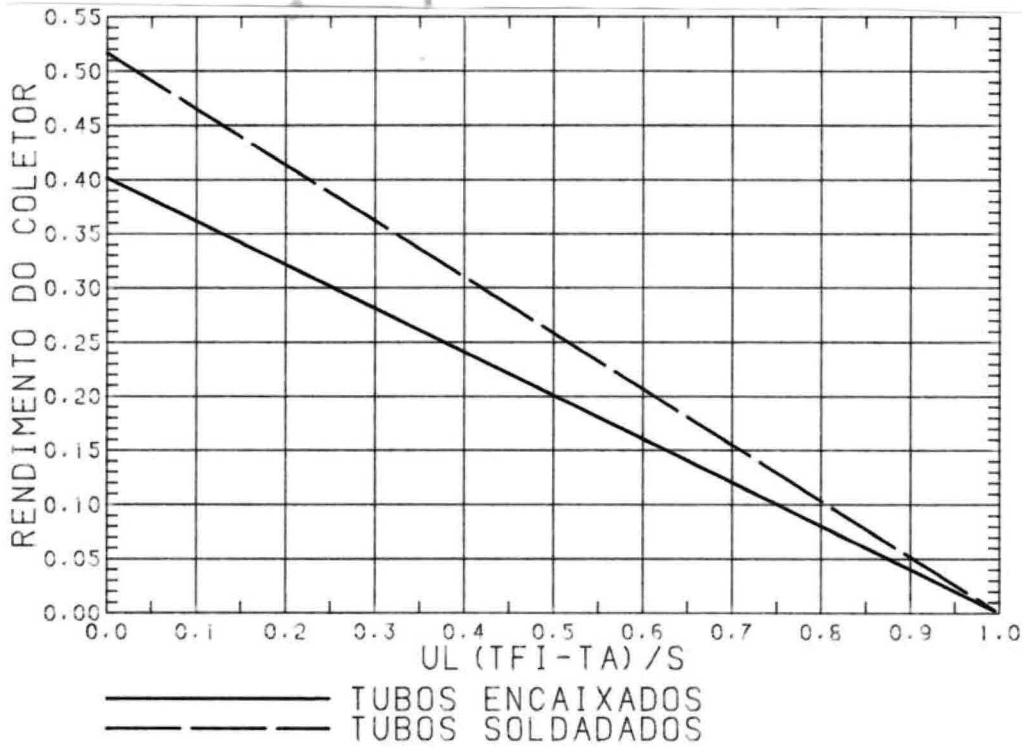


Fig. 2.13 - Exemplo dos Gráficos Emitidos pela Rotina "Colector Simulation".

Figura 2.13 - cont.

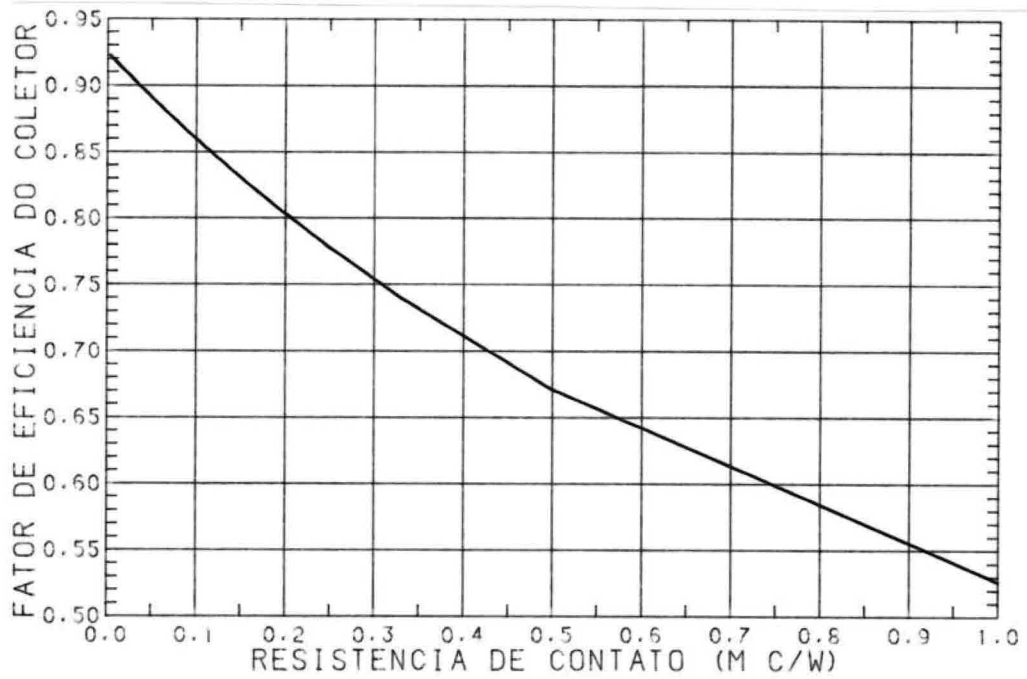
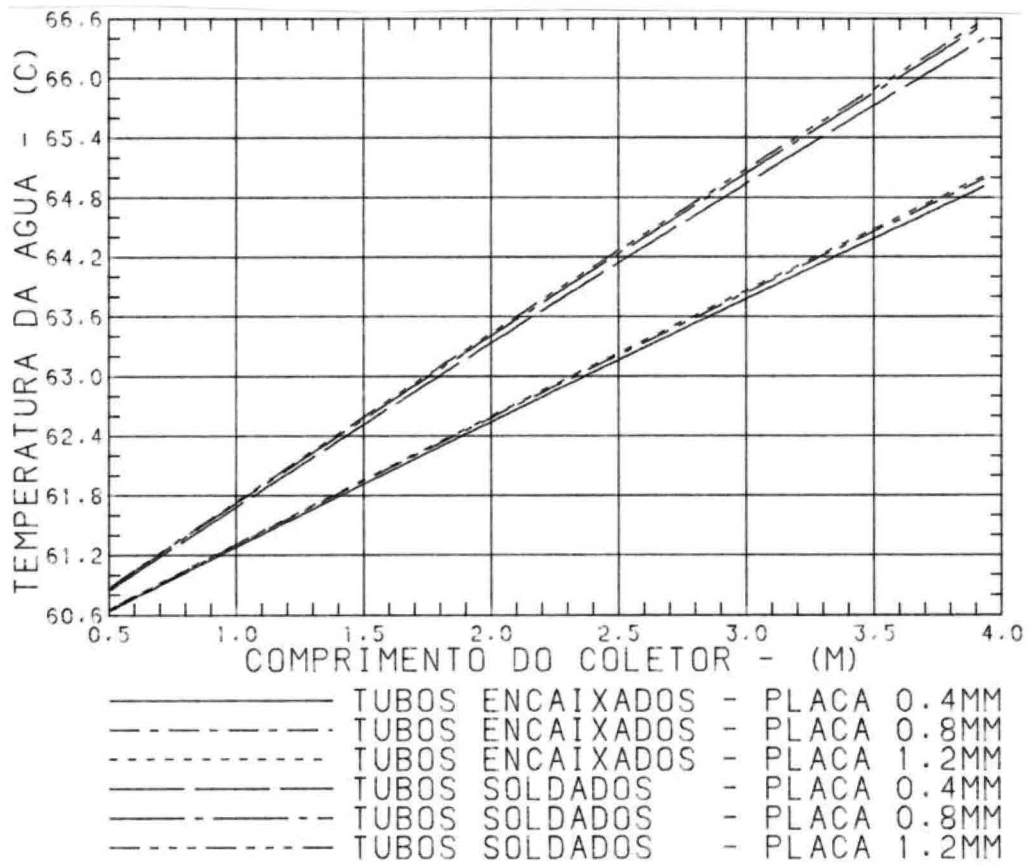


Figura 2.13 - cont.

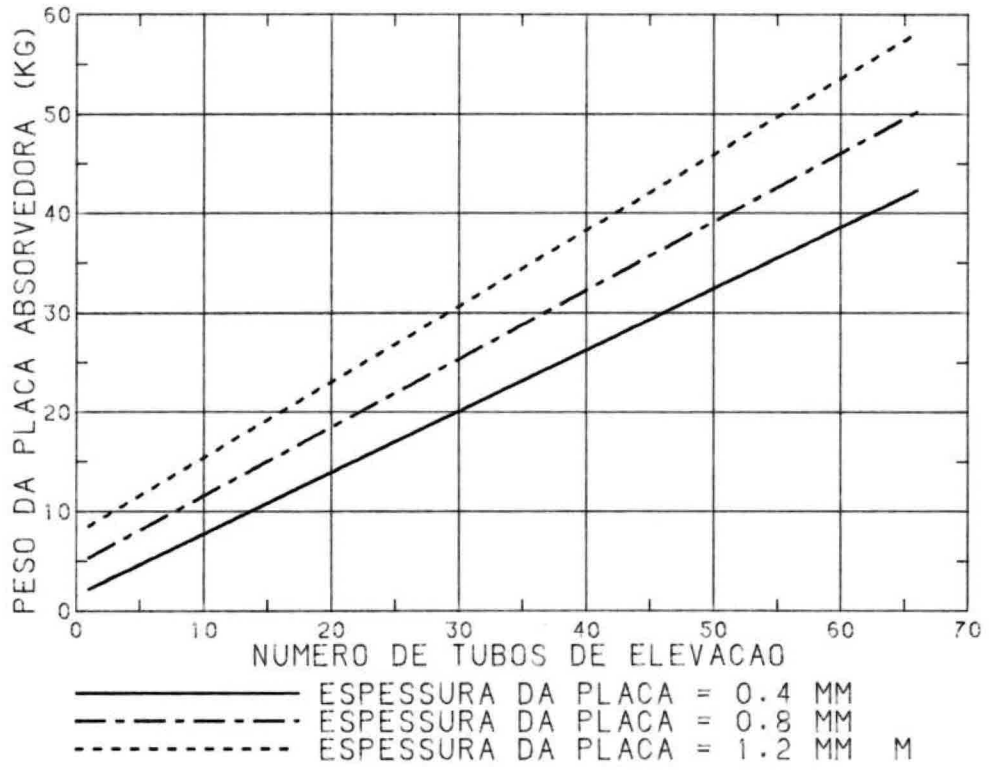


Figura 2.13 - cont.

INPE - INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS
ANS - ANÁLISE DE SISTEMAS E APLICAÇÕES
SIMULAÇÃO DE SISTEMAS

DATA: 07/11/88 ÀS 23:10 HS
PÁGINA: 1

*** SIMULAÇÃO DE UM COLETOR SOLAR PLANO ***

DADOS GEOMÉTRICOS
=====

- 1- DISTÂNCIA PLACA COBERTURA (M) = 0.04
- 2- NÚMERO DE TUBOS DE ELEVACAO = 8
- 3- DIÂMETRO EXTERNO DOS TUBOS DE ELEVACAO (M) = 0.0150
- 4- DIÂMETRO INTERNO DOS TUBOS DE ELEVACAO (M) = 0.0140
- 5- ESPESURA DA PLACA ABSORVEDORA (M) = 0.0004
- 6- COMPRIMENTO DOS TUBOS DE ELEVACAO (M) = 2.90
- 7- DISTÂNCIA ENTRE LINHAS DE CENTRO DOS TUBOS (M) = 0.10
- 8- ESPESURA DO ISOLANTE (M) = 0.0600
- 9- ESPESURA MÉDIA DA SOLDAS = 0.0030
- 10- COMPRIMENTO MÉDIO DA SOLDAS (M) = 0.0236

PROPRIEDADE DOS MATERIAIS
=====

- 1- TRANSMITÂNCIA DA COBERTURA = 0.85
- 2- ABSORVÂNCIA DA PLACA = 0.90
- 3- EMISSÂNCIA DA PLACA = 0.20
- 4- CONDUTIVIDADE TÉRMICA DO ISOLANTE (SI) = 0.01
- 5- CONDUTIVIDADE TÉRMICA DA PLACA (SI) = 211.00
- 6- CONDUTIVIDADE TÉRMICA DA SOLDAS (SI) = 36.00

DADOS OPERACIONAIS
=====

- 1- INCLINAÇÃO DO COLETOR = 32
- 2- LATITUDE = -22
- 3- VAZÃO DO FLUÍDO (KG/S) = 0.0020
- 4- TEMPERATURA DE ENTRADA DO FLUÍDO (C) = 24.00

Figura 2.13 - conclusão.

DATA: 07/11/98 AS 23:19 HS
PAGINA: 2

*** SIMULACAO DE UM COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA	HORA	AMB. (C)	VEL. VENTO (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/M**2)	FATOR R	PERDA (C)	PLACA (C)	RADIACAO (W/M**2)	COEFICIENTE PERDA (UL)	FATOR EFICIENCIA	FATOR REMOCAO	TEMP. SAIDA FLUIDO (C)	RENDIMENTO HORARIO
1	8.0	24.0	1.7	90.00	1.00	5.07	69.77	0.96	0.48	33.29	26.14	36.98	
1	9.0	27.0	1.7	470.00	1.00	5.73	365.40	0.95	0.86	238.27	43.40	50.70	
1	10.0	29.0	2.0	600.00	1.00	5.97	456.46	0.95	0.88	338.29	43.98	56.38	
1	11.0	30.0	1.9	800.00	1.00	5.92	621.95	0.95	0.88	477.39	45.09	59.67	
1	12.0	30.0	2.0	920.00	1.00	6.01	715.24	0.95	0.89	555.41	46.24	60.37	
1	13.0	31.0	1.8	980.00	1.00	5.89	761.89	0.95	0.91	617.69	46.35	63.03	
1	14.0	32.0	2.3	940.00	1.00	6.18	730.79	0.95	0.88	567.34	47.83	60.36	
1	15.0	32.0	2.0	800.00	1.00	6.05	621.95	0.95	0.89	471.03	48.70	58.89	
1	16.0	33.0	2.1	600.00	1.00	6.01	466.46	0.95	0.90	339.33	48.37	56.64	
1	17.0	33.0	1.9	430.00	1.00	5.90	334.30	0.95	0.89	218.31	48.56	50.77	
1	18.0	32.0	1.9	180.00	1.00	5.92	139.94	0.95	0.89	41.60	48.10	23.11	

2.2 - MODELO DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO

2.2.1 - MÉTODO DE ANÁLISE

Da mesma forma como o modelo do coletor, o modelo de tanque a ser descrito é determinístico, discreto, por incremento fixo de tempo (1 segundo), conforme classificação para modelos sugerida por Shannon (1977).

O modelo térmico do tanque de armazenamento será baseado na análise apresentada por Duffie (1981). Para tanques de armazenamento estratificados, a qual foi originalmente proposta por Close (1962) para tanques com temperatura uniforme, e melhorada por uma série de pesquisadores, entre os quais vale destacar Gupta e Garg (1968) e Ong (1976).

2.2.2 - PERFIL DE TEMPERATURA

Geralmente não é possível para um sistema de aquecimento solar fornecer toda a energia térmica necessária para consumo durante um longo período de tempo, sendo necessário utilizar um sistema de armazenamento capaz de armazenar o excesso de energia gerada nos períodos de alta insolação para uso nos períodos de baixa ou nenhuma insolação.

As características principais de um sistema de armazenamento, segundo Duffie (1981) são:

- Sua capacidade por unidade de volume (ou peso);
- A temperatura de armazenamento de calor;
- A temperatura de retirada de calor;
- Os meios de adição e remoção de calor;

- A estratificação da temperatura no reservatório;
- Os meios de controle das perdas térmicas;
- Seu custo.

De particular importância são os fatores que afetam a operação do coletor solar. O rendimento do coletor diminui à medida que sua temperatura média aumenta. Um objetivo do analista de sistema é minimizar as perdas de calor que ocorrem entre o coletor e o uso final da energia de modo que a temperatura média do sistema de aquecimento solar seja a menor possível, considerando os parâmetros de projeto.

Os tanques de armazenamento podem operar com significativos níveis de estratificação, isto é, a temperatura da água na parte superior do tanque é maior que a temperatura da água na parte inferior. Neste caso, o tanque pode ser modelado como sendo dividido em "n" seções, sendo que para cada uma dessas seções pode-se escrever equações do balanço de energia. O resultado é um conjunto de "n" equações diferenciais que podem ser resolvidas para a temperatura das seções em função do tempo.

Para formular estas equações é necessário fazer algumas hipóteses sobre a forma pela qual a água entra e sai do tanque e se distribui entre os vários nodos. Deve-se assumir que a água que entra no tanque irá para o nodo que possui a densidade aproximadamente igual à sua, e se distribuirá desta forma no tanque. Será suposto, também, que a água para consumo será retirada da seção mais alta do tanque. A água de reabastecimento entrará na seção inferior do tanque e a água que sai para o coletor sairá deste nodo inferior.

A Figura 2.15 mostra a distribuição de temperatura no sistema.

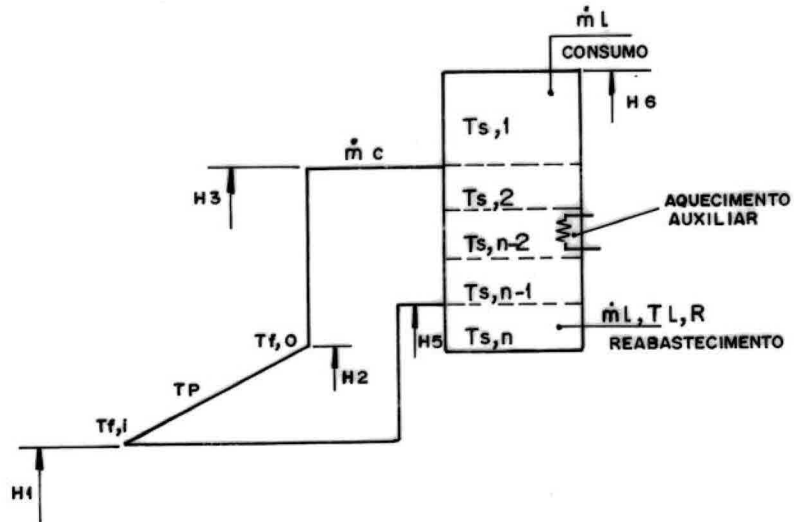


Fig. 2.15 - Distribuição de temperaturas no sistema de aquecimento.

FONTE: Ong (1975)

Para determinar qual seção receberá a água quente que retorna do coletor, define-se a função de controle do coletor, F_i^C , como sendo:

$$F_i^C = \begin{cases} 1 & \text{se } i=1 \text{ e } T_{f,o} > T_{s,i} \\ 1 & \text{se } T_{s,i-1} \geq T_{f,o} > T_{s,i} \\ 0 & \text{se } i=0 \text{ ou } i=n+1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (48)$$

onde: N = número de seções do tanque;

$T_{s,i}$ = temperatura da água na seção "i" do tanque;

$T_{f,o}$ = Temperatura da água que sai do coletor e entra no tanque.

Deve-se observar que se o coletor estiver operando, então uma e somente uma das equações que definem F_i^C pode ser diferente do zero.

A água de retorno ou reabastecimento também pode ser controlada através de uma maneira semelhante definindo-se uma função de controle da água de retorno como sendo:

$$F_i^L \begin{cases} 1 & \text{se } T_{s,i-1} \geq T_{L,r} > T_{s,i} \\ 1 & \text{se } i=N \text{ e } T_{L,r} < T_{s,n} \\ 0 & \text{se } i=0 \text{ ou } i=N+1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (49)$$

O fluxo líquido entre as seções do tanque pode ser ascendente ou descendente dependendo da ordem de grandeza da vazão do coletor, da água de reabastecimento, e dos valores das duas funções de controle num dado instante. É então, conveniente definir uma taxa de fluxo mista que representa a fluido líquido entre a seção i e a seção i-1, excluindo-se os efeitos se existir, de um fluxo de retorno direto da água de reabastecimento na seção.

$$\begin{aligned} \dot{m}_{m,1} &= 0 \\ \dot{m}_{m,i} &= \dot{m}_c \sum_{j=1}^{i-1} F_j^C - \dot{m}_L \sum_{j=i+1}^N F_j^L \\ \dot{m}_{m,N+1} &= 0 \end{aligned} \quad (50)$$

A Figura 2.16 abaixo representa de forma esquemática o modelo térmico do tanque de armazenamento.

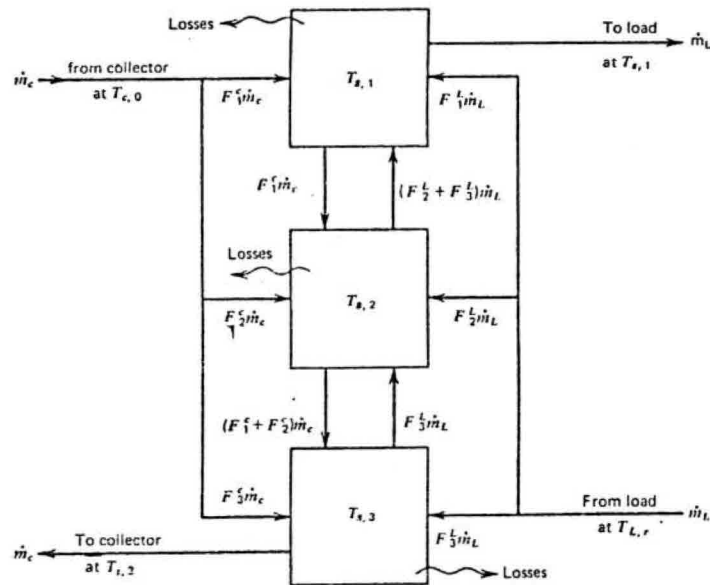


Fig. 2.16 - Esquema térmico representativo do tanque de Armazenamento.

FONTE: Duffie e Beckman (1980).

Considerando-se as funções de controle definidas anteriormente, um balanço de energia na seção i , para $1 < i < N$, pode ser expresso como sendo:

$$m_i \frac{dT_{s,i}}{d\tau} = \left(\frac{UA}{C_p}\right)_i (T'_{a,s,i} - T_{s,i}) + F_{i,c}^C \dot{m}_c (T_{f,o} - T_{s,i}) + F_{i,L}^L \dot{m}_L (T_{L,r} - T_{s,i}) +$$

$$+ \begin{cases} \dot{m}_{m,i} (T_{s,i-1} - T_{s,i}) & \text{se } \dot{m}_{m,i} > 0 \\ \dot{m}_{m,i+1} (T_{s,i} - T_{s,i+1}) & \text{se } \dot{m}_{m,i} < 0 \end{cases} \quad (1 < i < N) \quad (51)$$

onde: U_i = coeficiente global de perda da seção i do tanque

A_i = área da seção i do tanque

C_{pi} = calor específico da água na seção i

T_{fo} = temperatura da água na saída do coletor

T_{LR} = temperatura da água de reabastecimento.

onde acrescentou-se um termo para levar em consideração as perdas da seção i para o ambiente (T'_a). De um modo geral, os tanques de armazenamento apresentam alguns graus de estratificação, devendo-se balizar entre um projeto conservativo (somente uma seção) e um caso limite com alto nível de estratificação.

Da equação 51 tem-se que a temperatura da seção- i no instante $\tau + \Delta\tau$ será dada por:

$$T_{s,i}(\zeta+\Delta\zeta) = T_{s,i}(\zeta) + \frac{\Delta\zeta}{m_i} \left(\frac{UA}{C_{pi}} \right) (T'_a - T_{s,i}) + F_i^C \dot{m}_i (T_o - T_{s,i}) * \\ * F_i^L \dot{m}_i (T_{L,R} - T_{s,i}) + \begin{cases} \dot{m}_{m,i} (T_{s,i-1} - T_{s,i}) & \text{se } \dot{m}_{m,i} > 0 \\ \dot{m}_{m,i+1} (T_{s,i} - T_{s,i+1}) & \text{se } \dot{m}_{m,i+1} > 0 \end{cases} \quad (52)$$

para $1 < i < N$

Para $i = 1$ tem-se:

$$\frac{dT_{s,1}}{d\zeta} = \frac{1}{(MC_p)_{s,1}} [F_1^C (\dot{m}_1 C_p)_1 (T_{fo} - T_{s,1}) + (\dot{m}_L C_p)_1 (T_{s,2} - T_{s,1}) \\ - (UA)_{s,1} (T_{s,1} - T'_a)] \quad (53)$$

Para a seção N tem-se:

$$\begin{aligned} \frac{dT_{s,N}}{d\tau} = & \frac{1}{(mC_p)_{s,n}} [F_i^C (\dot{m} C_p)_i (T_{s,n-1} - T_{s,n}) \\ & + (1 - F_i^C) (\dot{m} C_p)_i (T_{f,o} - T_{s,n}) + (\dot{m} C_p)_i (T_{LR} - T_{s,n}) \\ & - (UA)_{s,n} (T_{s,n} - T'_a)] \end{aligned} \quad (54)$$

2.2.3 - COEFICIENTE GLOBAL DE PERDA DE CALOR DO TANQUE

A formulação que segue será desenvolvida considerando a forma do tanque de armazenamento como sendo cilíndrica, com parede interna de material m_1 , revestida com um isolante térmico m_2 , e com revestimento externo de material m_3 , no caso mais genérico. A Figura 2.17 representa esquematicamente o tipo de construção considerado.

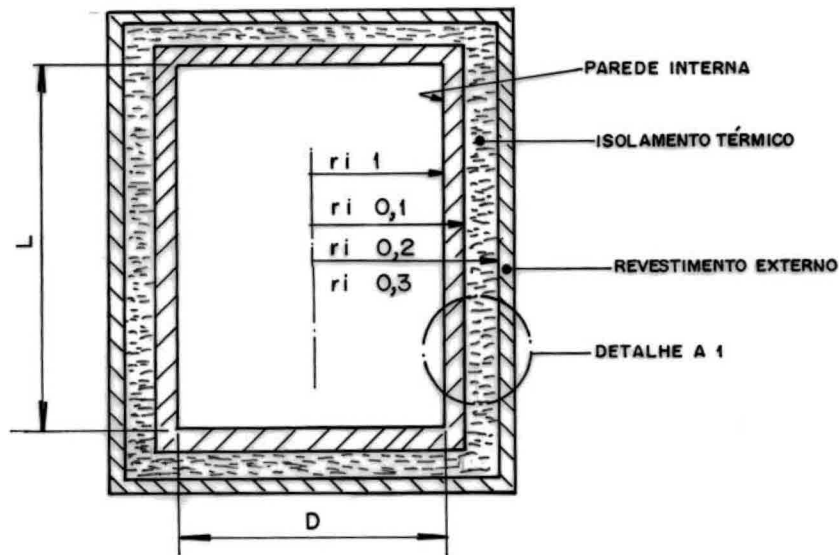


Fig. 2.17 - Tipo de construção do tanque de armazenamento.

Tanques de armazenamento sem isolamento térmico e sem revestimento externo podem ser considerados como um caso particular de representação acima, fazendo-se as resistências à transferência de calor relativas à essas partes iguais a zero:

Considere a seção lateral do tanque representada no detalhe-A1, Figura 2.18. O calor perdido pelo tanque para o ambiente pode ser expresso por:

$$\begin{aligned}
 q_{TL} = h_{i,1} A_{i,1} (T_{s,i} - T_{1,i}) &= \frac{2\pi K_1 L_i (T_{1,i} - T_{2,i})}{\ln(r_{o1} / r_{i1})} = \frac{2\pi K_2 L_i (T_{2,1} - T_{3,1})}{\ln(r_{o2} / r_{i2})} = \\
 &= \frac{2\pi K_3 L_i (T_{3,i} - T_{4,i})}{\ln(r_{o3} / r_{i3})} = h_{o,i} A_{i,o} \quad (55)
 \end{aligned}$$

onde: $h_{i,1}$ = coeficiente de convecção da parede interna do tanque na seção i

$h_{o,i}$ = Coeficiente de convecção da parede externa do tanque na seção i

K_1, K_2, K_3 = condutividade térmica dos materiais m_1, m_2 e m_3

$A_{i,1}$ e $A_{i,o}$ = Áreas interna e externa de uma seção i do tanque, respectivamente

L_i = Comprimento da seção i

Este processo de transferência de calor pode ser representado em termos do coeficiente global de perda de calor e de resistências à transferência de calor, como representado na Figura 2.19.

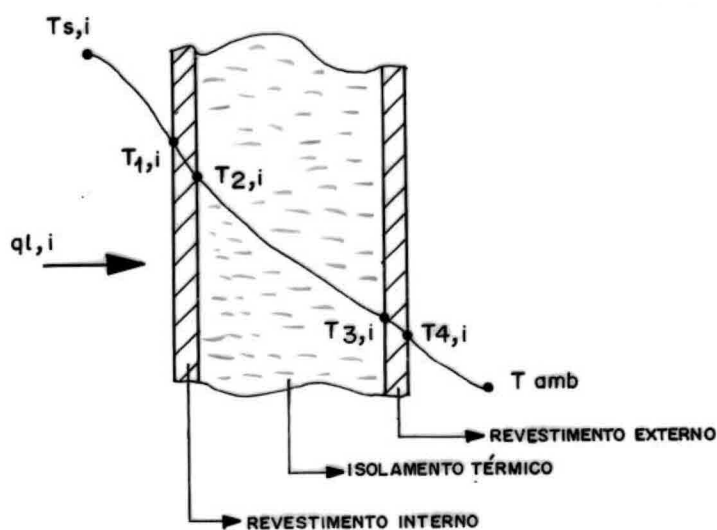


Fig. 2.18 - Detalhe A1 - Temperaturas nas paredes de uma seção i do tanque.

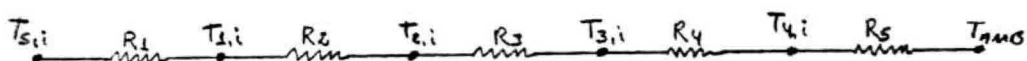


Fig. 2.19 - Resistências à transferência de calor entre uma seção i e o ambiente.

O calor transferido (perdido) neste processo combinado de convecção e condução pode ser expresso em termos do coeficiente global de perda de calor da seção i, através da relação:

$$q_{L,i} = U_{TL,i} A_{L,i} \Delta T \quad (56)$$

onde: $A_{L,i}$ é a área para transferência de calor da seção i, e $\Delta T = t_{amb} - T_{s,i}$

De acordo com a analogia elétrica mostrada na Figura 2.19, o coeficiente global de perda de calor para uma seção i do tanque é dado por

$$U_{TL,i} = \frac{1}{\frac{1}{h_{i,l} A_{i,l}} + \frac{\ln(r_{o1}/r_{i,l})}{2\pi K_1 L_i} + \frac{\ln(r_{o2}/r_{i2})}{2\pi K_2 L_i} + \frac{\ln(r_{o3}/r_{i3})}{2\pi K_3 L_i} + \frac{1}{h_{o,i} A_{i,o}}} \quad (57)$$

2.2.4 - ESTIMATIVA DOS COEFICIENTES DE CONVECÇÃO ($h_{i,i}$) E ($h_{o,i}$)

Muitos experimentos mostraram que para convecção natural entre superfícies verticais e a água, supondo um fluxo de calor constante, o número de Grashof modificado é dado por (Holman, 1976).

$$G_r^* = G_{rx} N_{4x} = \frac{g\beta q_w X^4}{k\nu^2} \quad (58)$$

onde: q_w = fluxo de calor

β = coeficiente de expansão volumétrica

g = constante gravitacional

K = condutividade térmica

ν = viscosidade cinemática

x = comprimento da superfície

O coeficiente local de transferência de calor foi correlacionado às seguintes relações:

$$N_{ux} = \frac{h_x}{k_f} = 0,60 (G_{rx}^* P_{rf})^{1/5} \quad (59)$$

para $10^5 < Gr^* < 10^{11}$ e $q_w = \text{constante}$

$$N_{ux} = 0,17(G_r^* P_{rf})^{1/4} \quad (60)$$

para $2 \times 10^{13} < Gr^* \cdot Pr < 10^{16}$ e $q_w = \text{constante}$,

onde o índice "f" indica propriedades locais do fluido.

Para a região laminar o coeficiente de transferência de calor é dado por

$$\bar{h} = \frac{5}{4} h_{x=L} = \frac{N_{ux} K}{X} \quad (61)$$

para regime turbulento

$$\bar{h} = \frac{N_{ux} K}{X}; \quad x = L \quad (62)$$

O coeficiente de convecção entre a parede do reservatório e o ar ambiente pode ser calculado de uma maneira simplificada através da seguinte relação (Holman, 1976):

$$h_{o,i} = 1,42 \left(\frac{\Delta T}{L}\right)^{1/4} \quad \text{se } 10^4 < Gr Pr < 10^9 \quad [W/M^2] \quad (63)$$

$$h_{o,i} = 0,95 (\Delta T)^{1/3} \quad \text{se } Gr Pr > 10^9 \quad [W/m^2] \quad (64)$$

onde: $h_{o,i}$ = coeficiente de transferência de calor entre a parede da seção i do tanque e o ambiente.

$$\Delta T = (T_{4,i} - T_{amb}); \quad ^\circ C$$

L = dimensão vertical do tanque

Desta forma, o coeficiente de perda de calor de cada seção "i" do tanque pode ser calculado com base no algoritmo representado pelo fluxograma que segue:

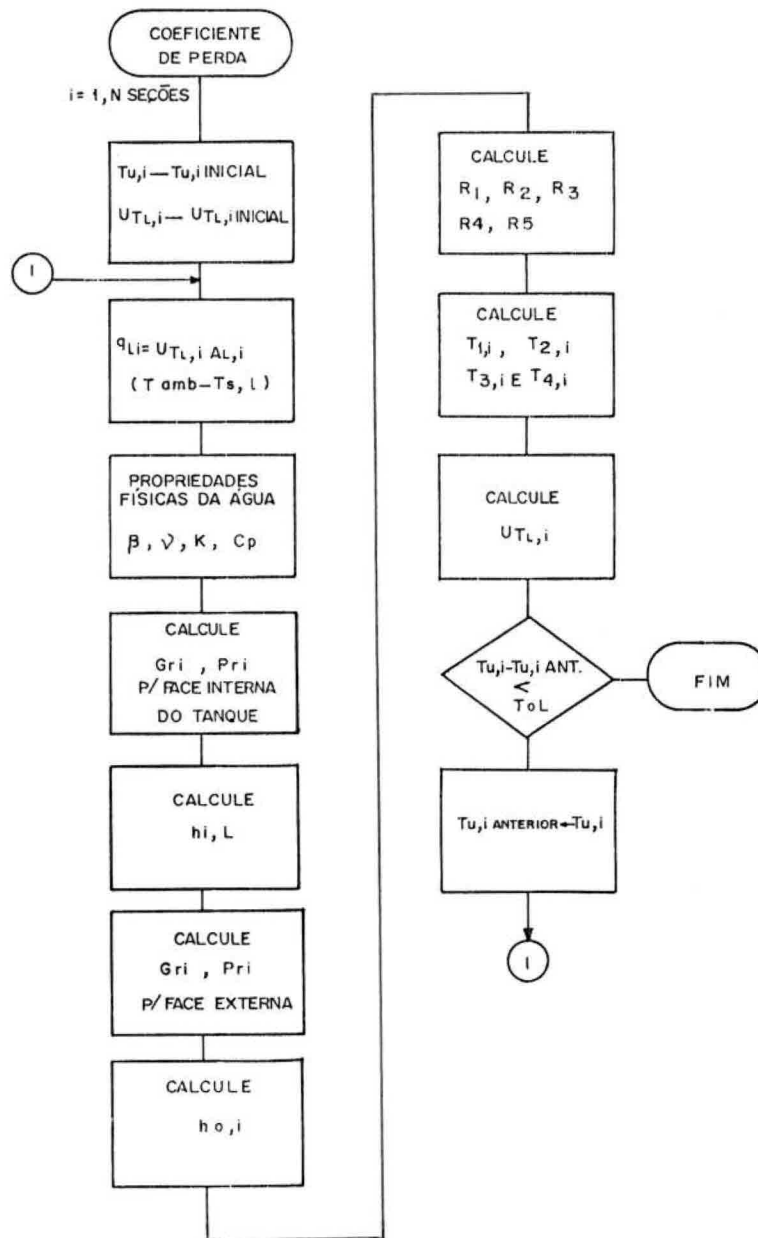


Fig. 2.20 - Fluxograma geral para cálculo do coeficiente Global de Perda de calor de cada, seção-i do tanque.

2.2.5 - ADIÇÃO E REMOÇÃO DE CALOR AO TANQUE

Como visto anteriormente, o calor perdido por cada seção i do tanque durante cada intervalo de tempo, $\Delta\tau$, pode ser expresso em função do Coeficiente Global de Perda de calor através da equação:

$$Q_{L,i} = U_{TL,i} A_{L,i} (T_{s,i} - T_{amb}) \cdot \Delta\tau \quad (65)$$

Desta forma, o calor total perdido pelo tanque para o ambiente a cada intervalo de tempo $\Delta\tau$ será:

$$Q_{TL} = \sum_{i=1}^N Q_{L,i} = \sum_{i=1}^N (U_{TL} A_L)_i (T_{s,i} - T_{amb}) \cdot \Delta\tau \quad (66)$$

onde: N = número de seções do tanque.

O calor removido do tanque para consumo, isto é, o calor útil, Q_u , é dado por

$$Q_u = \dot{m}_L C_{p,1} (T_{s,1} - T_{LR}) \Delta\zeta \quad (67)$$

onde: \dot{m}_L = vazão de consumo

$C_{p,1}$ = Calor específico da água para seção 1 do tanque

$T_{s,1}$ = temperatura da seção 1 do tanque

T_{LR} = temperatura da água de reabastecimento

O calor adicionado ao tanque pelo coletor solar é dado por

$$Q_c = \sum_{i=1}^N \dot{m}_c C_{pi} F_i^c (T_{co} - T_{s,i}) \Delta\zeta \quad (68)$$

O calor perdido pelo tanque devido ao reabastecimento é dado por

$$Q_r = \sum_{c=1}^N \dot{m}_L C_{pi} F_i^L (T_{s,i} - T_{RL}) \Delta z \quad (69)$$

Finalmente, a quantidade de energia armazenada no tanque num dado instante é dada por:

$$Q_{sT} = \sum_{i=1}^N \dot{m}_i C_{pi} (T_{s,i} - T_{LR}) \quad (70)$$

onde: m_i = massa de água na seção i do tanque

$T_{s,i}$ = temperatura da água na seção i do tanque

T_{Lr} = temperatura da água de reabastecimento

2.2.6 - AQUECIMENTO ELÉTRICO AUXILIAR

Toda vez que a temperatura da seção do tanque na qual se encontra localizado o aquecimento elétrico auxiliar for menor que a temperatura mínima especificada para a água de consumo, e isto acontecer num instante (hora do dia) em que foi especificado que é permitido o uso do aquecimento elétrico auxiliar, será adicionado calor ao tanque até que a temperatura da água na qual se encontra o aquecimento elétrico seja maior ou igual a temperatura mínima de consumo mais um ΔT_H especificado (Histerese).

O calor proveniente do aquecedor elétrico, por hipótese, se distribuirá de forma homogênea entre todas as seções do tanque, elevando desta forma a temperatura de todas elas.

Desta forma, tem-se que o aquecimento do tanque devido ao uso de energia elétrica em cada intervalo de tempo (1 segundo) será dado por:

$$\delta T = \frac{V^2}{R_{el} * m_T * C_p} \quad \text{ou} \quad T_{s,i} = T_{s,i} + \frac{V^2}{R_{el} * m_T * C_p} ; i=1,n \quad (71)$$

onde: δT = incremento de temperatura em cada seção i do tanque em cada intervalo de tempo (1 segundo)

m_T = massa de água no tanque

C_p = calor específico da água

V = Voltagem do aquecedor elétrico

R_{el} = Resistência (Ω) do aquecedor elétrico.

Cada seção i do tanque terá então sua temperatura elevada de δT até que:

$$T_{s,aq} > T_{cons} + \Delta T_H \quad (72)$$

onde: $T_{s,aq}$ = temperatura da água na seção do tanque em que se encontra instalado o aquecedor elétrico

T_{cons} = temperatura mínima para a água de consumo

ΔT_H = Histerese do termostato.

O consumo de energia elétrica será dado por:

$$Q_{EL} = \frac{V^2}{R_{el}} (\delta_f - \delta_i) \quad (73)$$

onde: $\delta_f - \delta_i$ = intervalo de tempo, em segundos, durante o qual o aquecimento elétrico permeceu ligado.

2.2.7 - HOMOGENEIZAÇÃO DA TEMPERATURA DO TANQUE

Existe um fluxo de calor no sentido longitudinal das paredes do tanque que depende do grau de estratificação do tanque e representa, para altos graus de estratificação, cerca de dez por cento do fluxo de calor no sentido transversal (calor perdido para o ambiente). Para simplificar o cálculo da temperatura da água em cada seção i do tanque este fluxo de calor foi desprezado. Entretanto, seu efeito é o de contribuir para a homogeneização da temperatura do tanque.

Desta forma, para considerar a tendência de homogeneização da temperatura no tanque quando este é deixado em repouso (não há vazão no coletor nem consumo de água quente), como por exemplo como ocorre durante a noite, será suposto que haverá homogeneização da temperatura da água no tanque toda vez que não houver vazão no coletor e não houver consumo de água quente, ou seja, a temperatura de cada seção do tanque será dada por:

$$T_{s,i} = \frac{Q_{sT}}{N m_i C_{pi}} + T_{LR} \quad \text{se } \dot{m}_c = 0 \quad \text{e} \quad \dot{m}_L = 0 \quad (74)$$

p/ $i=1, N$

onde: Q_{ST} = quantidade de calor armazenado no tanque

N = Número de seções do tanque

m_i = massa de água na seção i do tanque

C_{Pi} = calor específico da água na seção i

T_{LR} = temperatura da água de retorno

2.2.8 - TRANSLAÇÃO DO MODELO DO TANQUE

O programa de computador, escrito na linguagem ALGOL, para a simulação do tanque de armazenamento foi incorporado ao programa responsável pela simulação do sistema de aquecimento (SIMULA/PS/HEATSYSTEM), como sendo a rotina denominada "tanksimulation" (vide Anexo 3). Esta rotina possui os seguintes parâmetros formais de entrada:

- Hora do dia
- Temperatura ambiente
- Temperatura da água de reabastecimento
- Temperatura da água que sai do coletor e entra no tanque
- Vazão da água quente que vem do coletor
- Vazão da água de reabastecimento
- Parâmetro booleano para indicar fim da simulação (final de arquivo)

Esta rotina devolve ao programa principal como parâmetro formal de saída a temperatura da água de entrada do coletor. A Figura 2.21 mostra o fluxograma geral da rotina "tanksimulation".

O conjunto de gráficos emitidos pela rotina "tanksimulation" correspondentes à simulação de um determinado dia, para a análise do desempenho do tanque é mostrado na Figura 2.22, como, também, um exemplo do relatório emitido pela rotina em questão, contendo os dados horários simulados, referentes ao tanque de armazenamento.

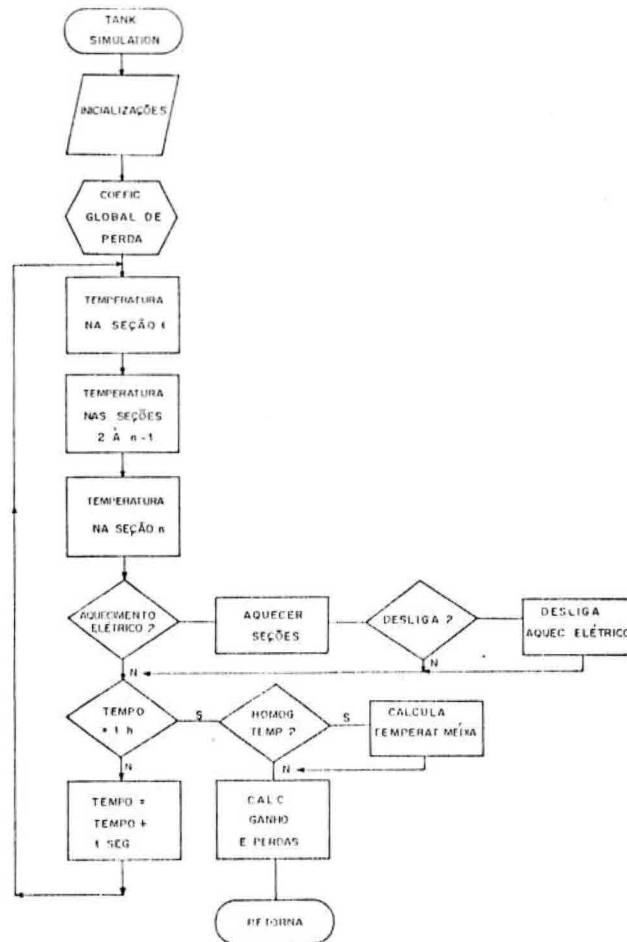
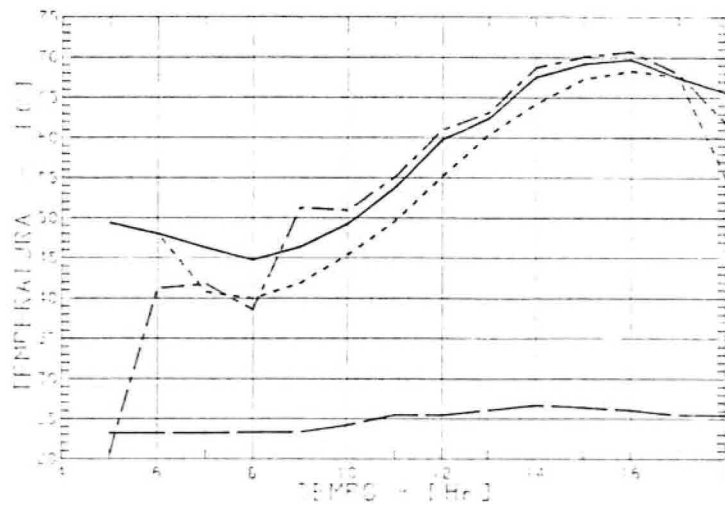
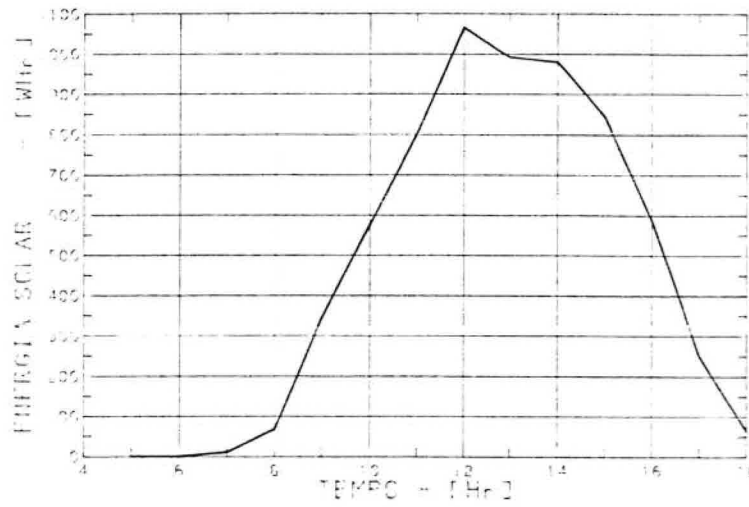


Fig. 2.21 - Fluxograma Geral do Modelo do Tanque de Armazenamento.



— TEMPERATURA DA AGUA P/ CONSUMO
- - - TEMPER. DA AGUA NA SAÍDA COLETOR
... TEMPER. AGUA NA ENTRADA COLETOR
- . - TEMPER. AGUA DE REABASTECIMENTO

Fig. 2.22 - Exemplo do Relatório Emitido pela Rotina "Tanksimulation".

Figura 2.22 - cont.

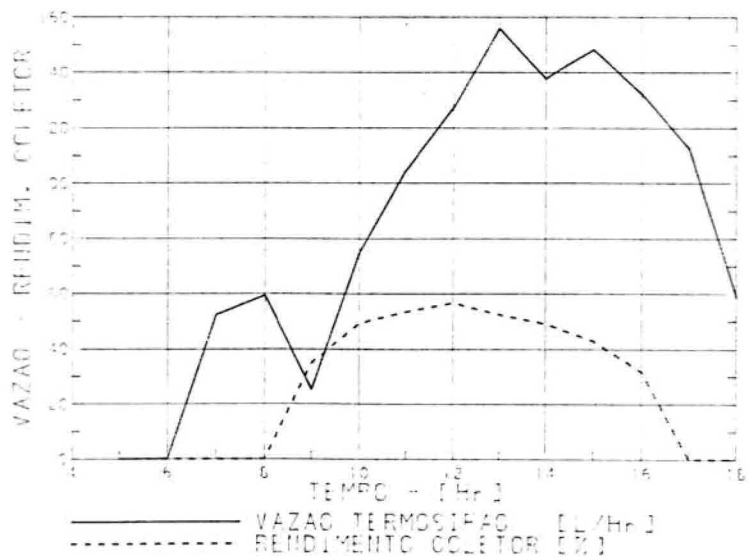
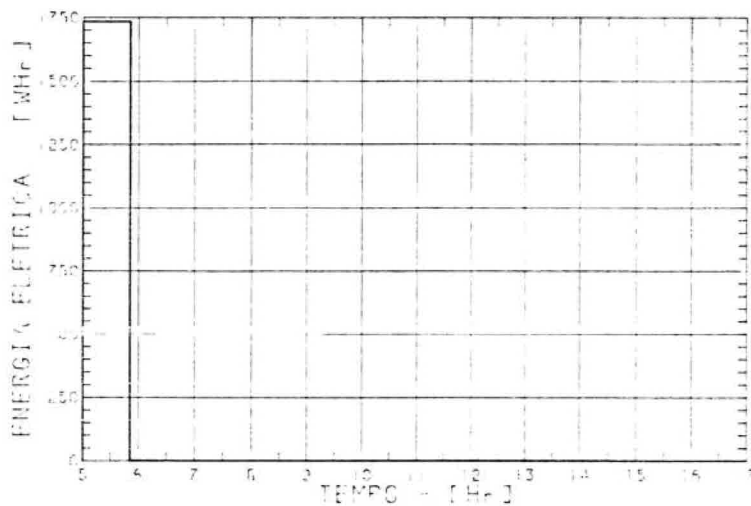


Figura 2.22 - complementação.

*** SIMULACAO DE TANQUE ESTRATIFICADO ***

HORA	TEMP. AMBIENTE (C)	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	ENERGIA TOTAL ARMazenADA (KWH)	ENERGIA ELET. AUXILIAR (KWH)	ENERGIA UTIL (KWH)	ENERGIA PERDIDA P/ AMBIENTE (KWH)	ENERGIA PERDIDA P/ REABASTECIM. (KWH)
0	20.00	41.00	41.00	41.00	0.00	0.00	3040.21	0.00	0.00	0.00	0.00
5	20.00	49.60	49.60	49.60	0.00	0.00	4561.01	1661.08	0.00	177.55	0.00
6	20.00	48.63	48.63	48.63	0.00	0.00	4389.60	0.00	0.00	185.14	0.00
7	20.00	47.36	48.14	40.67	0.00	0.00	3616.31	0.00	488.30	159.80	479.85
8	24.00	45.36	47.75	40.14	0.00	0.00	3702.77	0.00	0.00	121.56	0.00
9	27.00	49.56	47.80	43.52	0.00	0.00	4094.09	0.00	0.00	116.22	0.00
10	29.00	48.62	43.37	47.50	0.00	0.00	4317.75	0.00	0.00	111.11	0.00
11	30.00	54.53	53.10	51.13	0.00	0.00	5147.45	0.00	0.00	135.41	0.00
12	30.00	59.75	59.07	57.62	0.00	0.00	6189.10	0.00	265.31	177.23	504.62
13	31.00	62.44	62.12	61.62	0.00	0.00	6765.49	0.00	0.00	195.70	0.00
14	32.00	66.59	66.04	64.99	0.00	0.00	7436.49	0.00	0.00	219.35	0.00
15	32.70	68.41	68.10	67.45	0.00	0.00	7809.63	0.00	0.00	235.53	0.00
16	33.00	69.32	69.04	68.47	0.00	0.00	7979.54	0.00	0.00	238.91	0.00
17	33.00	66.91	63.76	68.40	0.00	0.00	7974.19	0.00	0.00	237.75	0.00
18	32.00	67.15	66.09	63.35	0.00	0.00	7463.65	1949.49	0.00	227.63	4461.75

2.3 - MODELO DA VAZÃO NO TERMOSIFÃO

2.3.1 - MÉTODO DE ANÁLISE

Recentemente, Sodha e Tiwari (1981) melhoraram a análise desenvolvida por Ong (1974) para o cálculo da vazão natural por termosifão nos sistemas de aquecimento solar, considerando a retirada de água no sistema e obtendo uma expressão para a vazão a partir do balanço de energia, e obtendo, segundo Sodha e Tiwari (1981), melhores resultados que o método de diferenças finitas utilizado por Ong (1974).

A formulação que segue, para o cálculo da vazão no sistema devido ao efeito de termosifão, será baseada na desenvolvida por Sodha e Tiwari (1981), adicionando-se um termo no balanço de energia para considerar o uso de energia elétrica no sistema de aquecimento auxiliar no interior do tanque.

2.3.2 - VAZÃO NO TERMOSIFÃO

Considere o sistema representado na Figura 2.23.

O balanço de energia no sistema é dado por:

$$W(dT_m/dz) + U(T_m - T_a) + \dot{m}_L C_p (T_{s,n} - T_a) = \zeta \alpha F_{CC} A_{HR} + Q_e \quad (75)$$

onde: W = capacidade térmica do sistema de aquecimento

T_m = temperatura média do sistema

U = coeficiente global de perda de calor

O balanço de energia para o tanque de armazenamento é dado por:

$$\dot{m}_c C_p (T_{fo} - T_{s,n}) + Q_e = \sum_{i=1}^N W_{\tau,i} \frac{dT_{s,i}}{dt} + \sum_{i=1}^N U_{T_{s,i}} (T_{s,i} - T_a) \quad (76)$$

energ. calor
calor
calor perdido

calor coletado
elétr. armazenado
aux.

$$+ \dot{m}_L C_p (T_{s,i} - T_{Lr})$$

calor retirado p/consumo

onde: m_c = vazão do coletor devido ao efeito termosifão

T_{fo} = temperatura da água na saída do coletor

$T_{s,1}$ = temperatura da água na seção 1 do tanque

F_i^C = função de controle do coletor

$W_{\tau,i}$ = capacidade térmica da seção i do tanque

O peso específico da água é assumido como variando de acordo com a temperatura através da seguinte equação:

$$S = AT^2 + BT + C \quad (77)$$

onde: A, B, C = constantes

T = temperatura da água

S = peso específico da água

As constantes A, B, C da equação 77 encontram-se determinadas no Anexo 2.

O "thermosiphon-head" responsável pela circulação de água é equivalente à área do gráfico da Figura 2.20b e é dado por:

$$h_T = \text{area 12345} = \frac{1}{2} (s_1 - s_2) \left[2(h_3 - h_1) - (h_2 - h_1) - \frac{(h_3 - h_5)^2}{(h_6 - h_5)} \right] \quad (78)$$

onde S é o peso específico.

Desprezando as perdas na tubulação, $s_2 = s_3$ e $s_1 = s_5$

$$\therefore h_T = \frac{1}{2} (s_5 - s_3) \left[2(h_3 - h_1) - (h_2 - h_1) - \frac{(h_3 - h_5)^2}{(h_6 - h_5)} \right] \quad (79)$$

fazendo

$$f(h) = 2(h_3 - h_1) - (h_2 - h_1) - \frac{(h_3 - h_5)^2}{(h_6 - h_5)} \quad (80)$$

tem-se que

$$h_T = \frac{1}{2} (s_5 - s_3) f(h)$$

fazendo $S = AT^2 + BT + C$, tem-se que:

$$h_T = \frac{1}{2} [A(T_5^2 - T_3^2) + B(T_5 - T_3)] \times f(h) \quad (81)$$

fazendo $T_m = (T_3 + T_5)/2$ e substituindo na equação 81) tem-se:

$$h_T = \frac{1}{2} (T_{s,n} - T_{fo}) (2AT_m + B) f(h) \quad (82)$$

onde $T_{s,n} \equiv T_5$.

Isolando $T_{fo} - T_{s,n}$ da equação 76, tem-se:

$$(T_{fo} - T_{s,n}) = \frac{1}{\dot{m} C_p} \left[\sum_{i=1}^N W_{\tau,i} \frac{dT_{s,i}}{dz} + \sum_{i=1}^N U_{TL,i} (T_{s,i} - T_a) + \dot{m}_L C_p (T_{s,1} - T_{LR}) - Q_e \right] \quad (83)$$

ou

$$(T_{s,n} - T_{fo}) = \frac{(-1)}{\dot{m} C_p} \left[\sum_{i=1}^N W_{\tau,i} \frac{dT_{s,i}}{dz} + \sum_{i=1}^N U_{TL,i} (T_{s,i} - T_a) + \dot{m}_L C_p (T_{s,1} - T_{LR}) - Q_e \right] \quad (84)$$

Substituindo a equação 84 na equação 82, tem-se que o "thermosiphon-head" será dado por:

$$h_T = \frac{(-1)}{2\dot{m} C_p} \left[\sum_{i=1}^N W_{\tau,i} \frac{dT_{s,i}}{dz} + \sum_{i=1}^N U_{TL,i} (T_{s,i} - T_a) + \dot{m}_L C_p (T_{s,1} - T_{LR}) - Q_e \right] (2AT_m + B) f(h) \quad (85)$$

O "thermosiphon-head" é balanceado pelo "pressure-head" que se opõe ao escoamento devido a fricção e outras perdas nos tubos (Ong, 1974).

Assumindo que as perdas por atrito e curvaturas da tubulação sejam dominantes, o "head" perdido é dado por:

$$h_f = (f' \frac{1}{d} + k) \left(\frac{u^2}{2g} \right) \quad (86)$$

onde: K = fator de perda de carga devido aos "acidentes" da tubulação

u = velocidade do escoamento através de um tubo de diâmetro interno d e comprimento l.

f' = fator de atrito.

Para escoamento laminar ($Re < 2000$) o fator de atrito é dado por:

$$f' = \frac{64}{Re} \quad (87a)$$

Para escoamento turbulento f' é dado por (Street, 1978):

$$f' = \frac{0,316}{Re^{0,25}} ; \quad 3000 < Re < 100.000 \quad (87b)$$

Para $2000 < Re < 3000$ f' será aproximado pela equação 87b.

Para um circuito envolvendo escoamento através de "Headers", tubos e conexões a perda total devido ao atrito pode ser representada pela expressão:

$$h_f = [(h_f)_{\text{tubos}} + (h_f)_{\text{"headers"}} + (h_f)_{\text{conexões}}] \quad (88)$$

As equações 86, 87, 88 podem ser reescritas como (Ong, 1974):

$$h_f = 8 \dot{m}_c^2 (f_e \frac{l}{d_1} + k_e) / (\pi^2 g_o \rho d_1^4 N^2) \quad (88a)$$

onde: ρ = densidade da água;

g_0 = constante gravitacional;

f_e = fator equivalente de fricção dado por:

$$f_e = f_1 + f_2 d_1 N^2 (\ell_2 / \ell_1) (d_1 / d_2)^5 + f_3 d_1 N^2 (\ell_3 / \ell_1) (d_1 / d_3)^5 \quad (88b)$$

e o fator de perda de carga equivalente, K_e , é dado por:

$$k_e = k_1 + k_2 N^2 (d_1 / d_2)^4 + k_3 N^2 (d_1 / d_3)^4 \quad (89)$$

Os subscritos 1, 2, 3 representam um banco de coletores com N tubos de elevação em paralelo, cada um com comprimento ℓ_1 e diâmetro interno d_1 , dois "headers" de comprimento total ℓ_2 e diâmetro d_2 , e tubulação de conexão de comprimento ℓ_3 e diâmetro interno d_3 , respectivamente.

De acordo com Morrison (1979), para um enlargamento súbito, como a entrada de um tubo de elevação num "header", a fator de perda é dado por:

$$k = \left[\frac{2}{3} \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - \frac{8}{3} \frac{A_1}{A_2} + 2 \right] \quad (90)$$

Para um estreitamento súbito, como a saída de um "header" para um tubo de elevação, $K = 0,5$ (Street, 1978).

Supondo $K_1 \approx 0$ nos tubos de elevação tem-se:

$$K_1 = 0$$

$$K_2 = 0,5 + \left[\frac{2}{3} \left(\frac{A_1}{A_2} \right) - \frac{8}{3} \frac{A_1}{A_2} + 2 \right] * N$$

K_3 deve ser determinado em função da tubulação de conexão de cada sistema de aquecimento em particular.

Desta forma, tem-se que a equação 89 fica:

$$K_e = \left[0,5 + \left(\frac{2}{3} \left(\frac{A_1}{A_2} \right) - \frac{8}{3} \frac{A_1}{A_2} + 2 \right) * N \right] N^2 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 + k_3 N^2 \left(\frac{d_1}{d_3} \right)^4 \quad (91)$$

Igualando as equações 88a e 85, tem-se que a vazão no sistema devido ao termosifão será dada por:

$$\begin{aligned} & \frac{(-1)}{2\dot{m}_c C_p} \left[\sum_{i=1}^N W_{\tau,i} \frac{d_{Ts,i}}{dz} + \sum_{i=1}^N U_{TL,i} (T_{s,i} - T_a) + \right. \\ & \left. \dot{m}_L C_p (T_{s,1} - T_{LR}) - Q_e \right] (2AT_m + B) f(h) \\ & = 8\dot{m}_c^2 \left(fe \frac{l_1}{d_1} + ke \right) / (\pi^2 g_o \rho^2 d_1^4 N^2) \end{aligned}$$

Portanto:

$$\begin{aligned} (\dot{m}_c^3) = - \frac{(2AT_m + B)f(h)}{DC_p} & \left[\sum_{i=1}^N W_{\tau,i} \frac{d_{Ts,i}}{dz} + \sum_{i=1}^N U_{TL,i} (T_{s,i} - T_a) + \right. \\ & \left. \dot{m}_L C_p (T_{s,i} - T_{LR}) - Q_e \right] \end{aligned} \quad (92)$$

onde

$$D = 16(fe l_1 / d_1 + ke) / (\pi g_o \rho^2 d_1^4 N^2) \quad (93)$$

2.3.3 - TRANSLAÇÃO DO MODELO

O programa de computador, escrito na linguagem ALGOL, para a simulação do tanque de armazenamento foi incorporado ao programa ou responsável pela simulação do sistema de aquecimento (SIMULA/PS/HEATSYSTEM, vide apêndice D, como sendo a rotina denominada "Thermosiphonflow". Esta rotina possui os seguintes parâmetros formais de entrada:

- Temperatura média do tanque
- Quantidade total de calor armazenado no tanque
- Quantidade de calor perdido pelo tanque para o ambiente; e,
- Quantidade de calor retirado do tanque para consumo

A rotina "Thermosiphonflow" devolve ao programa principal, como parâmetro formal de saída, a vazão no coletor solar devido ao efeito do termosifão. A Figura 2.24 representa o fluxograma geral dessa rotina. Não são emitidos gráficos nem relatórios pela rotina "thermosiphonflow".



Fig. 2.24 - Fluxograma Geral da Rotina "Thermosiphonflow".

2.4 - MODELO DO SISTEMA - ROTINA PRINCIPAL

Os modelos do coletor solar do tanque de armazenamento e da vazão no sistema termosifão, representados pelas rotinas de computador do programa "SIMULA/PS/HEATSYSTEM", são gerenciados pela rotina principal desse programa. Esta rotina se encarrega da leitura do arquivo de dados ambientais (SIMULA/PKR/DATARADIATION), gerencia a chamada das rotinas de simulação do coletor, tanque e termosifão, e gera o arquivo de dados simulados "SIMULA/PKR/SYSTEM" (vide apêndice E. A Figura 2.25 representa o fluxo geral da rotina principal.

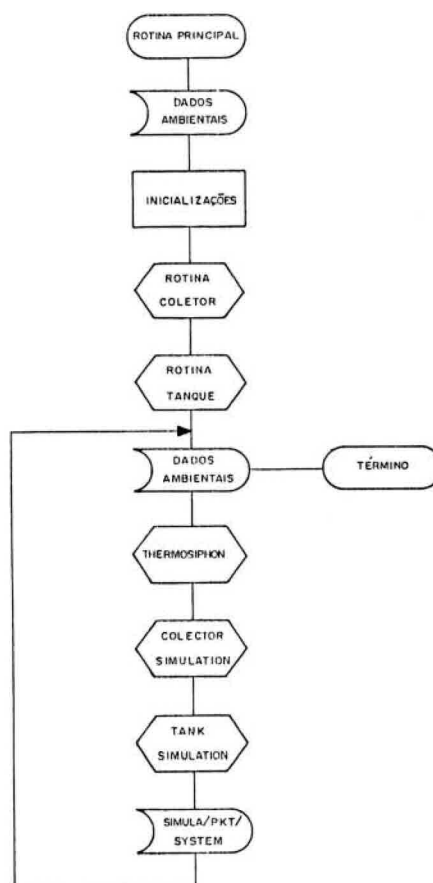


Fig. 2.25 - Fluxograma da Rotina Principal do Programa SIMULA/PS/HEATSYSTEM.

2.6 - REGRESSÃO DOS DADOS SIMULADOS

2.6.1 - FRAÇÃO SOLAR DE SISTEMA DE AQUECIMENTO

Reescrevendo a equação de balanço de energia (equação 75) aplicado no sistema de aquecimento solar representado na Figura 2.23, página 108 , tem-se:

$$\rho V C_p \frac{dT_T}{dt} = H R A_c F_r \tau_\alpha - F_r U_c A_c (T_c - T_{amb}) - U_T A_T (T_T - T_{amb}) - C + E \quad (94)$$

onde: ρ = densidade da água

V = volume do tanque

C_p = calor específico da água

H = intensidade de radiação solar no plano horizontal

A_c = área de captação do coletor

F_r = fator de remoção de calor do coletor

U_c = coeficiente global de perda de calor do tanque

T_c = temperatura média do coletor

T_T = temperatura média do tanque

T_{amb} = temperatura ambiente

C = consumo de água quente

E = consumo de energia elétrica

Multiplicando ambos os lados da equação 2.94 por $d\tau$ e integrando de um instante inicial, τ_i , para um período até τ_f , tem-se:

$$\int_{T_i}^{T_F} \rho V C_p dT = \int_{\zeta_i}^{\zeta_f} H R A_c F_r \tau \alpha d\zeta - \int_{\zeta_i}^{\zeta_f} F_r U_c A_c (T_c - T_{amb}) d\zeta - \int_{\zeta_i}^{\zeta_f} U_T A_T (T_T - T_{amb}) d\zeta - \int_{\zeta_i}^{\zeta_f} c d\zeta + \int_{\zeta_i}^{\zeta_f} E d\zeta \quad (95)$$

Fazendo uso de parte do raciocínio de Gill (1987) na aplicação do método da estimativa de parâmetros a dados de desempenho de sistemas de aquecimento solar, tem-se que, como o consumo de água quente é o mesmo para todos os dias (mesma quantidade de energia retirada no mesmo horário), o sistema, depois de um certo período inicial, entra num regime permanente, mas oscilante, podendo-se aproximar o termo à esquerda na equação 95 para zero. Como os parâmetros de projeto permanecem constantes a equação 95 pode ser reescrita como:

$$0 = H_T A_c F_r \tau \alpha - F_r U_c A_c \int_{\zeta_i}^{\zeta_f} (T_c - T_{amb}) d\zeta - U_T A_T \int_{\zeta_i}^{\zeta_f} U_T A_T (T_T - T_{amb}) d\zeta - C_T + C_E \quad (96)$$

onde H_T , C_T , C_E são respectivamente a radiação solar, o consumo de água quente e o consumo elétrico totalizados durante o período.

Aproximando as integrais das temperaturas por médias, isto é:

$$\int_0^{24} (T_c - T_{amb}) d\zeta = 24 (\bar{T}_c - \bar{T}_{amb})$$

e

$$\int_0^{24} (T_T - T_{amb}) d\zeta = 24 (\bar{T}_T - \bar{T}_{amb})$$

e reescrevendo a equação 96 tem-se que:

$$C_T - C_E = H_T A F_r \tau_\alpha - F_r U_c A_c \cdot 24 (\bar{T}_c - \bar{T}_{amb}) - U_T A_T \cdot 24 (\bar{T}_T - \bar{T}_{amb}) \quad (97)$$

dividindo ambas os lados da equação 97 por C_T tem-se:

$$\frac{C_T - C_E}{C_T} = F_r \tau_\alpha \left(\frac{H_T A_c}{C_T} \right) - F_r U_c A_c \cdot 24 \frac{(\bar{T}_c - \bar{T}_{amb})}{C_T} - U_T A_T \cdot 24 \frac{(\bar{T}_T - \bar{T}_{amb})}{C_T}$$

dado que $f = (C_T - C_E)/C_T$ onde f é a fração solar, tem-se portanto que

$$f = F_r \tau_\alpha \left(\frac{H_T A_c}{C_T} \right) - F_r U_c A_c \cdot 24 \frac{(\bar{T}_c - \bar{T}_{amb})}{C_T} - U_T A_T \cdot 24 \frac{(\bar{T}_T - \bar{T}_{amb})}{C_T} \quad (98)$$

A equação 98 acima é do tipo:

$$y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$$

onde

$$\beta_1 = F_r \tau \alpha \quad ; \quad \beta_2 = F_r U_c A_c \quad ; \quad \beta_3 = U_T A_T ;$$

$$X_1 = \frac{H_T}{C_T} \quad ; \quad X_2 = 24 \frac{(\bar{T}_c - \bar{T}_{amb})}{C_T} \quad ; \quad X_3 = 24 \frac{(\bar{T}_T - \bar{T}_{amb})}{C_T}$$

Pode-se portanto aplicar o método dos mínimos quadrados para estimar os parâmetros desta regressão linear múltipla e obter uma curva de desempenho para o sistema de aquecimento solar.

2.6.2 - TRANSLAÇÃO DO MODELO DE REGRESSÃO

Para obter os parâmetros da curva de desempenho do sistema (equação 98) a partir de simulação de pequenos períodos de tempo, e obter desta forma a fração solar do sistema para outras condições de operação, deve-se inicialmente, gerar o arquivo "DATA/PKT/LSN", a partir do arquivo que contém as totalizações e as médias diárias das simulações (SIMULA/PKR/SYSTEM). Isto é feito através do programa "SIMULA/PS/DATACORR", vide apêndice D.

Quando executado, este programa deverá pedir através do terminal remoto que seja informado o período para integração dos dados. Este período corresponde ao número de dias que serão tomados para gerar a média dos dados simulados. Por exemplo, se tivermos no arquivo de dados simulados (SIMULA/PKR/SYSTEM) 60 registros (60 dias simulados), e determinarmos que o período de integração é 1, as médias diárias serão calculadas apenas com os dados de 1 dia, devendo neste caso serem gerados 60 registros no arquivo "DATA/PKT/LSN". Se por exemplo, informarmos que o período de integração é 5, serão gerados 12 registros no "DATA/PKT/LSN", cada um correspondendo à média dos dados de 5 dias de

SIMULA/RL/SYSTEM
 SIMULACAO DC SISTEMA DE ABECIMENTO
 PERIODO DE INTEGRACAO: 1 (DIAS)

M E D I A S A N C P E R I O D O

DIA	A M B I E N T E		C C L E T O R		S C L A R		T A N Q U E		C O N S U M O		
	TEMPERATURA AMBIENTE (C)	RADIACAO SOLAR (W/M**2)	FATOR DE RENDIMENTO	COEFICIENTE GLOBAL PERDA (K/M**2 C)	TEMPERATURA MEDIA	COEFICIENTE GLOBAL PERDA (K/M**2 C)	TEMPERATURA MEDIA (C)	AGUA QUENTE (WHR)	ENERGIA ELTRICA (KWH)	FRACAO SOLAR	
46	29.78	6660.30	0.64	6.63	57.84	13.65	59.44	2703.07	0.00	100.00	
47	31.19	6733.30	0.63	6.66	60.02	13.64	61.74	2702.76	0.00	100.00	
48	30.74	5691.40	0.62	6.69	61.14	13.84	63.19	2702.85	0.00	100.00	
49	27.98	6282.60	0.63	6.67	59.68	13.90	61.46	2702.74	0.00	100.00	
54	29.39	4271.00	0.64	6.63	49.71	12.90	51.39	2701.98	906.17	66.46	
56	29.03	4604.10	0.64	6.68	50.57	12.92	52.08	2702.61	1286.76	52.39	
57	26.49	4226.30	0.63	6.67	51.73	13.22	53.18	2702.79	927.95	65.67	
62	28.84	5599.90	0.63	6.68	57.19	13.62	58.50	2703.64	0.00	100.00	
75	21.52	1953.40	0.55	6.65	43.47	13.19	45.72	2703.12	2166.43	19.85	
76	20.46	2207.70	0.50	6.61	46.03	13.48	47.79	2701.65	2499.80	7.47	
67	26.09	6634.50	0.64	6.64	57.90	13.70	59.25	2703.75	0.00	100.00	
88	29.14	6530.30	0.64	6.66	59.54	13.71	60.23	2703.61	0.00	100.00	
89	29.92	6371.60	0.64	6.66	58.83	13.66	60.47	2704.07	0.00	100.00	
106	25.09	2712.40	0.56	6.65	46.53	12.89	47.77	2702.16	3216.65	-19.04	
110	26.28	3555.00	0.63	6.68	47.11	12.96	48.73	2702.81	1013.12	62.52	
111	27.99	6581.10	0.64	6.67	54.94	13.36	56.19	2701.61	1385.96	49.66	

Fig. 2.26 - Exemplo de Relatório Emitido pelo Programa "SIMULA/PKR/DATACORR".

PARAMETROS DA REGRESSAO
A= 2.00
B(1)= 3.00000
B(2)= 1.00000

ANALISE DE VARIANCA

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
REGRESSAO	2	125.5000	62.7500	62.75
RESIDUO	3	3.0000	1.0000	
TOTAL	5	128.5000	--	

COEFICIENTE DE DETERMINACAO (R**2): 0.98

Fig. 2.27 - Exemplo de Relatório Emitido pelo Programa "SIMULA/PS/MULTILINREG".

CAPÍTULO 3

VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO

3.1 - VERIFICAÇÃO

Inicialmente vale comentar que existem várias técnicas e procedimentos que podem ser utilizados para a verificação de um modelo, veja, por exemplo, Farley (1985, cap. VIII, "Verification and Validation Techniques"). Mas infelizmente, conforme afirma Sargent (p.160, 1982), não existe um procedimento genérico para determinar quais técnicas devem ser utilizadas em um modelo específico, pois a escolha da técnica depende do problema, dos propósitos do modelo, dos dados experimentais, do custo e do tempo disponível.

Para a verificação do modelo em questão, utilizou-se a análise dinâmica, conforme Farley (1985). Nesta análise os programas de computador referentes aos modelos são executados sob diferentes condições representativas de diversas situações reais, e os resultados obtidos são utilizados para analisar se o modelo foi implementado de forma correta. Geralmente, utiliza-se dados para os quais o comportamento do sistema real é conhecido.

O modelo desenvolvido foi verificado utilizando-se os seguintes procedimentos:

- 1) Verificação dos modelos do coletor solar e do tanque de armazenamento, de forma independente. Isto é, estes modelos foram verificados em separado, e os resultados comparados com exemplos disponíveis na literatura ou com resultados experimentais disponíveis.

- 2) O modelo do sistema de aquecimento como um todo foi verificado através de simulações de variadas situações operacionais, e os resultados comparados com dados semelhantes disponíveis na literatura ou com resultados experimentais, visando verificar se o modelo respondia a estas situações da forma como esperada.

Como serão mostrados no item seguinte (validação), vários resultados compreendendo diversas situações operacionais, através dos quais o comportamento do modelo pode ser analisado, julgou-se não ser necessário incluir neste relatório os resultados das verificações dos modelos do coletor solar, do tanque de armazenamento e do sistema como um todo.

3.2 - VALIDAÇÃO

Duff e Winn (p.17-18, 1981) sugerem que, para validar modelos de simulação de sistemas de aquecimento solar residencial, devem ser considerados os seguintes aspectos referentes ao processo de modelagem:

- a) a qualidade dos dados ambientais e operacionais a serem utilizados;
- b) a validação das hipóteses e simplificações utilizadas;
- c) a validação da lógica do modelo de simulação;
- d) a validação do comportamento do modelo.

O primeiro aspecto acima refere-se a análise e seleção dos dados a serem utilizados. O segundo e

terceiro aspectos referem-se às técnicas utilizadas no processo de modelagem, aos propósitos do modelo e ao tipo e quantidade de dados disponíveis. O quarto aspecto é necessário para assegurar que o comportamento do modelo está de acordo com o comportamento do sistema real.

Desta forma, os procedimentos a serem utilizados para a validação do modelo em questão serão baseados nos aspectos sugeridos por Duff e Winn (1981). Será, portanto, inicialmente feita uma análise e seleção dos dados ambientais, seguida da descrição do procedimento de ajuste do modelo ao sistema real. Finalmente, serão apresentados os resultados das simulações realizadas para a validação do modelo, em conjunto com uma análise dos mesmos.

3.2.1 - DADOS EXPERIMENTAIS

Os dados experimentais para a validação do modelo encontram-se disponíveis na forma de gráficos ou tabelas, e foram obtidos através do experimento realizado no LCP/INPE, conforme descrito na Definição do Problema (Capítulo 1).

Devido ao fato de se dispor de um maior número de informações sobre o Sistema III do referido experimento e em função das características relativamente mais abrangentes deste sistema, o mesmo foi selecionado para ser simulado, para efeito deste trabalho. Vale ressaltar, entretanto, que o modelo desenvolvido é versátil o suficiente para simular qualquer um dos outros três sistemas de aquecimento que fizeram parte do experimento do LCP/INPE.

A Figura 3.1 ilustra como os dados experimentais estão disponíveis na forma gráfica. No Gráfico

3.1A, encontram-se as curvas referentes aos dados ambientais (radiação solar no plano do coletor, temperatura ambiente, temperatura da água de reabastecimento e velocidade do vento), em função do tempo (hora do dia). No Gráfico 3.1B encontram-se as curvas referentes às seguintes variáveis: temperatura da água de consumo, temperatura da água na entrada e na saída do coletor e o tempo de consumo de energia elétrica auxiliar. Algumas médias e totalizações diárias encontram-se registradas no canto superior direito da folha de dados. Os dados experimentais referentes aos dias simulados encontram-se no Apêndice C. Encontram-se também na Tabela 1 do Apêndice C, os valores médios e totalizações diárias de algumas variáveis de interesse.

A seguir, será descrito o procedimento utilizado para a seleção dos dados experimentais e para a eliminação de "outliers". Inicialmente, os dados referentes ao Sistema-III, constantes da Tabela 1 (Apêndice C), foram gravados no arquivo "SIMULA/DATA/EXPERIM1" (vide listagem do arquivo no Apêndice E). Em seguida, com base no "Log Book" do experimento realizado no LCP/INPE, foram eliminados os dados referentes aos dias nos quais ocorreram problemas, tais como queima de fusíveis, falta de energia elétrica, descalibração das válvulas solenóides, troca de termostatos etc. São os seguintes os dias removidos do arquivo de dados experimentais: 50, 51, 52, 53, 55, 58, 59, 60, 61, 66, 67, 79, 103, 104, 105, 114, 117, 118, 119, 120, 121 e 122. Gerou-se então o arquivo "SIMULA/DATA/EXPERIM2" com os dados experimentais considerados válidos. Vide listagem deste arquivo no Apêndice E.

Em seguida, utilizando-se uma rotina auxiliar (SIMULA/PS/AJUSTAPOLI), plotou-se a fração solar

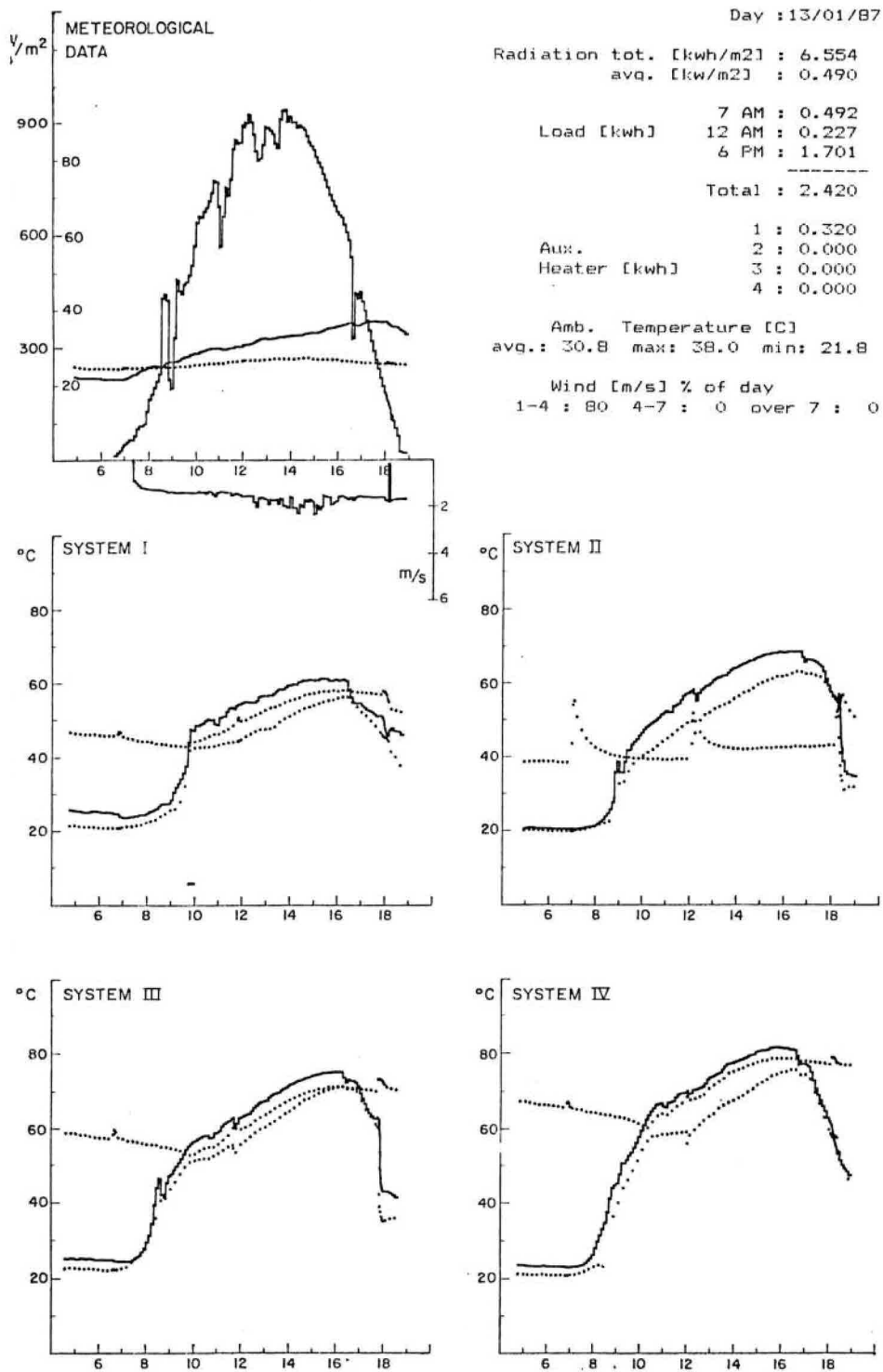


Fig. 3.1 - Forma Gráfica dos Dados Experimentais.

versus o dia experimental a partir dos dados experimentais considerados válidos (vide Figura 3.2).

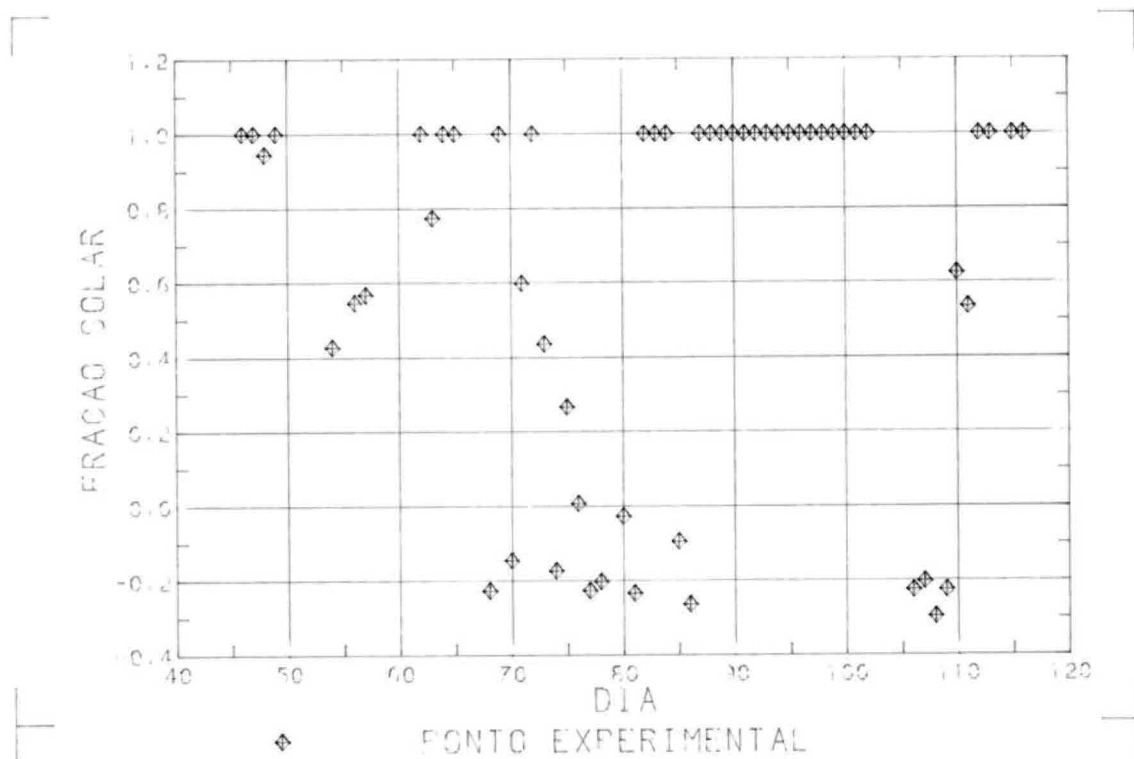


Fig. 3.2 - Fração Solar X Dia (Dados Experimentais).

FONTE: Gill (1987).

A Figura 3.2 serve para fornecer uma idéia do comportamento do sistema de aquecimento ao longo do período experimental, e como base para seleção dos períodos a serem simulados.

Finalmente, vale comentar um problema ocorrido durante a aquisição dos dados experimentais. Devido ao fato do termopar utilizado para a medição da temperatura da água para consumo ter sido instalado na tomada de água para consumo, ocorreu que dispõe-se de fato da temperatura da água no tanque apenas nos instantes em que houve retirada de água para consumo, isto é, às 7:00, às

12:00 e às 18:00 horas. Durante os demais instantes, a medida obtida não possui, portanto, significado de interesse.

3.2.2 - AJUSTE DO MODELO

3.2.2.1 - COLETOR SOLAR

Para se conseguir um bom ajuste do modelo do coletor, deve-se dispor de uma curva de rendimento obtida através de teste padronizado. Deve-se ajustar o modelo de modo que se obtenha uma curva de rendimento simulada a mais próxima possível da curva de rendimento obtida através de ensaio padrão.

Como não se dispunha de uma curva de rendimento do coletor a ser simulado, utilizou-se o seguinte procedimento alternativo: procurou-se um ajuste para o modelo de modo que para uma dada condição ambiental, a diferença de temperatura entre a água na entrada e na saída do coletor fosse a mais próxima possível da diferença real (conhecida).

Desta forma, selecionou-se entre os dados experimentais os referentes ao dia número 87, devido ao fato das condições ambientais neste dia se mostrarem bastante próximas das estabelecidas em norma para teste de coletores solares.

A Figura 3.3 mostra um esquema representativo do sistema simulado, contendo algumas dimensões referentes à sua instalação na plataforma de testes, as quais foram utilizadas para o ajuste do modelo.

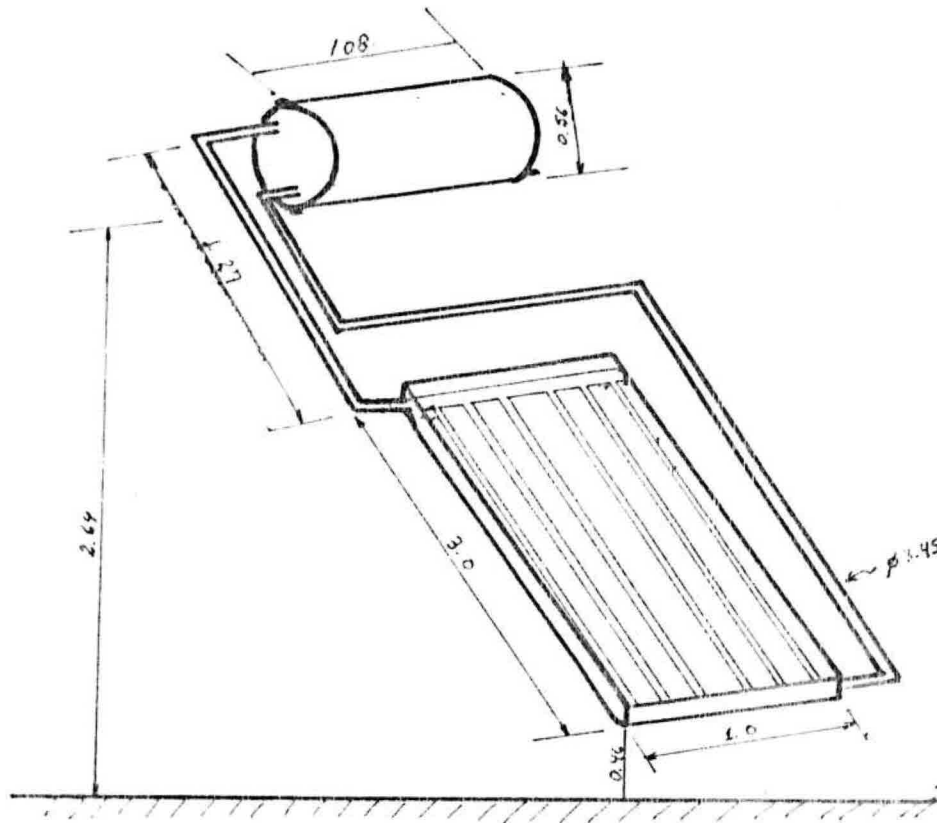


Fig. 3.3 - Dimensões da Instalação do Sistema de Aquecimento Simulado.

A Figura 3.4 mostra as curvas experimentais utilizadas como base para o ajuste do coletor solar.

Na Figura 3.5 encontram-se representadas as curvas de temperatura na entrada e na saída do coletor, obtidas após o ajuste do modelo do coletor. Vale comentar que o ajuste do modelo do coletor foi realizado após o ajuste do modelo do tanque de armazenamento, devido ao fato de que o ajuste do modelo do tanque pode ser feito independentemente do ajuste do modelo do coletor, através das perdas térmicas durante a noite.

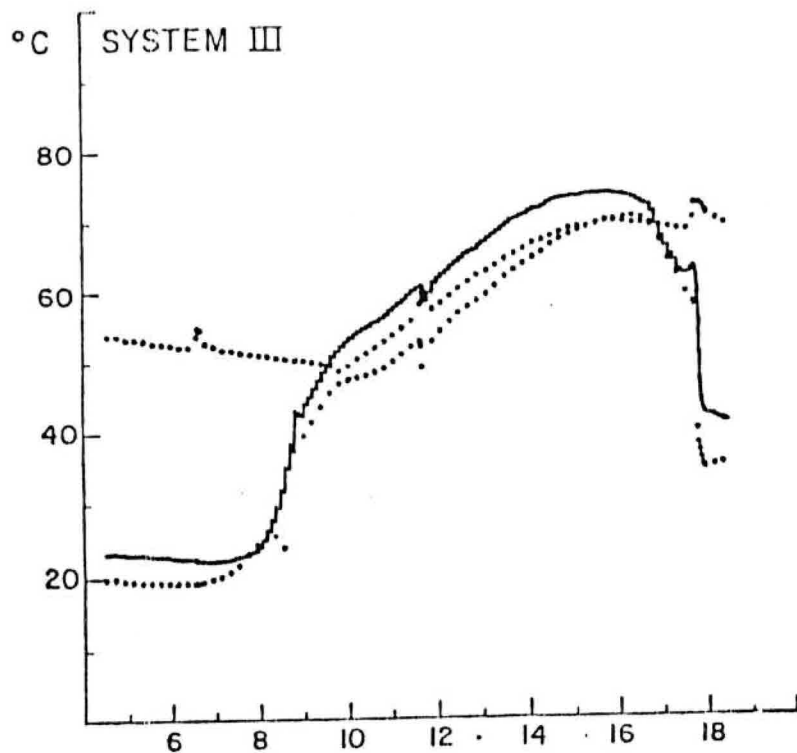


Fig. 3.4 - Temperatura da Água na Entrada e na Saída do Coletor Solar.

FONTE: Anhalt (1987).

Pode-se verificar através das Figuras 3.4 e 3.5 que o comportamento simulado do coletor é bastante aproximado do comportamento experimental, podendo ser observado que os maiores desvios ocorrem principalmente no início do período simulado, devido ao regime transiente em que ocorre o aquecimento do coletor.

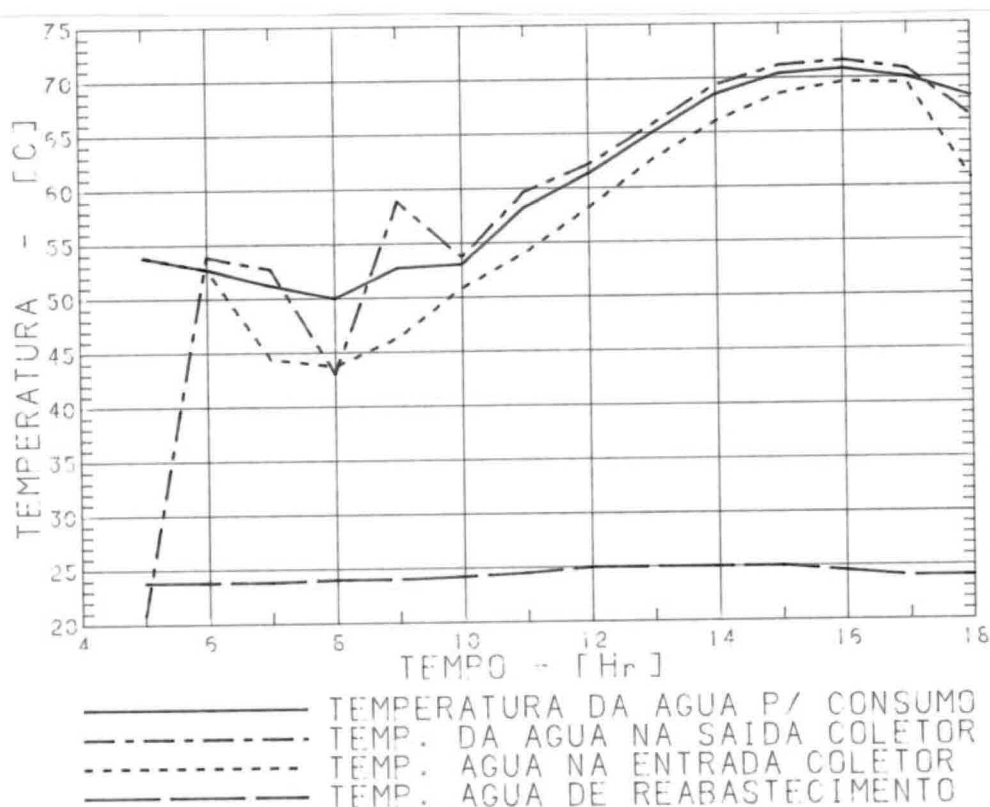


Fig. 3.5 - Simulação da Temperatura da Água na Entrada e na Saída do Coletor Solar para Ajuste do Modelo.

3.2.2.2 - TANQUE DE ARMAZENAMENTO

O procedimento utilizado para o ajuste do modelo do tanque de armazenamento foi o seguinte:

- 1) Através dos dados experimentais é possível calcular a quantidade de calor perdida pelo tanque no período compreendido entre às 18:00 horas de um determinado dia até às 5:00 horas do dia seguinte, ou seja, conhece-se a temperatura do tanque no final do dia (18:00 hs) e a temperatura do tanque no início do dia seguinte (5:00 hs).

- 2) Desta forma, simulou-se o sistema de aquecimento com incidência nula de radiação no coletor (noite), por um período de 11 horas de duração. Ajustou-se então o modelo do tanque de modo a se obter, aproximadamente, a mesma perda de calor que o sistema real neste período.

Verifica-se, através dos dados experimentais, que a queda de temperatura da água no tanque de armazenamento durante a noite varia de, aproximadamente, 10°C a 13°C , dependendo da temperatura do tanque no fim do dia e da variação da temperatura ambiente. A Figura 3.6 mostra a curva de resfriamento simulada para o tanque, das 18:00 hs do dia 86 às 5:00 horas do dia 87. Neste período pode ser verificado, através dos dados experimentais referentes aos dias 87 e 88 (Anexo 3), que a queda real de temperatura foi de 11°C , enquanto a queda de temperatura simulada foi de $11,14^{\circ}\text{C}$.

Pode-se ainda observar, através dos dados experimentais, que o nível de estratificação do tanque não é alto. O melhor ajuste foi conseguido utilizando-se três níveis de estratificação no modelo do tanque.

O ajuste da quantidade de energia elétrica consumida foi feito com base na histerese do termostato de controle do aquecimento elétrico. Aumentando-se o valor da histerese do termostato, aumenta-se a quantidade de energia elétrica consumida. Para realizar este ajuste foi simulado um dia no qual houve consumo de energia elétrica pelo sistema de aquecimento.

Desta forma, com base nos resultados obtidos, considerou-se o modelo como ajustado ao sistema de aquecimento solar real a ser simulado.

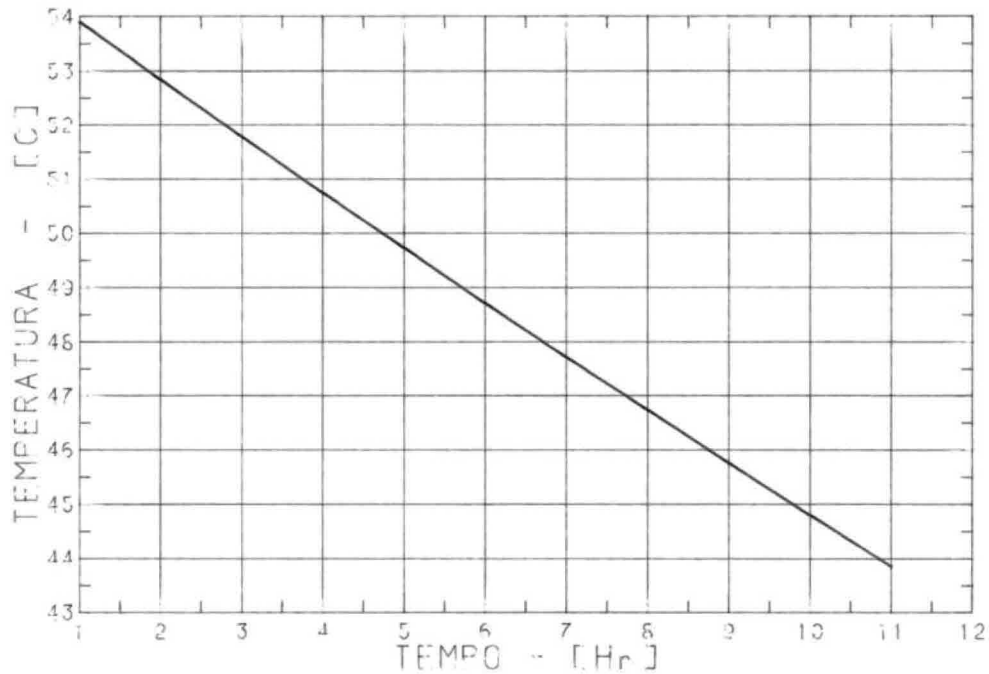


Fig. 3.6 - Curva de Resfriamento Simulada para o Ajuste do Modelo do Tanque de Armazenamento.

3.2.3 - PROCEDIMENTO DE VALIDAÇÃO

Para validar as hipóteses e o comportamento do modelo, foram feitas simulações compreendendo várias situações operacionais, e os resultados comparados com resultados experimentais ou com dados disponíveis na literatura. Os gráficos e os relatórios contendo os resultados dessas simulações encontram-se dispostos sequencialmente, no Apêndice F. A referência a estes gráficos será feita pelo número do dia simulado seguida de uma letra do alfabeto que identifica dentre os gráficos de um mesmo dia qual está sendo referenciado. Por exemplo:

"Gráfico-46-A", refere-se ao gráfico da intensidade de radiação versus tempo (hora do dia) para o dia experimental número 46. Os relatórios dessas simulações serão referenciados da mesma forma, por exemplo, "Relatório-46-A". A Tabela 3.1 apresenta os resultados das simulações realizadas em médias e totalizações diárias.

Com base nesses resultados, será analisado o comportamento do modelo face às situações simuladas, bem como a correlação entre esses resultados e os dados experimentais (disponíveis no Apêndice C).

Referindo-nos, inicialmente aos gráficos de temperatura versus tempo (hora do dia), (gráficos "dd-B", onde "dd" é o número do dia simulado), pode-se verificar que as curvas de temperatura da água na saída do coletor apresentam, de um modo geral, comportamento bastante semelhante às correspondentes curvas experimentais. Verifica-se através das curvas experimentais que o sistema de aquecimento geralmente alcança as temperaturas mais elevadas entre às 15:00 e às 16:00 horas, nos dias claros. Pode-se verificar nos resultados simulados que o mesmo ocorre para esses tipos de dias. Uma outra verificação desse comportamento dos sistemas de aquecimento pode ser feita através dos resultados obtidos por Gupta e Garg (1968), como mostra a Figura 3.7 para o coletor solar e a Figura 3.8 para o tanque de armazenamento.

TABELA 3.1

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

M E D I A S A C F E R I O D O

DIA	A M B I E N T E		C O L E T O R S C L A R		T A N Q U E		C O N S U M O		FRACAO SOLAR
	TEMPERATURA AMBIENTE (C)	RADIACAO SOLAR (%/HOR)	FATOR DE RECOLETA (1/100C)	TEMPERATURA MEDIA (C)	COEFICIENTE GLOBAL PERDA (%/100C)	TEMPERATURA MEDIA (C)	AGUA QUENTE (L/HOR)	ENERGIA ELETRICA (KWH)	
46	28.78	6560.22	0.54	57.84	13.65	59.44	2703.07	0.00	100.00
47	31.19	6733.30	0.53	60.02	13.64	61.74	2702.76	0.00	100.00
48	35.74	5691.40	0.52	61.14	13.84	63.19	2702.85	0.00	100.00
49	27.08	6222.60	0.53	59.88	13.70	61.46	2702.74	0.00	100.00
54	29.37	4271.00	0.54	49.71	12.80	51.39	2701.98	906.17	66.46
56	26.03	4606.10	0.54	50.57	12.82	52.08	2702.61	1286.76	52.39
57	26.49	4225.30	0.53	51.73	13.22	53.18	2702.79	927.85	65.57
62	28.34	5575.90	0.53	57.18	13.62	58.50	2703.64	0.00	100.00
75	21.52	1853.40	0.55	43.47	13.19	45.72	2703.12	2166.43	19.85
76	20.46	2207.70	0.50	45.33	13.48	47.79	2701.55	2499.80	7.47
87	28.09	6636.50	0.54	57.80	13.70	59.25	2703.75	0.00	100.00
88	29.14	6536.30	0.54	58.54	13.71	60.23	2703.61	0.00	100.00
89	29.92	6371.60	0.54	56.83	13.66	60.47	2704.07	0.00	100.00
106	25.09	2712.40	0.56	46.53	12.89	47.77	2702.16	3216.65	-19.04
110	26.28	3555.00	0.53	47.11	12.96	48.73	2702.81	1013.12	62.52
111	27.99	6531.10	0.54	54.94	13.26	56.19	2701.61	1385.96	48.66

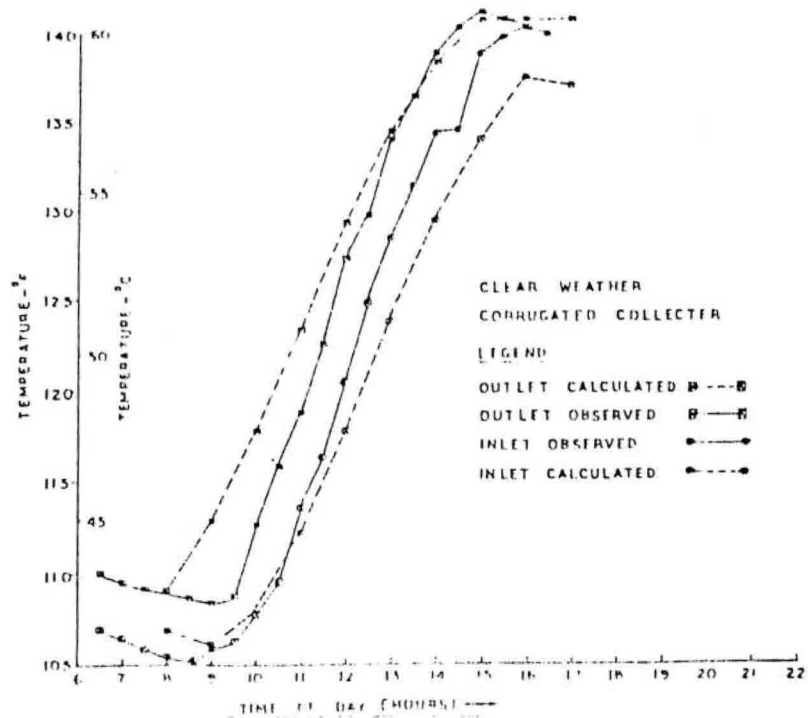


Fig. 3.7 - Temperatura da Água na Entrada e na Saída do Coletor para Dias Claros.

FONTE: Gupta e Garg (1968).

A Tabela 3.2 mostra a temperatura média diária do tanque obtida experimentalmente e a obtida através do modelo de simulação. A figura 3.9 mostra a correlação entre essas temperaturas.

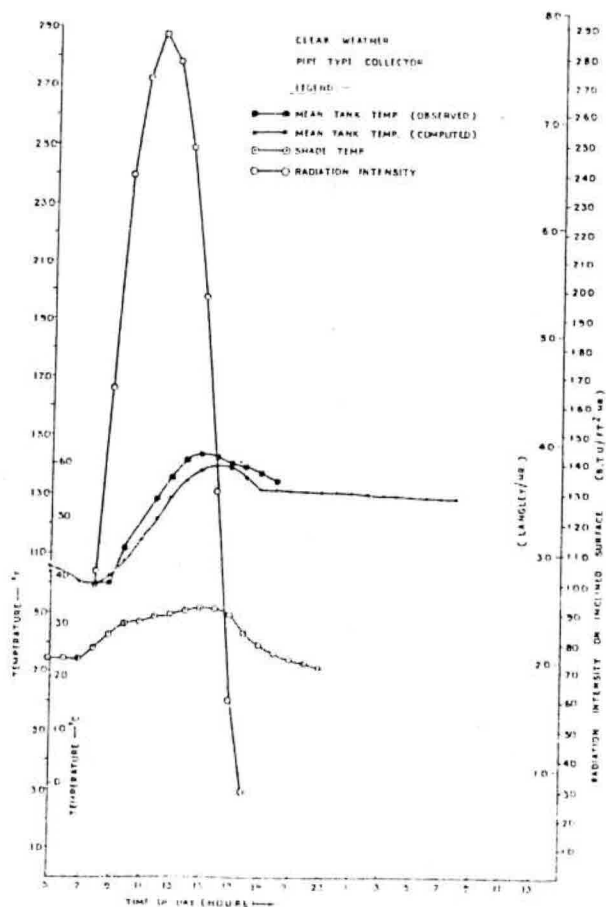


Fig. 3.8 - Temperatura Média do Tanque para Dias Claros.

FONTE: Gupta e Garg (1968).

TABELA 3.2

TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DO TANQUE
(EXPERIMENTAL X SIMULADO)

TEMPERATURA MÉDIA DO TANQUE			
DIA	EXPERIMENTAL	SIMULADO	
46	59,2	59,4	
47	63,5	61,7	
48	66,3	63,2	
49	61,7	61,5	
54	51,7	51,4	
56	52,1	52,1	
57	53,8	53,2	
62	60,0	58,5	
75	45,4	45,7	
76	51,7	47,8	
87	62,1	59,3	
88	65,8	60,2	

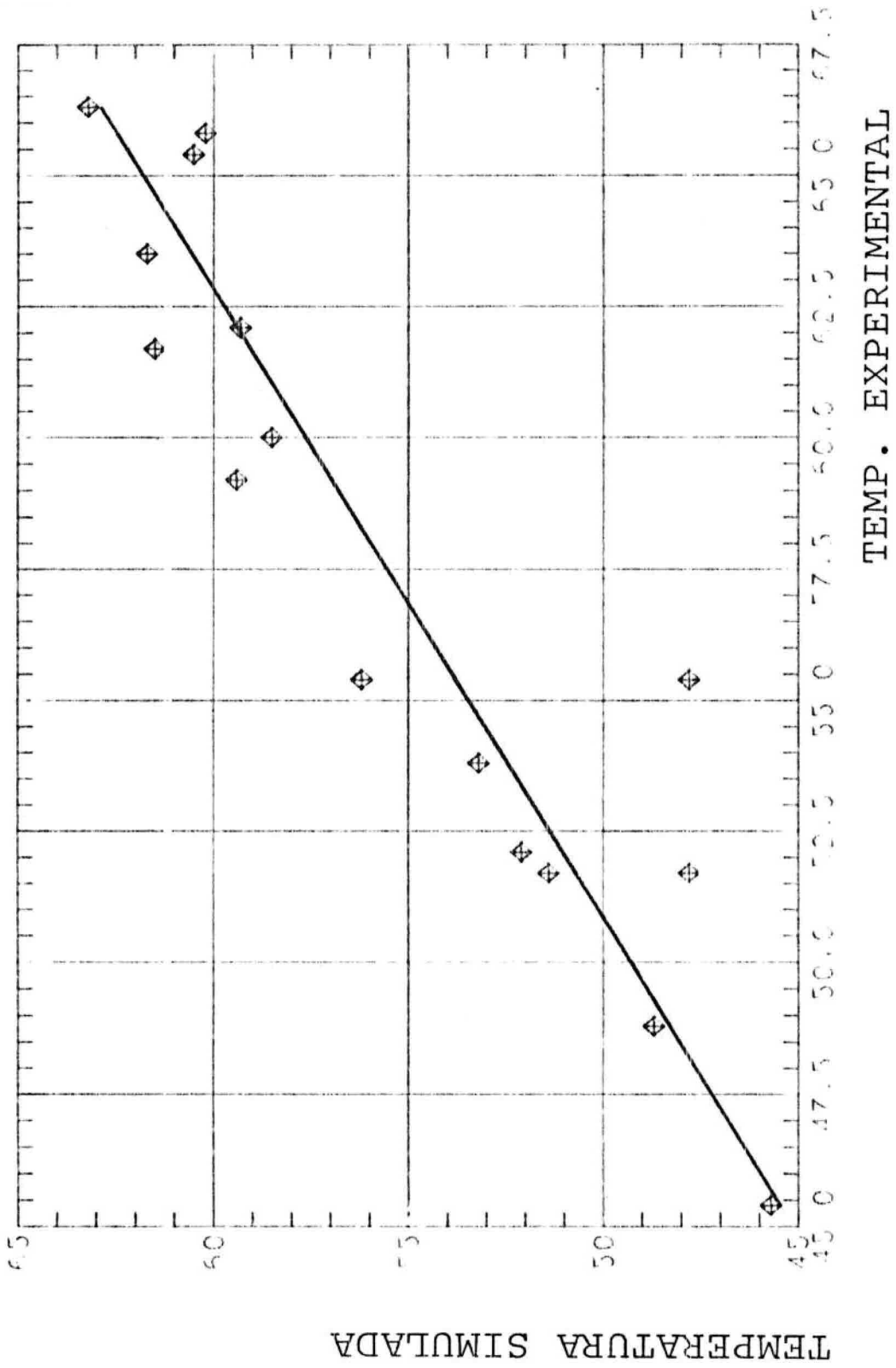


Fig. 3.9 - Temperatura Média do Tanque (Experimental X Simulada).

TABELA 3.3

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA CORRELAÇÃO
ENTRE AS TEMPERATURAS MÉDIAS DO TANQUE
(SIMULADA E EXPERIMENTAL)

! C.V. !	! G.L. !	! S.Q. !	! Q.M. !	! F !
! _____ !	! _____ !	! _____ !	! _____ !	! _____ !
! REGRESSÃO !	! 1 !	! 439.9435 !	! 439.9435 !	! 82.68 !
! _____ !	! _____ !	! _____ !	! _____ !	! _____ !
! RESÍDUO !	! 14 !	! 79.4965 !	! 5.3212 !	! _____ !
! _____ !	! _____ !	! _____ !	! _____ !	! _____ !
! TOTAL !	! 15 !	! 514.4400 !	! _____ !	! _____ !
! _____ !	! _____ !	! _____ !	! _____ !	! _____ !

Coefficiente de Determinação: 0,86.

Quanto ao consumo de energia elétrica auxiliar (gráficos "dd-C", onde "dd" é o número do dia simulado), pode-se observar através da Tabela 3.4 e das Figuras 3.10A e 3.10B, que as melhores respostas obtidas pelo modelo referem-se aos dias que apresentaram fração solar maior que 50%, e estão associadas aos dias de média e alta intensidade de radiação solar (dias claros ou com pouca cobertura de nuvens).

TABELA 3.4

FRAÇÃO SOLAR
(EXPERIMENTAL X SIMULADO)

TEMPERATURA MÉDIA		DO TANQUE		RADIAÇÃO SOLAR
DIA	EXPERIMENTAL	SIMULADO	(W/M2)	
46	1,0	1,0	6660	
47	1,0	1,0	6733	
48	0,945	1,0	6097	
49	1,0	1,0	6282	
54	0,438	0,665	4271	
56	0,547	0,524	4604	
57	0,568	0,657	4226	
62	1,0	1,0	5598	
75	0,267	0,196	1853	
76	0,007	0,075	2207	
87	1,0	1,0	6834	
88	1,0	1,0	6530	

TABELA 3.4 (CONT.)

FRAÇÃO SOLAR
(EXPERIMENTAL X SIMULADO)

FRAÇÃO SOLAR DO SISTEMA DE AQUECIMENTO				RADIAÇÃO SOLAR
DIA	EXPERIMENTAL	SIMULADO	(W/M2)	
89	1,0	1,0	6371	
106	0,225	-0,190	2712	
110	0,625	0,625	3555	
111	0,535	0,487	6581	

Os maiores desvios entre os dados experimentais e os simulados, para os dias com baixa fração solar, podem ser explicados, em parte, pela possível ocorrência de fatores ambientais capazes de alterar o comportamento do sistema, os quais não foram considerados no desenvolvimento do modelo - como por exemplo: dias chuvosos. Por outro lado, estes resultados constituem mais uma evidência de que o ajuste do modelo do tanque deve ser melhorado, diminuindo-se as perdas térmicas para o ambiente, pois justamente nos dias de baixa incidência de radiação solar direta, nos quais, em geral, as perdas térmicas para o ambiente são maiores devido ao maior diferencial de temperatura, o modelo apresentou relativamente os piores resultados.

Pode-se observar ainda que para os dias que apresentaram fração menor que 50%, a fração solar simulada é maior que a fração solar experimental, o que sugere um pequeno aumento na histerese do termostato, de modo que o modelo passe a consumir um pouco mais de energia elétrica e, conseqüentemente, obtenha frações solares um pouco menores.

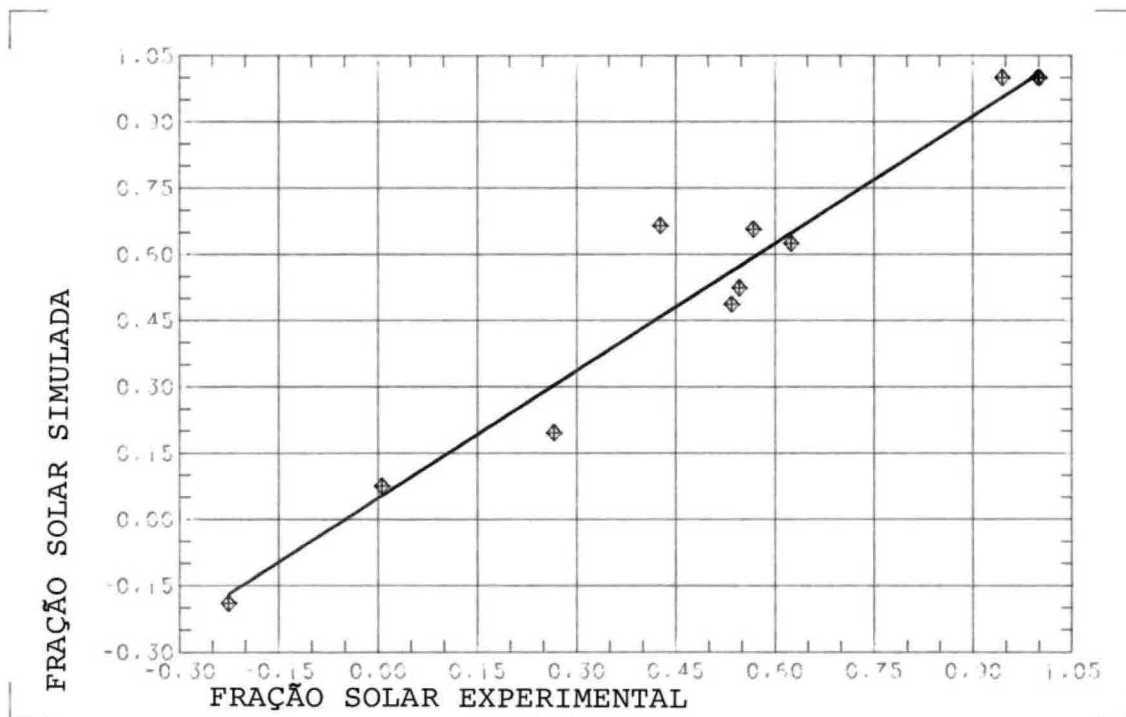


Fig. 3.10A - Fração Solar (Experimental e Simulada) X Tempo (Dias).

Entretanto, pode-se verificar, através da Tabela 3.5, Análise de Variância da Correlação entre a Fração Solar Experimental e Simulada, que os resultados obtidos são significativos.

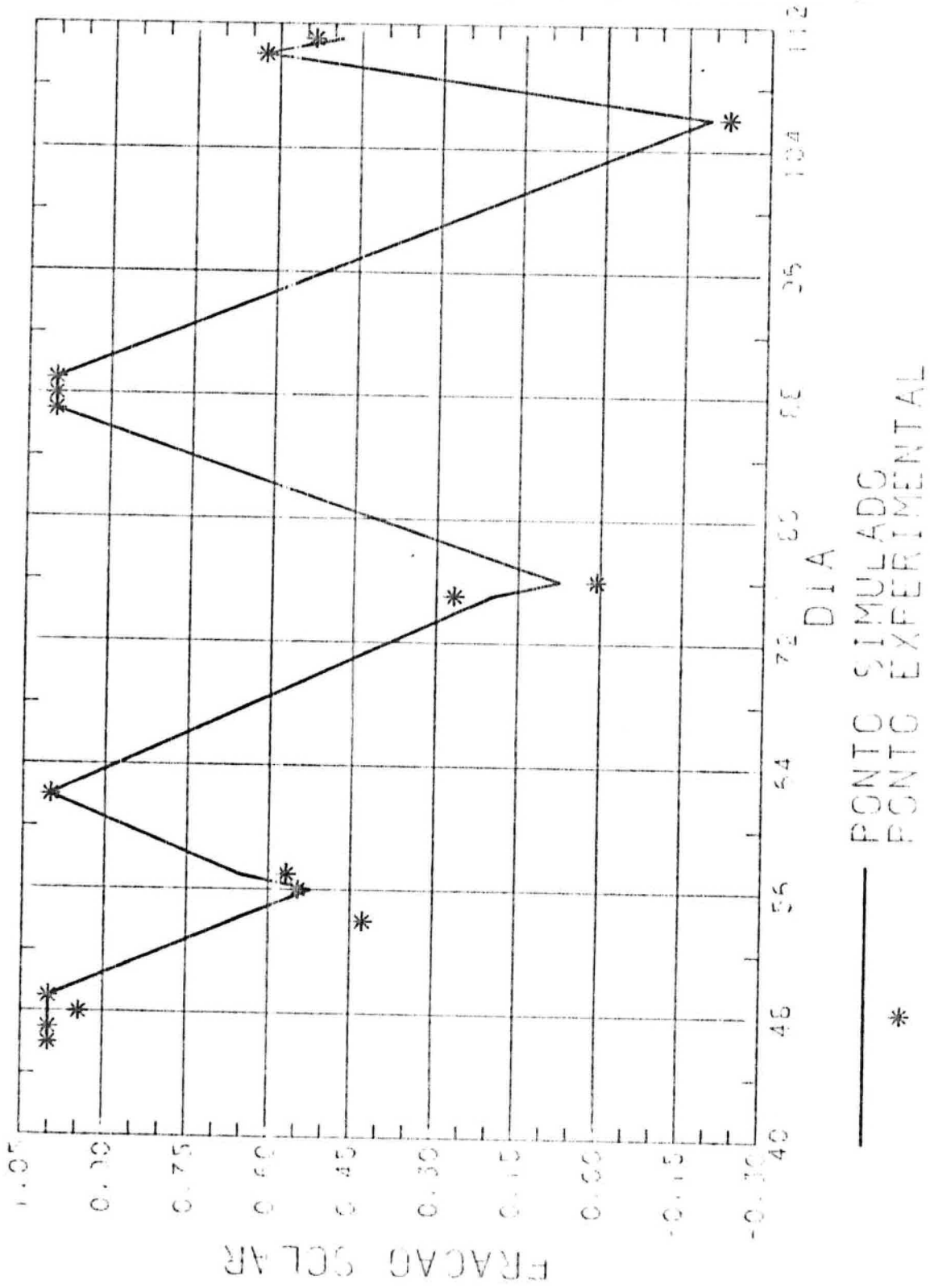


Fig. 3.10B - Fração Solar X Tempo (Num. Dia).

TABELA 3.5

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA CORRELAÇÃO
ENTRE A FRAÇÃO SOLAR SIMULADA E EXPERIMENTAL

! C.V. !	! G.L. !	! S.Q. !	! Q.M. !	! F !
! _____ !	! _____ !	! _____ !	! _____ !	! _____ !
! REGRESSÃO !	! 1 !	! 2.1700 !	! 2.1700 !	! 433.22 !
! _____ !	! _____ !	! _____ !	! _____ !	! _____ !
! RESÍDUO !	! 14 !	! 0.0701 !	! 0.0050 !	! _____ !
! _____ !	! _____ !	! _____ !	! _____ !	! _____ !
! TOTAL !	! 15 !	! 2.2402 !	! _____ !	! _____ !
! _____ !	! _____ !	! _____ !	! _____ !	! _____ !

Coefficiente de Determinação (R^2): 0,97.

Finalmente, referindo-nos às curvas de vazão no coletor devido ao efeito termosifão (gráficos "dd-D", onde "dd" é o número do dia), observa-se a tendência da curva de vazão no coletor versus tempo em acompanhar o comportamento da curva de intensidade de radiação solar versus tempo (gráficos "dd-A"). Vide, por exemplo, as Figuras 3.11 e 3.12. A Figura 3.11 mostra o gráfico da intensidade de radiação versus tempo, referente ao dia experimental número 46, e a Figura 12 mostra a vazão no coletor para este mesmo dia, para a condição de não ser retirada água para consumo. Esta tendência foi verificada por Ong (1975), como mostram as Figuras 3.12a e 3.12b.

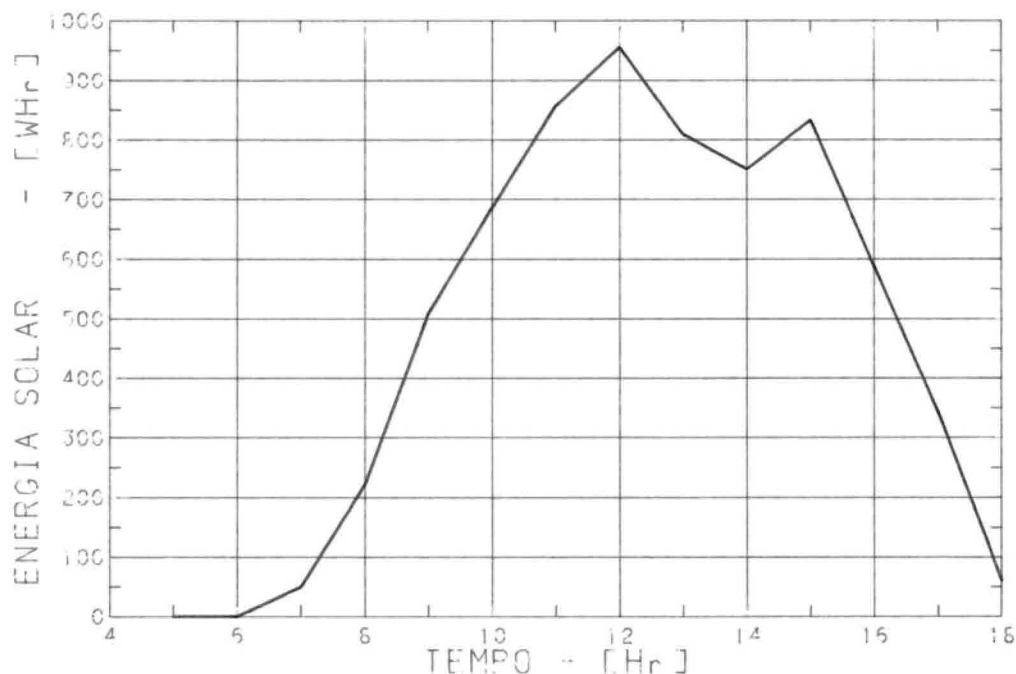


Fig. 3.11 - Intensidade de Radiação Solar Referente ao Dia Experimental Número 46.

Observa-se também que a retirada de água para consumo com o simultâneo reabastecimento do tanque, provoca um aumento instantâneo da vazão, seguida de uma redução nos instantes seguintes, devido a redução na temperatura média do tanque e no "head" do termosifão. Os efeitos da retirada de água quente do sistema de forma intermitente, com o simultâneo reabastecimento do tanque, foram estudados por Joudi (1983) através de uma investigação experimental. A Figura 3.13 mostra um dos resultados obtidos por Joudi (1983) para um dia claro e com retirada intermitente de água para consumo. Pode-se observar o mencionado efeito da retirada de água para consumo com o simultâneo reabastecimento do tanque na Figura 3.13 ("local time" 10:00 hs).

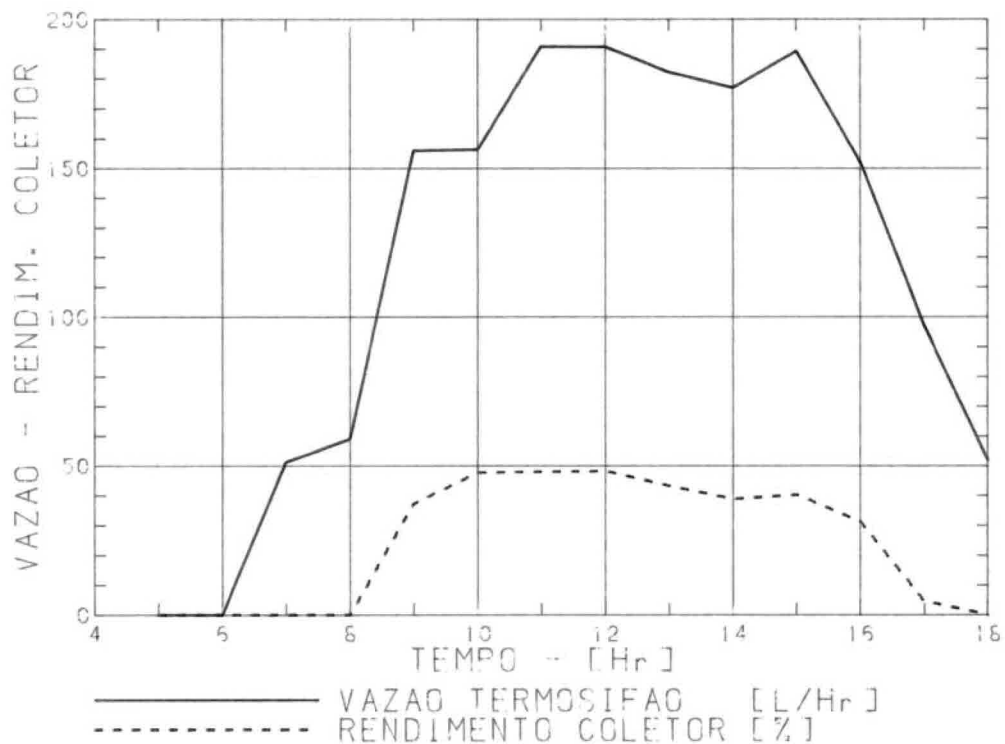


Fig. 3.12 - Vazão no Coletor para o Dia Experimental Número 46 (sem Retirada de Água do Sistema de Aquecimento).

A adição de calor ao tanque, através do sistema de aquecimento elétrico auxiliar, provoca uma redução na vazão, efeito inverso ao da retirada de água para consumo como pode, por exemplo, ser verificado através do Gráfico 75D, ou através da equação 92 (Capítulo 2).

A curva do rendimento do coletor, plotada no mesmo gráfico da vazão, também apresenta comportamento característico, mantendo-se aproximadamente constante entre às 9:00 e às 12:00 horas, para os dias claros e decrescendo a partir deste horário.

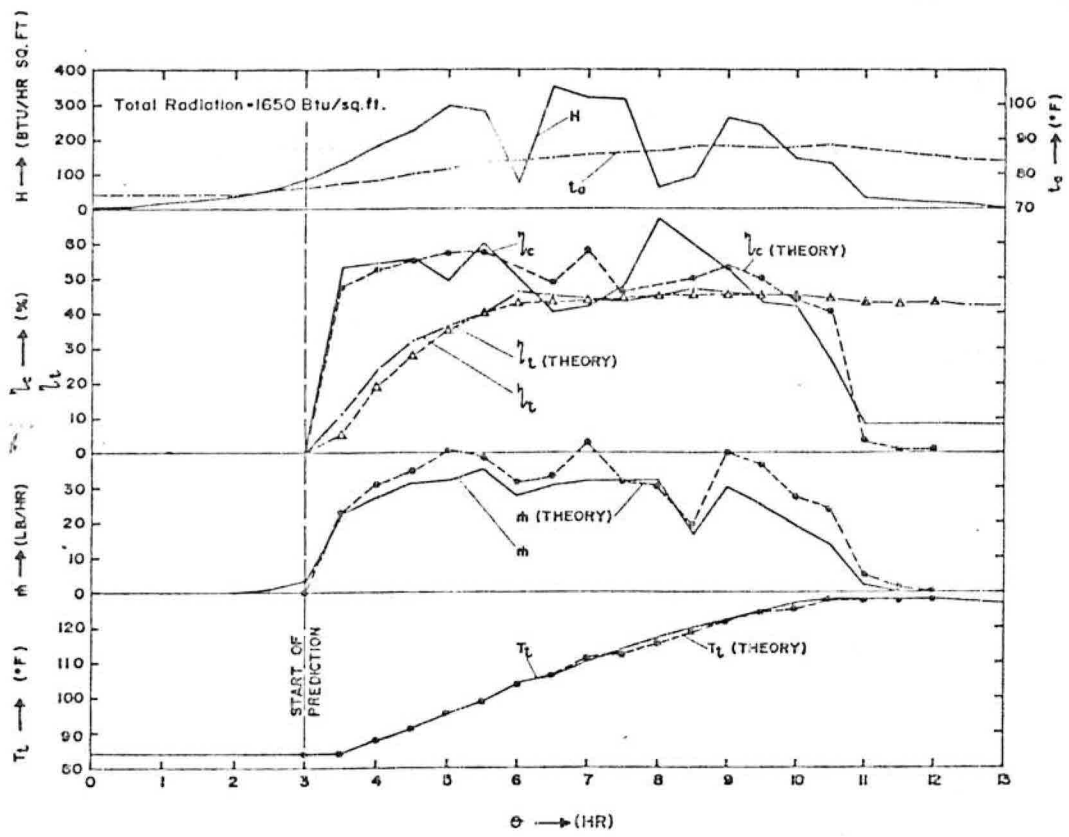


Fig. 3.12A - Curvas de Performance de um Sistema de Aquecimento Solar.

FONTE: Ong (p.187, 1975).

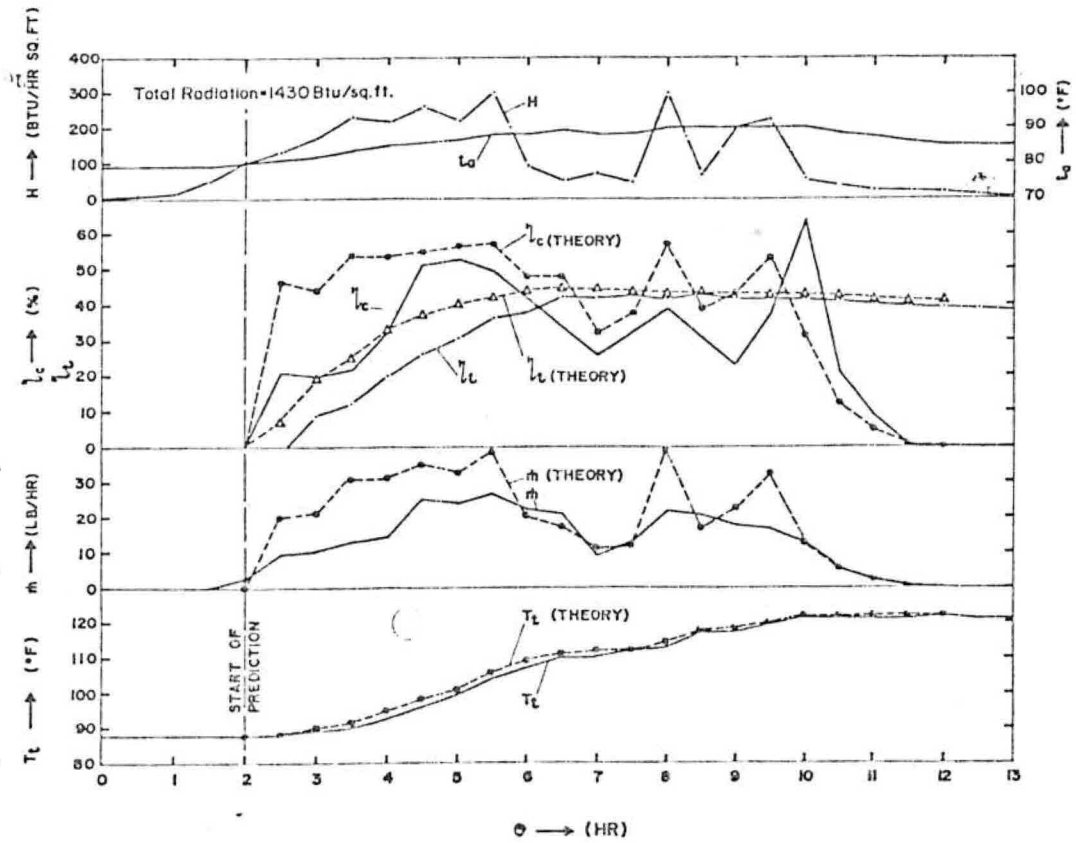


Fig. 3.12B - Curvas de Performance de um Sistema de Aquecimento Solar.

FONTE: Ong (p.187, 1975)

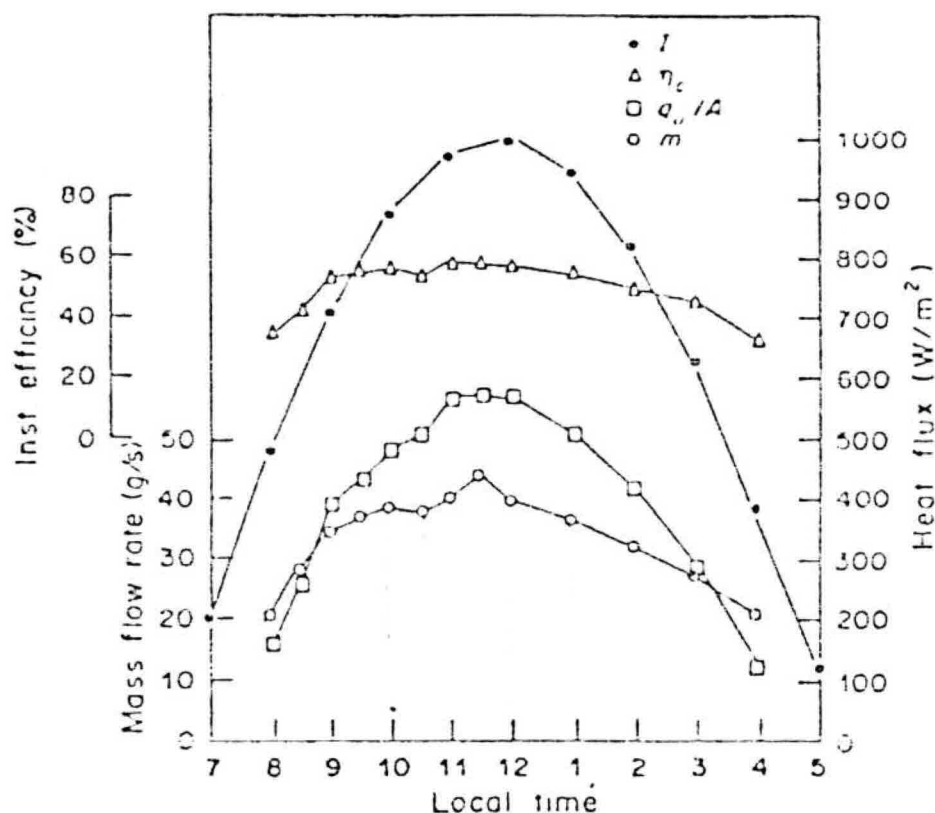


Fig. 3.13 - Variação de Parâmetros de um Sistema de Aquecimento Durante um Dia Claro, com Retirada Intermitente de Água para Consumo.

FONTE: Joudi (1983).

Com base nos resultados obtidos e na discussão anterior, pode-se afirmar que o modelo de simulação apresentou um comportamento bastante próximo ao do sistema real para as várias condições operacionais simuladas. Constatou-se que o ajuste realizado pode ser melhorado, o que certamente acarretará a obtenção de uma melhor correlação entre os dados simulados e os experimentais. Entretanto, o desvio no ajuste realizado não chegou a comprometer os resultados obtidos, tendo as aná-

lises de variância mostrado que os resultados são significativos. Desta forma, tendo em vista os objetivos estabelecidos para o modelo e os propostos para este trabalho, considerou-se o modelo de simulação validado em relação a estes objetivos.

A seguir serão apresentados os resultados referentes à regressão dos dados simulados para a obtenção dos parâmetros da curva de desempenho para o sistema de aquecimento solar (equação 98, Capítulo 2).

Conforme afirma Morrison (1987), recentemente tem sido propostos vários procedimentos para estabelecer funções para correlacionar a performance de curta duração com a performance de longa duração dos sistemas de aquecimento solar.

Desta forma, para avaliar o procedimento proposto no item 2.6 do Capítulo 2, além de realizar a análise de variância da regressão, resolveu-se comparar os resultados obtidos para a regressão, utilizando-se a equação 98 (Capítulo 2) com dois outros procedimentos de correlação da performance dos sistemas de aquecimento baseados na fração solar do sistema, uma vez que com pequenas alterações no programa "SIMULA/PS/DATACORR" é possível obter-se os parâmetros da regressão desses dois outros procedimentos de correlação. Os dois procedimentos de correlação da performance dos sistemas de aquecimento a que estamos nos referindo são:

- 1) o método de correlação proposto por Morrison e Tran (1987); e
- 2) o método proposto por Gill e Leite (1987).

Assim, os resultados das simulações, com base horária, arquivo "SIMULA/PKR/SYSTEM", foram transformados em médias diárias, através do programa "SIMULA/PS/DATACORR", com período de integração igual a 1 dia. Estas medidas diárias foram gravadas no arquivo "DATA/PKT/LSN". Finalmente, os parâmetros de cada um dos três métodos de correlação foram estimados através do programa "SIMULA/PS/MULTLINREG". A Figura 3.14A mostra os valores estimados para os parâmetros e a análise de variância obtidos através do procedimento proposto no item 2.6 (equação 98, Capítulo 2). A Figura 3.14B mostra os resultados obtidos utilizando-se o método proposto por Gill (1987). Finalmente, a Figura 3.14C mostra os resultados obtidos utilizando-se o método proposto por Morrison (1987).

Pode-se verificar que obteve-se o mínimo coeficiente de determinação para as regressões baseadas nos três procedimentos mencionados. O quadrado médio dos resíduos é ligeiramente menor para a regressão baseada no método proposto no Capítulo 2.

Desta forma, tomando-se por base as estatísticas apresentadas, pode-se afirmar que, para médias diárias (período de integração de 1 dia), os três procedimentos são equivalentes. Para médias referentes a períodos maiores, esta afirmação pode não ser verdadeira, devido às condições teóricas (hipóteses) inerentes a cada um dos procedimentos.

PARÂMETROS DA REGRESSÃO

$$B(1) = 0.14168$$

$$B(2) = 38.92900$$

$$B(3) = -37.38137$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
REGRESSÃO	3	9.1826	3.0609	61.94
RESÍDUO	13	0.6424	0.0494	
TOTAL	16	9.8250		

COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2): 0.93

Fig. 3.14A - Resultados da Correlação da Performance do Sistema de Aquecimento, Utilizando o Método Proposto no Item 2.6, Capítulo 2.

PARÂMETROS DA REGRESSÃO

$$B(1) = 0.22824$$

$$B(2) = -2.11440$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
REGRESSÃO	2	9.1243	4.5622	91.15
RESÍDUO	14	0.7007	0.0500	
TOTAL	16	9.8250		

COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2): 0.93

Fig. 3.14B - Resultados da Correlação da Performance do Sistema de Aquecimento, Utilizando o Método Proposto por Gill (1987).

PARÂMETROS DA REGRESSÃO

$$B(1) = 0.11493$$

$$B(2) = -88.21202$$

$$B(3) = 81.21202$$

ANÁLISE DE VARIÂNCIA

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
REGRESSÃO	3	9.1628	3.0543	59.96
RESÍDUO	13	0.6622	0.0509	
TOTAL	16	9.8250		

COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2): 0.93

Fig. 3.14C - Resultados da Correlação da Performance do Sistema de Aquecimento, Utilizando o Método Proposto por Morrison (1987).

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR RESIDENCIAL

4.1 - INTRODUÇÃO

Conforme mencionado no Capítulo 1, será apresentada a seguir uma análise do desempenho de sistemas de aquecimento solar residencial, baseada nos resultados do modelo de simulação desenvolvido, a qual serve também como exemplo de utilização do modelo. Esta análise visa identificar modificações no projeto do sistema de aquecimento solar, que possam levar a um melhor desempenho térmico sem alterar substancialmente o seu projeto original.

Será utilizada para efeito desta análise a abordagem do sistema por componentes. No que se refere ao coletor, a análise será feita em função dos seguintes parâmetros de projeto:

- a) espessura da placa absorvedora;
- b) distância entre os tubos de elevação;
- c) resistência de contato térmico entre os tubos de elevação e a placa absorvedora;
- d) material da placa absorvedora;
- e) comprimento dos tubos de elevação;

- f) diâmetro dos tubos de elevação;
- g) isolamento térmico.

No que se refere ao tanque de armazenamento, a análise será feita em função dos seguintes parâmetros de projeto:

- a) capacidade do tanque de armazenamento;
- b) isolamento térmico;
- c) potência do aquecimento elétrico auxiliar.

4.2 - COLETOR SOLAR

A Figura 4.1 mostra o rendimento do coletor versus o seguinte parâmetro:

$$UL(T_{fi} - T_a) / S$$

onde:

UL é o coeficiente global de perda de calor do coletor;

T_{fi} é a temperatura de entrada da água no coletor;

T_a é a temperatura ambiente;

S é a intensidade de radiação solar.

Esta curva de rendimento instantâneo do coletor refere-se às 12:00 horas do dia experimental número 87. Tem-se, através do Relatório 87-A (Apêndice F), que para este ponto de operação:

$$T_{fi} = 58,19 \text{ C}$$

$$T_a = 30,0 \text{ C}$$

$$UL = 7,05 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

$$S = 920 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Portanto, } UL(T_{fi}-T_a)/S = 7,05(58,19-30,0)/920 = 0,22.$$

Desta forma, o ponto "A" na Figura 4.1 representa o ponto de operação do coletor no instante considerado.

O ponto "B" na Figura 4.1A representa o ponto de operação do coletor, se os tubos de elevação fossem soldados à placa absorvedora ao invés de encaixados. Observa-se que haveria um ganho relativo de 17,17% no rendimento do coletor, se os tubos de elevação fossem soldados à placa absorvedora.

Se fossem utilizados tubos de elevação com diâmetro externo de 22 mm, o ganho no rendimento do coletor com tubos soldados em relação aos tubos encaixados seria de 8,9%, como pode ser verificado através da Figura 4.1B.

Se ao invés de utilizar tubos de elevação de 15 mm (projeto original), fossem utilizados tubos de elevação com 22 mm, o rendimento do coletor aumentaria cerca de 12,08% em relação ao projeto original ($\phi = 15$ mm) no ponto de operação considerado.

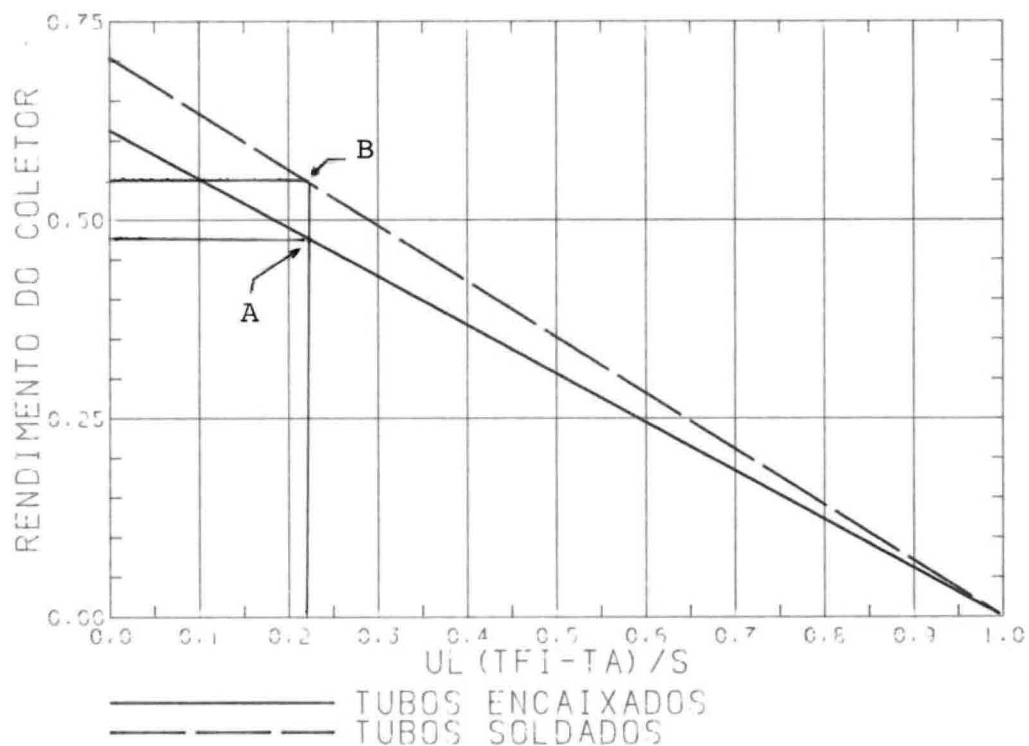


Fig. 4.1A - Rendimento Instantâneo do Coletor .
(Tubos de Elevação: $\phi = 15.0$ mm)
(Dia Experimental 87 - 12:00 hs)

As Figuras 4.2A e 4.2B mostram o fator de eficiência do coletor em função da distância entre os tubos de elevação para três espessuras da placa absorvedora. O ponto "A" na Figura 4.2A corresponde ao fator de eficiência do projeto original do coletor.

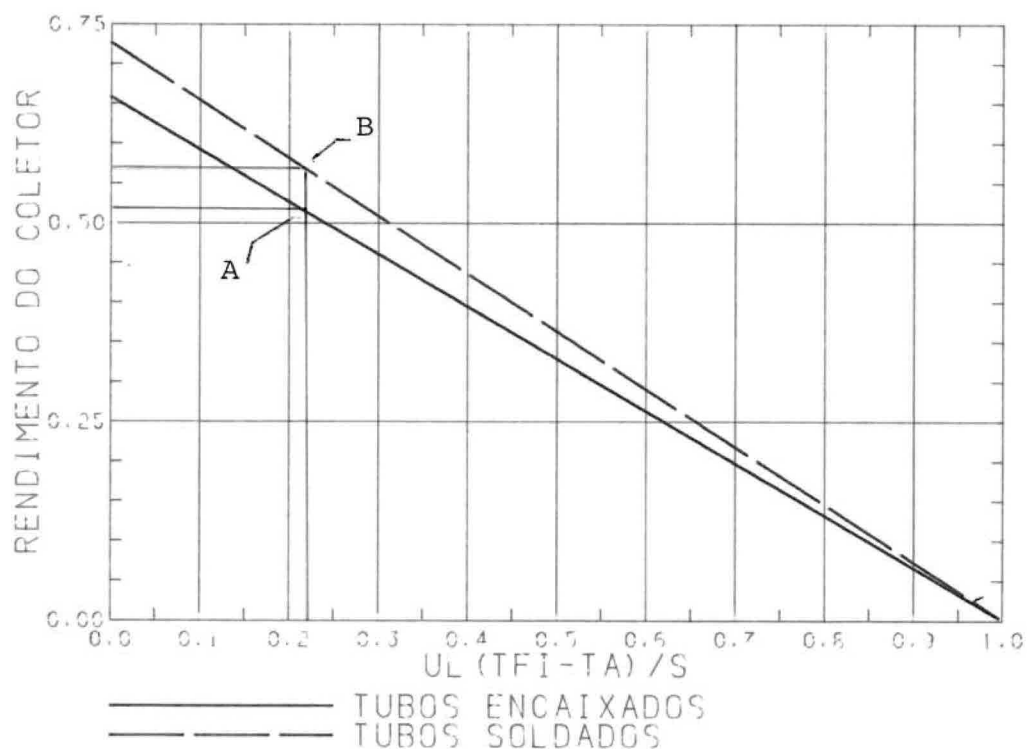


Fig. 4.1B - Rendimento Instantâneo do Coletor
(Tubos de Elevação: $\phi = 22.0$ mm)
(Dia Experimental 87 - 12:00 hs)

Pode-se observar na Figura 4.2A que, para a distância entre tubos de 85 mm, o fator de eficiência praticamente não é alterado com o aumento da espessura da placa absorvedora. Porém, se os tubos de elevação fossem soldados à placa absorvedora, haveria um acréscimo de, aproximadamente, 14,22% no fator de eficiência.

A Figura 4.2B é semelhante à Figura 4.2A, porém, para tubos de elevação de 22 mm. Neste caso, o ganho no fator de eficiência para os tubos soldados à placa em relação aos tubos encaixados seria de 10,34%.

Se os tubos de elevação de $\phi 15$ mm, encaixados, fossem substituídos por tubos de elevação de $\phi 22$ mm, também encaixados, o ganho relativo no fator de eficiência seria de 11,49%, mantendo-se o mesmo número de tubos de elevação.

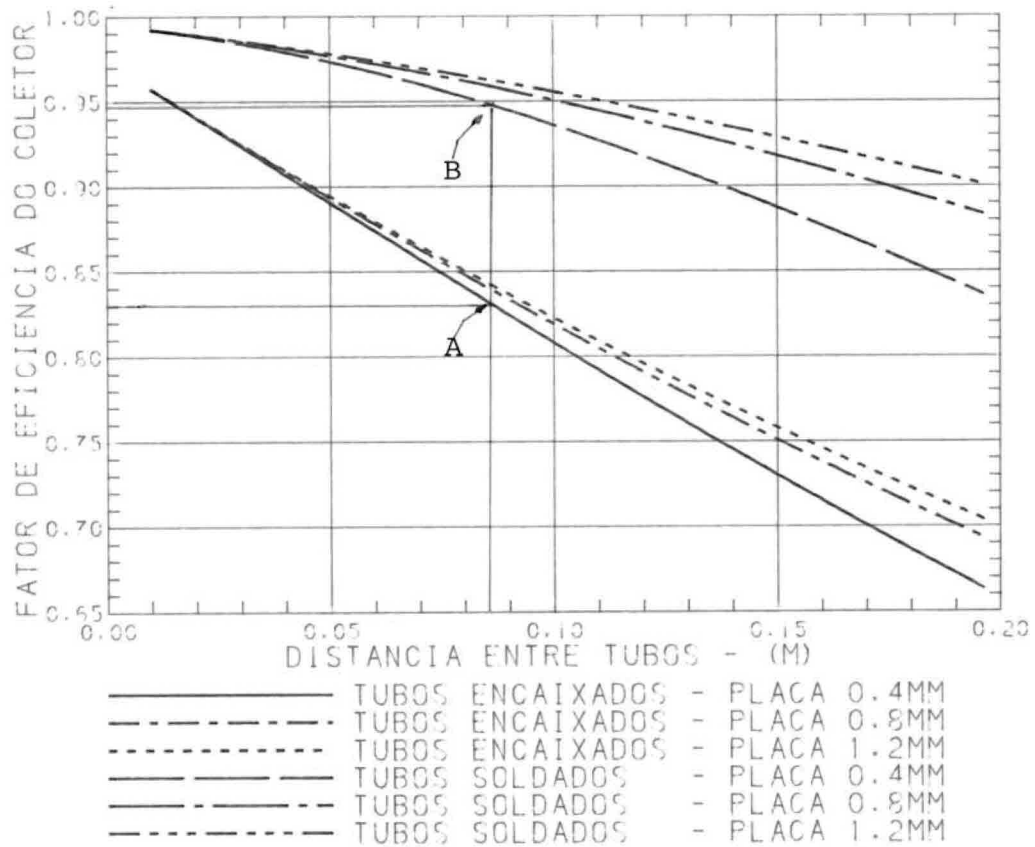


Fig. 4.2A - Fator de Eficiência Versus Distância entre Tubos (Tubos de Elevação: $\phi 15$ mm).

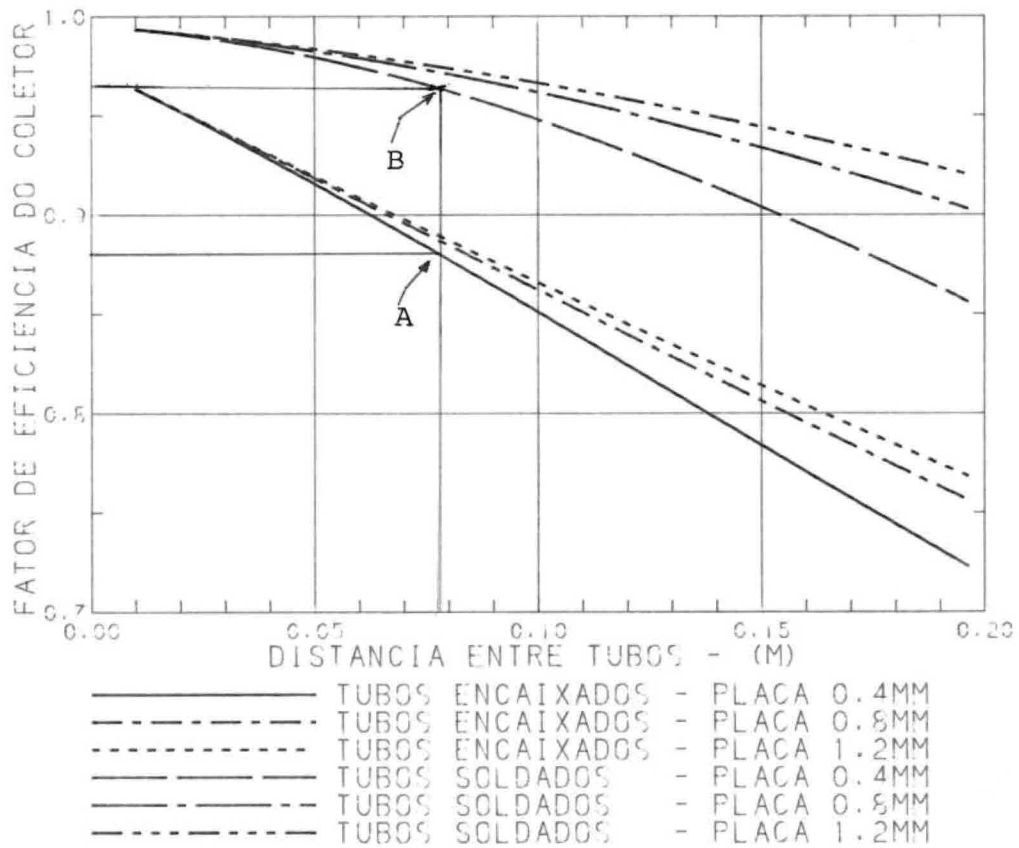


Fig. 4.2B - Fator de Eficiência Versus Distância entre Tubos (Tubos de Elevação: ϕ 22 mm).

As Figuras 4.4A e 4.4B mostram o fator de eficiência em função da resistência térmica de contato da junção entre as aletas da placa absorvedora e os tubos de elevação para tubos de elevação com ϕ 15 mm e ϕ 22 mm, respectivamente.

A resistência térmica de contato depende da forma de conexão entre o tubo e a placa. No caso ideal, supondo um contato perfeito (resistência tendendo a zero), a distância T_b mostrada na Figura 4.3 deve ser zero, ou seja, o tubo é parte integrante da placa absorvedora.

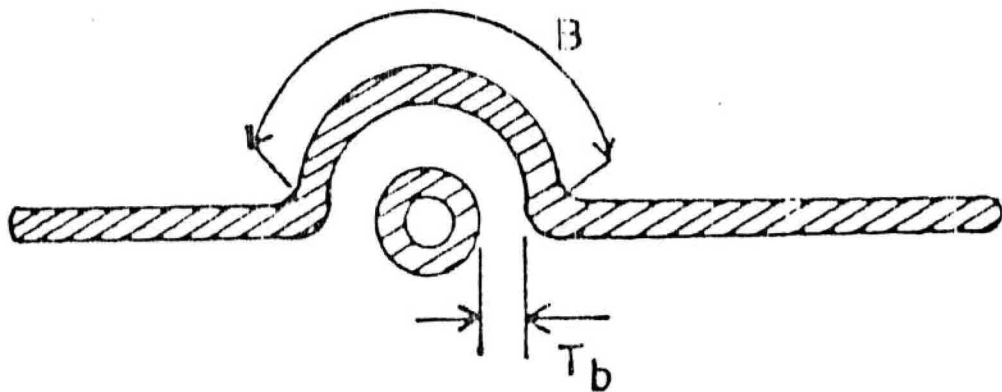


Fig. 4.3 - Secção de uma Montagem do Tubo de Elevação em um Aleta da Placa Absorvedora.

No caso de soldar-se o tubo na placa, existe uma resistância térmica que é função do material da solda e da distância T_b , sendo possível neste caso obter-se baixos valores para a resistância térmica de contato.

Já para o caso de tubos somente encaixados na placa absorvedora, por melhor que seja realizado o encaixe, existe em vários pontos uma camada de ar ou de óxido entre o tubo e a placa que provoca um crescimento significativo da resistância térmica de contato.

Conhecendo-se o fator de eficiência do coletor, a resistância de contato térmico pode ser determi-

nada através da curva do fator de eficiência versus a resistência de contato térmico. Para o coletor em questão, tem-se que o fator de eficiência varia em torno de 0,83%, o que corresponde a uma resistência térmica de contato de aproximadamente 0,22 m C/W, como pode ser verificado através da Figura 4.4A. Para tubos de elevação de 22 mm, a resistência de contato térmico seria de, aproximadamente, 0,14 m C/W.

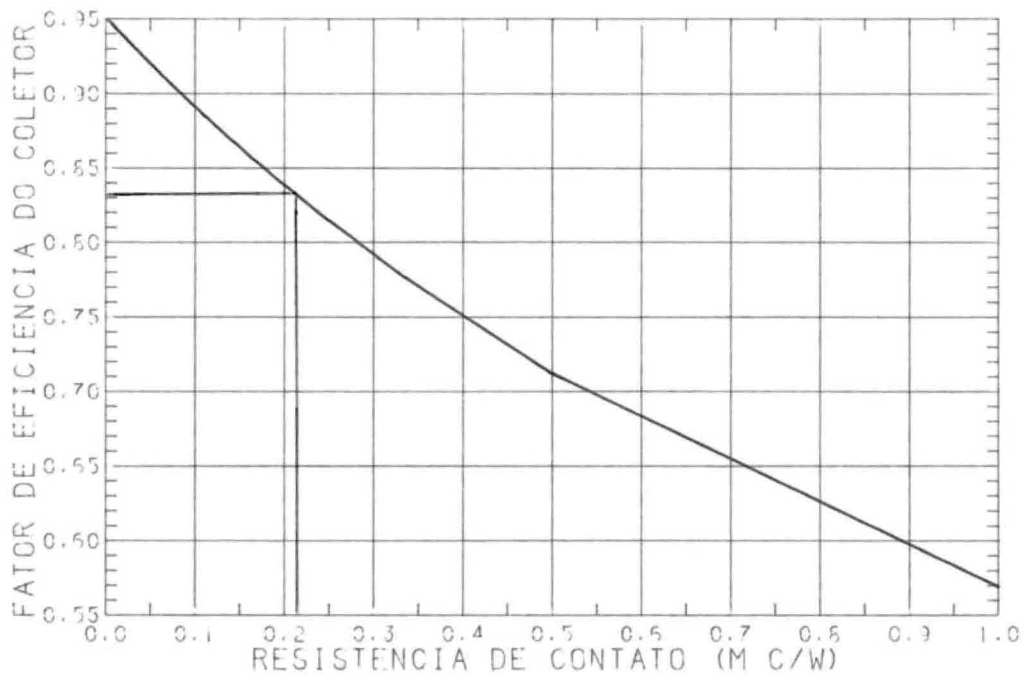


Fig. 4.4A - Fator de Eficiência Versus Resistência de Contato Térmico.

(Tubos de Elevação: ϕ 15mm)

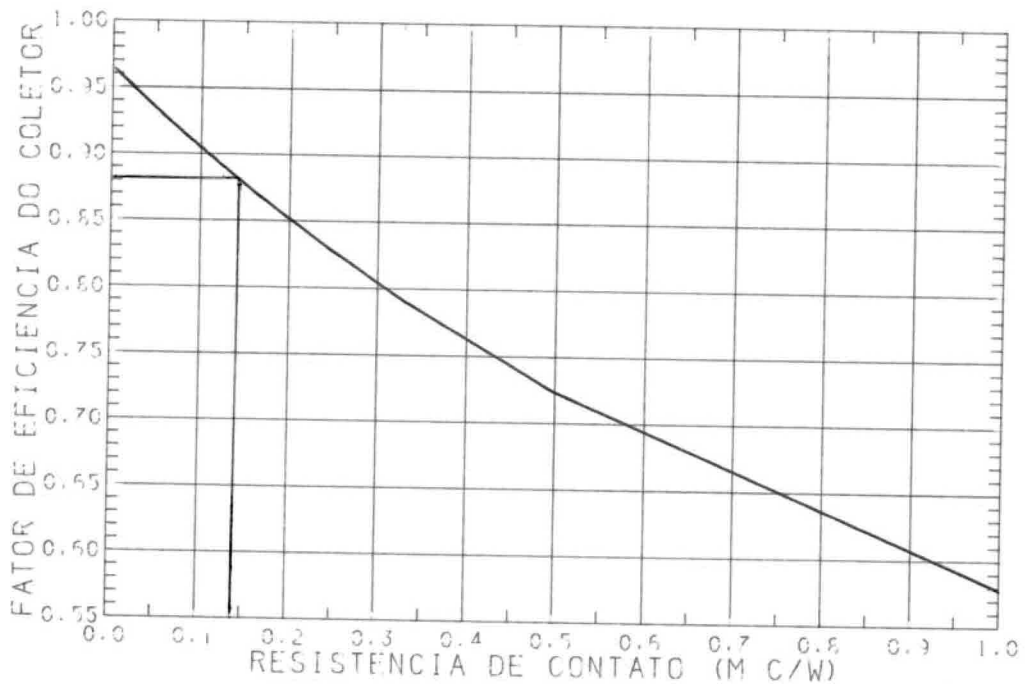


Fig. 4.4B - Fator de Eficiência Versus Resistência de Contato Térmico.

(Tubos de Elevação: ϕ 22 mm)

Os valores encontrados anteriormente para a resistência térmica de contato podem ser considerados baixos, o que implica em um bom encaixe entre as aletas da placa absorvedora e os tubos de elevação. Achou-se que este baixo valor para a resistência térmica de contato se deve a dois motivos principais:

- 1) o material da placa absorvedora e dos tubos de elevação é o mesmo (cobre);
- 2) o processo de fabricação utilizado para a montagem garante um bom contato tubo-placa.

As Figuras 4.5A e 4.5B mostram a temperatura da água na saída do coletor em função do seu comprimento para três espessuras diferentes da placa absorvedora e para tubos de elevação de 15 mm e 22 mm, respectivamente. Estas curvas referem-se ao ponto de operação considerado (12:00 horas do dia 87).

Existe um comprimento crítico do coletor a partir do qual o calor absorvido pela água é pedido, não havendo aumento de temperatura da água no interior do coletor. Através da Figura 4.5A, pode-se observar que o coletor está operando em uma região distante do ponto onde a curva de temperatura da água começa a ficar assintótica em relação à abscissa.

Pode-se observar, ainda, que a influência da espessura da placa absorvedora no ganho de temperatura da água ao longo do coletor é desprezível. Para os tubos de elevação de 22 mm, a temperatura da água para um determinado comprimento do coletor é menor que a correspondente temperatura para a placa com tubos de 15 mm. Isto ocorre porque, aumentando-se o diâmetro dos tubos de elevação, verifica-se um aumento de, aproximadamente, 40% na vazão através do coletor para o ponto de operação considerado, como pode ser verificado comparando-se o Gráfico 87-D (Apêndice F) com o da Figura 4.6.

Finalmente, as Figuras 4.7A e 4.7B mostram o peso da placa absorvedora versus o número de tubos de elevação para tubos com diâmetro de 15 mm e de 22 mm, respectivamente.

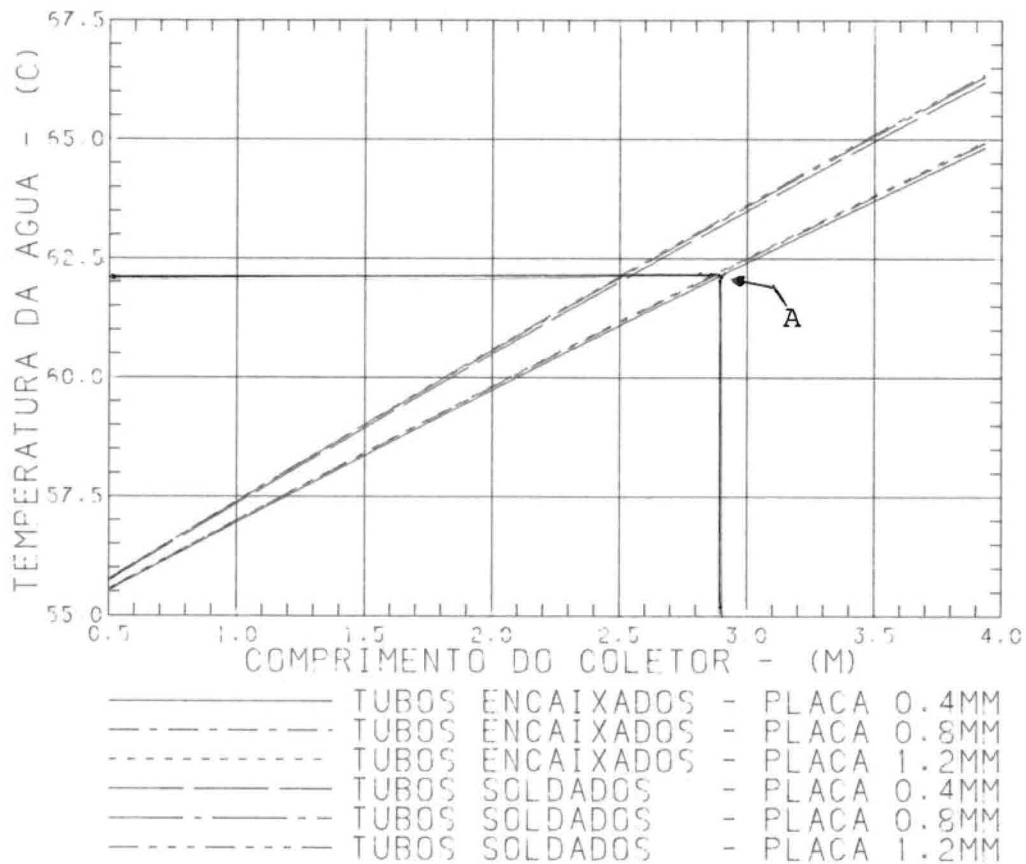


Fig. 4.5A - Temperatura da Água na Saída do Coletor Versus Comprimento do Coletor. (Tubos de Elevação: ϕ 15 mm)

Pode-se observar que o aumento no diâmetro dos tubos de elevação de 15 mm para 22 mm, para 8 tubos de elevação e espessura da placa de 0,4 mm, não provoca um aumento significativo no peso da placa absorvedora (aumento de, aproximadamente, 23,5% no peso da placa), se comparado com o aumento de peso provocado pelo aumento da espessura da placa de 0,4 mm para 0,8 mm, que é da ordem de 39%, e de 80%, se a espessura da placa passar de 0,4 mm para 1,2 mm.

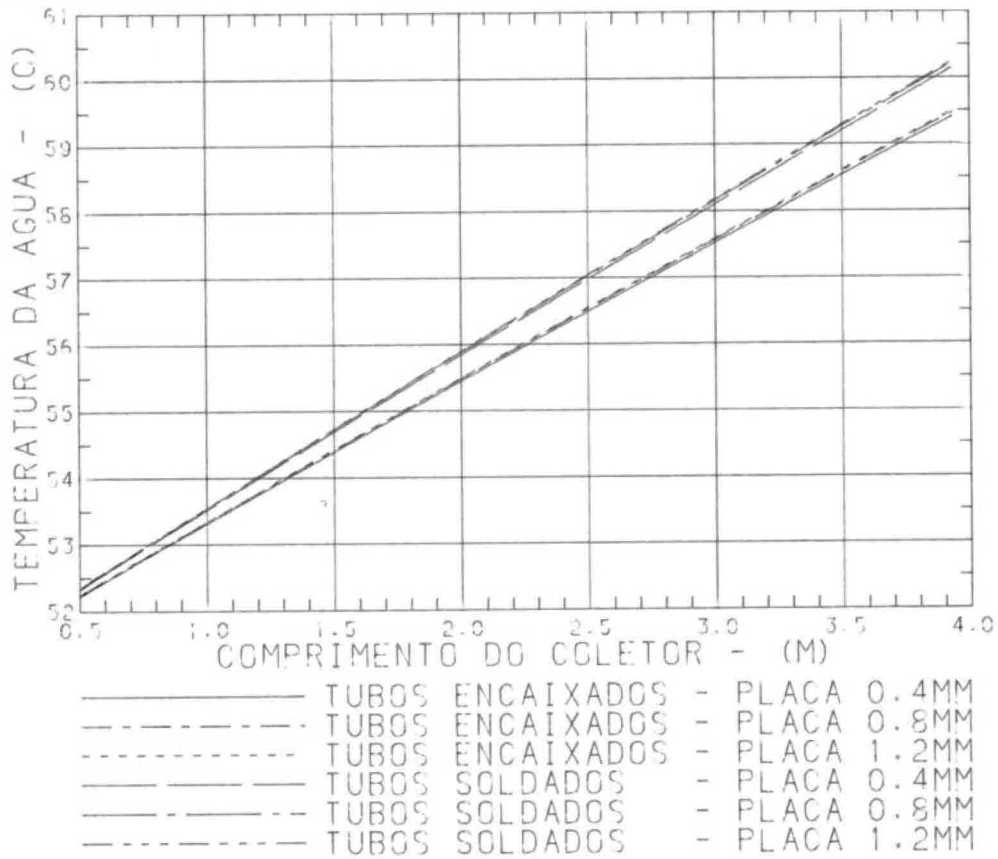


Fig. 4.5B - Temperatura da Água na Saída do Coletor Versus Comprimento do Coletor. (Tubos de Elevação: ϕ 22 mm)

Quanto ao isolamento térmico do coletor, pode-se verificar através dos relatórios que constam do Apêndice F que o coeficiente global de perda de calor do coletor é relativamente alto, o que sugere que o seu isolamento térmico seja melhorado.

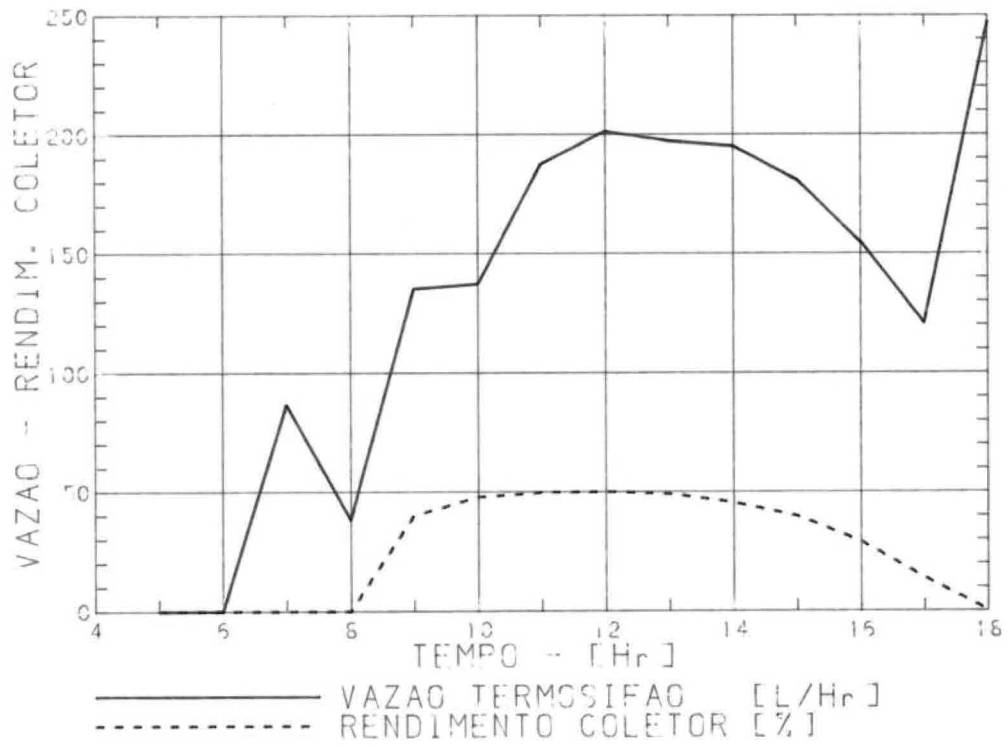


Fig. 4.6 - Vazão no Coletor (Dia Experim. 87, Tubos de Elevação: Φ 22 mm).

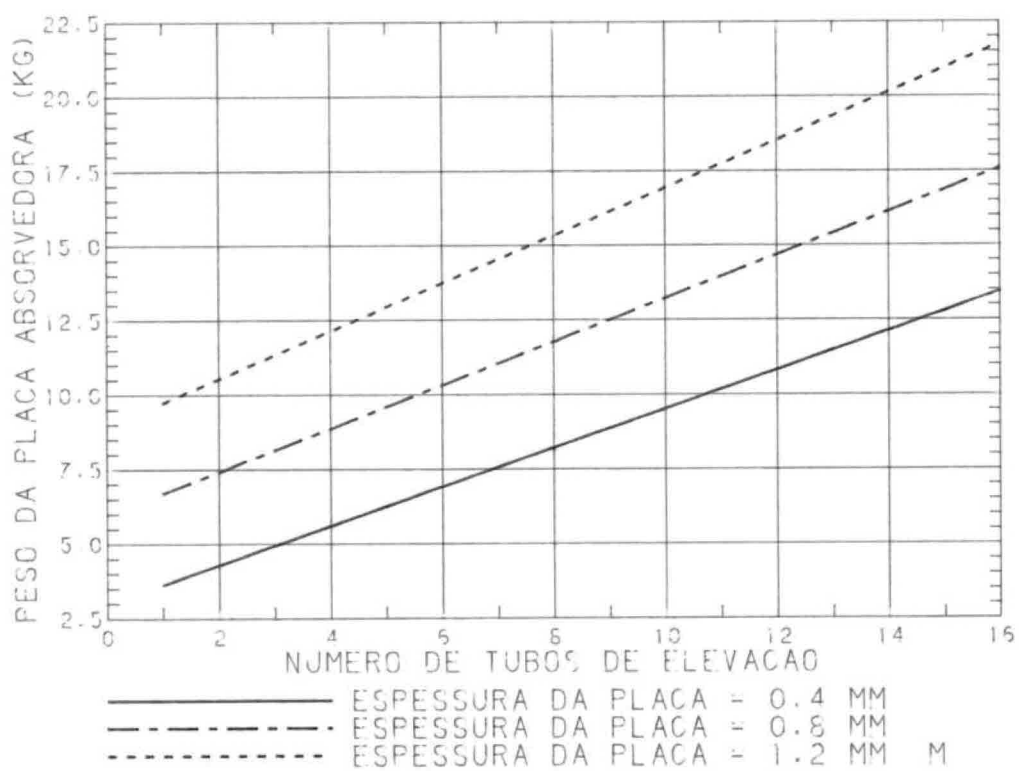


Fig. 4.7A - Peso da Placa Absorvedora Versus Número de Tubos de Elevação ($\phi = 15$ mm).

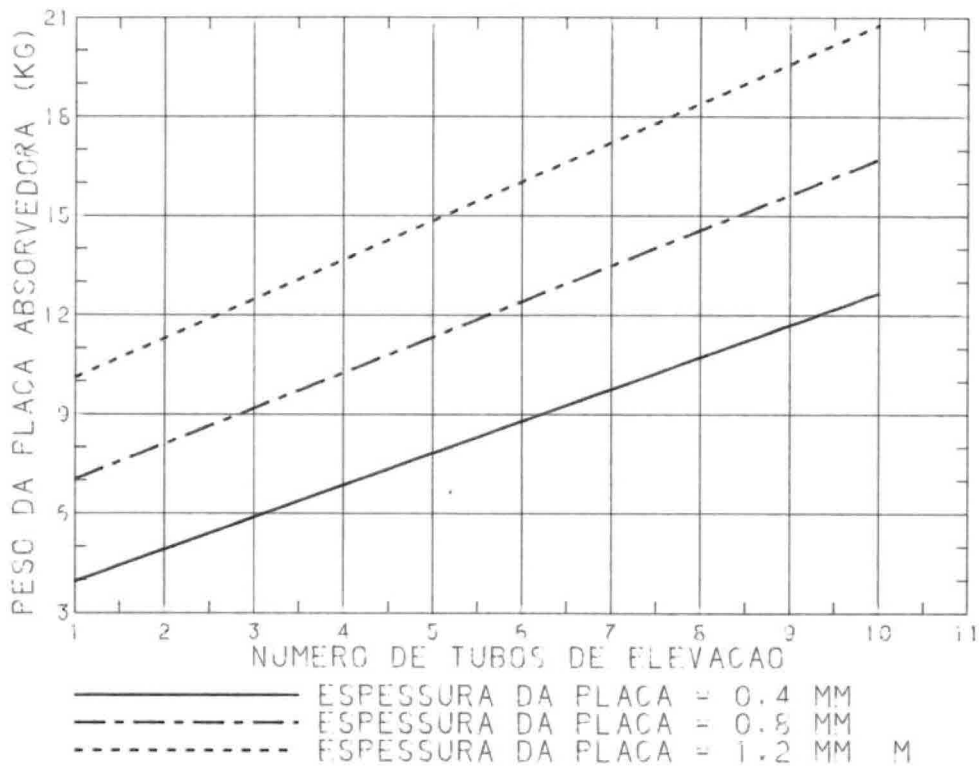


Fig. 4.7B - Peso da Placa Absorvedora Versus Número de Tubos de Elevação ($\phi = 22$ mm).

4.3 - TANQUE DE ARMAZENAMENTO

Com relação ao tanque de armazenamento, pode-se verificar através do relatório que apresenta as médias e totalizações diárias (Tabela 3.1, Capítulo 3), que o seu coeficiente global de perda de calor é elevado, variando em torno de $13,2 \text{ W/m}^2\text{C}$. Isto significa que o isolamento térmico do tanque deve ser sensivelmente melhorado.

Pode-se verificar, ainda, que a temperatura média no tanque nos dias que apresentaram fração solar maior que 50% é elevada em relação à temperatura mínima especificada para a água de consumo (45 C). Este fato

sugere que a capacidade do tanque de armazenamento deva ser aumentada para reduzir a sua temperatura média e, conseqüentemente, aumentar o rendimento do sistema de aquecimento. Pode-se, alternativamente, reduzir a área de captação de energia solar, entretanto, esta alternativa deve ser melhor analisada face ao regime de insolação da região de instalação e do perfil de consumo a ser atendido pelo sistema de aquecimento.

Com relação ao sistema de aquecimento elétrico, apesar de não terem sido feitas simulações para verificar a afirmação que segue, acredita-se que diminuindo um pouco a potência do aquecedor elétrico, a fração solar para os dias de baixa insolação deva melhorar.

4.4 - COMENTÁRIOS FINAIS

Baseado nas análises realizadas serão preferidos a seguir alguns comentários e sugestões no sentido de promover a melhoria da performance térmica do sistema analisado.

- a) Espessura da Placa Absorvedora: os resultados mostraram não ser vantajoso aumentar a espessura da placa absorvedora, pois esse aumento não proporcionará ganhos significativos no rendimento global do coletor. Deve ser mantida, portanto, a espessura da placa absorvedora em 0,4 mm.
- b) Número de Tubos de Elevação: como a resistência de contato térmico já é baixa, pode-se verificar que um aumento do número de tubos de elevação irá provocar um aumento pouco significativo no fator de eficiência do coletor. Deve-se, portanto, manter o número de tubos de elevação (8 tubos).

- c) Junção Tubos de Elevação - Placa Absorvedora: ficou evidente que a junção tubo-placa do coletor analisado é de boa qualidade, conseguindo-se uma baixa resistência de contato térmico.
- d) Comprimento dos Tubos de Elevação: os resultados mostraram que o comprimento dos tubos de elevação ainda não é crítico, podendo o comprimento do coletor ser aumentado em até, aproximadamente, 1,0 m, se fosse necessário um pequeno aumento da área de captação de energia solar.
- e) Diâmetro dos Tubos de Elevação: os resultados obtidos sugerem que seja aumentado o diâmetro dos tubos de elevação de 15 mm para 22 mm, mantendo-se os demais parâmetros do coletor.
- f) Isolamento Térmico: as perdas térmicas no tanque são bastante elevadas, o que sugere que o seu isolamento térmico deva ser bastante melhorado. O coeficiente global de perda de calor do coletor também foi considerado alto, sugerindo, também, que o seu isolamento térmico seja melhorado.
- g) Capacidade do tanque de Armazenamento: os resultados das simulações realizadas nos levaram a crer que o tanque de armazenamento encontra-se subdimensionado, considerando-se a área de captação e a performance do coletor. Sugere-se, portanto, que a capacidade do tanque seja aumentada. Como uma primeira estimativa, baseada apenas na experiência do Autor, sugere-se investigar um aumento da capacidade atual do tanque de cerca de 30% a 40%.

Finalmente, vale comentar, que os resultados obtidos podem ser utilizados para investigar se seria vantajoso substituir o material da placa absorvedora por alumínio. Essa substituição obviamente deverá provocar uma redução no rendimento do coletor, a qual deve ser avaliada em função da possível redução no custo final do sistema que poderia ser proporcionada pela substituição do cobre por alumínio.

Desta forma, acredita-se que a análise realizada serve como um exemplo abrangente da utilização do modelo para esta finalidade, havendo, é claro, muitas outras possibilidades de utilização para outras investigações mais específicas.

CONCLUSÃO

Durante a fase de desenvolvimento do modelo de simulação, pode-se constatar que o planejamento sistêmico realmente contribui para o desenvolvimento do modelo adequado aos objetivos estabelecidos e, neste caso específico, proporcionou uma economia final de tempo e recursos.

Vale comentar, entretanto, que a estratégia proposta para o planejamento de sistemas de aquecimento solar (Apêndice A), não foi aplicada na sua íntegra. Selecionou-se os pontos julgados indispensáveis para a definição e o planejamento básico do modelo. Pode-se concluir que a aplicação da metodologia proposta em toda a sua extensão pode ser desnecessária, devendo o nível de detalhamento ser estabelecido em função da complexidade do problema e da versatilidade especificada para o modelo.

Ao nosso ver, a escolha dos métodos de modelagem de sistemas de aquecimento solar residencial foi acertada, tendo-se em vista os objetivos estabelecidos e os resultados obtidos, tendo sido evitado, desta forma, o uso de métodos, como por exemplo, modelos não-lineares para o coletor solar, que aumentariam significativamente a complexidade do modelo e o esforço computacional requerido para as simulações.

Quanto à validação, fazendo referência desta feita a Richard (1971), que a define como o processo de atingir um nível de confiança aceitável de que uma inferência sobre um processo simulado é correto em relação ao processo real, acredita-se que o procedimento realizado mostrou-se suficiente para assegurar que o modelo de simulação se comporta de forma bastante aproxi-

mada do modelo real. A precisão dos resultados é fortemente dependente do procedimento de ajuste do modelo. Os resultados mostram que consegue-se obter maior precisão para as simulações referentes aos dias claros do que para os dias com baixas taxas de insolação.

Com base nos resultados obtidos, pode-se atribuir ao modelo um nível de confiança de, aproximadamente, 85%, o qual pode ser considerado bom, se comparado às estatísticas de outros modelos como por exemplo o TRNSYS, ao qual é atribuído um nível de confiança de 90%.

A análise realizada no Capítulo 4 mostra uma das possibilidades de utilização do modelo desenvolvido para a análise de sistemas de aquecimento. A forma como o modelo encontra-se estruturado permite afirmar que o mesmo é bastante versátil, de modo que outras análises ou mesmo a edição de correlações entre outras variáveis, que não as aqui apresentadas, podem ser facilmente obtidas.

Finalmente, visando um futuro aperfeiçoamento do modelo, sugere-se considerar as perdas térmicas nas tubulações de conexão coletor-tanque, e a inclusão de formulação para outras geometrias e formas de montagem tubos-de-elevação/placa absorvedora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANHALT, J.; GILL, W.; VAZ, C.C. Teste comparativo de quatro sistema de aquecimento solar. Relatório final do Projeto.
- BECKMAN, W.A.; KLEIN, S.A.; DUFFIE, J.A. Performance prediction for solar heating system. Solar energy handbook. 1981.
- BENFORD, F.; BOCK, J.E. A time analysis of sunshine. Transactions on American Illumination Engineering Society, 34:200, 1939.
- BLISS, R.W. The derivations of several plate efficiency factors useful in design of flat-plate solar-heat collectors. Solar Energy, 3(4):55, 1959.
- BRAUN, J.E.; KLEIN, S.A.; PEARSON, K.A. An improved design method for solar water heating systems. Solar Energy, 31:597-604, 1983.
- CARNAHAN, B.; LUTHER, H.A.; WILKES, J.O. Applied numerical methods. New York, NY, John Wiley, 1969.
- CLOSE, D.J. A design approach for solar processes. Solar Energy, 11, 1967.
- CLOSE, D.J. The performance of solar water heaters with natural circulation. Solar Energy, 1:33-40, 1962.
- COOPER, P.E.; DUNKLE, R.V. A non-linear flat-plate collector model. Solar Energy, 26:133-140, 1981.

- DUFF, W.; WINN, B. Modeling of solar thermal systems. In: KREIDER, F., et all. Solar energy handbook. New York, NY, McGraw-Hill, 1981. p. 17-1 - 17-30.
- DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. Solar energy thermal processes. New York, NY, John Wiley, 1974.
- DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. Solar engineering of thermal processes. New York, NY, John Wiley, 1980.
- ELTIMSAHY, A.H.; COPASS, C.H. On-line simulation of solar systems heating. Simulation, p. 155-161, 1976.
- EMSHOFF, J.R.; SISSON, R.L. Design and use of computer simulation models. New York, NY, Macmiliam, 1970.
- FARIA, R.R. Simulação de Sistemas Discretos; apostila do Curso MB-240 em Engenharia Mecânica ministrado no CTA. ITA. São José dos Campos, CTA/ITA, 1983. Apostila.
- FARLEY, R.E. Software engineering concepts. New York, McGraw-Hill, 1985.
- GILL, W.; LEITE, A.O.P. Aplicação do método de estimativa de parâmetros a dados de desempenho de sistemas de aquecimento solar. São José dos Campos, INPE, 1987. (INPE-4268-PRE/1141).
- GORDON, J.M. On non-linear effects in flat-plate collector efficiency curves. Solar Energy, 26:265-266, 1981.
- GUPTA, C.L.; GARG, H.P. System design in solar water with natural circulation. Solar Energy, 12:163-182, 1968.

- GUTIERREZ, G.; HINCAPIE, F.; DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. Simulation of forced circulation water heaters; Effects of auxiliary energy supply, load type and storage capacity. Solar Energy, 15:287-298, 1974.
- HOFFMANN, R.; VIEIRA, S. Análise de regressão -; uma introdução à economia. São Paulo, Hucitec, 1977.
- HOLMAN, J.P. Heat transfer. Tokio, McGraw-Hill, 1976.
- HORN, R.L.V. Validation of simulation results. Management Science, 17(5):247-258, Jan. 1971.
- HOTTEL, H.C.; WILLIER, A. Evaluation of flat-plate collector performance. Transactions of the conference on the use of solar energy, 2, Part I, 74, University of Arizona Press, 1958.
- HOWELL, J.R. Solar thermal energy systems - analysis and design. New York, NY, McGraw-Hill, 1982.
- HUDSON, L.G.; MARKELL, J. Solar technolog. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1985.
- JOUDI, K.A.; ZAHRA, H.A.A.A. An experimental investigation into the performance of a domestic thermosyphon solar water heater under varying operating conditions. Energy Conversion Management, 3:205-214, 1984.
- KENNA, J.P. A method of rating solar collectors. Solar Energy, 29:431-434, 1982.
- KENNARD, K.J.; STREET, R.L. Elementos de mecânica dos fluídos. New York, NY, John Wiley, 1975.

- KLEIN, S.A.; BECKMAN, W.A. A general design method for closed-loop solar energy systems. Solar Energy, 22:269-282, 1979.
- KLEIN, S.A.; BECKMAN, W.A.; DUFFIE, J.A. A design procedure for solar heating systems. Solar Energy, 18:113-127, 1976.
- KLEIN, S.A.; BUCKLES, W.E. Analysis of solar domestic hot water heaters. Solar Energy, 25:417-424, 1980.
- KLEIN, S.A.; COOPER, P.I.; FREEMAN, T.L.; BECKMAN, D.M.; BECKMAN, W.A.; DUFFIE, J.A. A method of simulation of solar process and its application. Solar Energy, 17:29-37, 1975.
- KLEIN, S.E. Calculation of flat-plate collector utilizability. Solar Energy, 21, 293, 1978.
- KREIDER, J.F.; KREITH, E. Solar heating and cooling active and passive design. New York, NY, McGraw-Hill, 1982.
- KUDISH, A.I.; SANTAMAURA, P.; BEAUFORT, P. Direct Measurement and analysis of thermosiphon flow. Solar Energy, 35:167-173, 1985.
- LAVAN, Z.; THOMPSON, J. Experimental study of thermally stratified hot water storage tanks. Solar Energy, 19:519-524, 1977.
- LIU, B.Y.H.; JORDAN, R.C. A national procedure for predicting the long-term average performance of flat-plate solar energy collectors. Solar Energy, 7, 1963.

- MARTIN, F.F. Computer modeling and simulation. New York, NY, John Wiley, 1968.
- MAYLOR, T.H.; FINGER, J.M. Verification of computer simulation models. Management Science, 14(2):B92-B106, Oct. 1967.
- MORRISON, G.L.; RANATUNGA, D.B.J. Thermosiphon circulation in solar collectors. Solar Energy, 24:191-198, 1980.
- MORRISON, G.L.; TRAN, N.H. Correlation of solar water heater test data. Solar Energy, 39:135-142, 1987.
- ONG, K.S. A finite-difference method to evaluate the thermal performance of a solar water heater. Solar Energy, 16:137-147, 1974.
- ONG, K.S. An improved computer program for the thermal performance of a solar water heater. Solar Energy, 18:183-191, 1976.
- PHILLIPS, W.F. A simplified nonlinear model for solar collectors. Solar Energy, 29:77-82, 1982.
- PHILLIPS, W.F.; DAVE R.N. Effects of stratification on the performance of liquid-based solar heating systems. Solar Energy, 29:111-120, 1982.
- REIS, J.R. Manual de engenharia de sistemas e projetos; uma abordagem prática. Petrópolis, Vozes, 1980.
- RICHARD, L.V.H. Validation of simulation results. Management Science, 17:247-258, 1971.

- RZEVSKI, G. Systematic design of simulation software. In: CELLIER, S.S. ed Progress in modeling of simulation. News York, NY, Academic Press, 1982. P. 369-389.
- SARGENT, R.G. Verification and validation of simulation models. In: CELLIE, S.S. ed Progress in modeling of simulation. New York, NY, Academic Press, 1982. P. 159-169.
- SAYIGH, A.A.M. Solar energy engineering. London, Academic Press, 1977.
- SFEIR, A.A. A stochastic model for predicting solar system performance. Solar Energy, 25:149-154, 1980.
- SHANNON, R.E. Systems simulation; the art and science. Englewood Clifs, NJ, Prentice-Hall, 1975.
- SHERIDAN, M.R.; BULLOCK, K.J.; DUFFIE, J.A. Study of solar processes by analog computer. Solar Energy, 11, 1967.
- SODHA, M.S.; TIWARI, G.N. Analysis of natural circulation solar water heating systems. Energy Conversion Management, 21:283-288, 1981.
- SWINBANK, W.C. Long-wave radiation from clear skies. Quartely Journal Royal of the Meteorological Society, 89 (1963).
- TIWARI, G.N. Transient performance of a thermosyphon water heating system with n-unites connected in series. Solar Energy, 35:371-375, 1985.

THOMAS, H.N.; FINGER, J.M. Verification of computer simulation models. Management Science, 14:92-106, 1967.

TZAFESTAS, S.G.; SPYRIDONOS, A.V.; KOUMOUTSOS, N.G. Finite-difference modelling, identification and simulation of a solar water heater. Solar Energy, 16:25-31, 1974.

YOUNG, M.F.; BERGQUAM, J.B. The performance of a thermosiphon solar domestic hot water system with hot water removal. Solar Energy, 5:655-658, 1984.

ZEIGLER, B.P.; OREN, T.I. Concepts for advanced simulation methodologies. Simulation, 69-82, 1979.

APÊNDICE A
METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO DE
SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR RESIDENCIAL

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	v
1. <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2. <u>FASE 1: IDENTIFICAÇÃO DA SITUAÇÃO</u>	2
2.1 - Definição do problema	2
2.2 - Caracterização do sistema de aquecimento solar a ser modelado	5
2.3 - Caracterização de modelos previamente disponíveis	7
2.4 - Versatilidade do modelo de simulação	8
2.5 - Limitação de recursos e prazos	10
2.6 - Esboço de soluções alternativas	12
3. <u>FASE 2: PLANEJAMENTO PRELIMINAR</u>	12
3.1 - Especificação do modelo estático	13
3.2 - Especificação do modelo dinâmico	20
3.3 - Caracterização do sistema de simulação	26
3.4 - Processos de verificação e validação	32
3.5 - Obtenção do sistema de simulação	36
4. <u>FASE 3: PLANEJAMENTO FINAL</u>	37
5. <u>DESENVOLVIMENTO</u>	37
6. <u>VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO</u>	39
7. <u>CONCLUSÃO</u>	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Coletores de placa plana: tipos de construção	6
2 - Esquema representativo de um sistema de aquecimento solar residencial	15
3 - Esquema térmico representativo do modelo dinâmico do coletor solar plano	23
4 - Esquema térmico representativo do modelo dinâmico do tanque de armazenamento	25
5 - Esquema dos principais módulos do modelo dinâmico	26
6 - Estrutura geral para sistemas de simulação	29
7 - Módulos funcionais do sistema de simulação	30
8 - Etapas da validação de modelos de simulação de sistemas de aquecimento solar residencial	34
9 - Estrutura de divisão de atividades para a obtenção do sistema de simulação	40
10 - Estrutura de divisão de recursos para a obtenção do modelo de simulação	41
11 - Diagrama de fluxo de trabalho para a obtenção do sistema de simulação	42

1. INTRODUÇÃO

Uma das formas mais disseminadas do uso direto da energia solar é a sua utilização para o aquecimento de água em residências, hospitais, indústrias etc através dos sistemas de aquecimento solar. Na busca do desenvolvimento e projeto desses sistemas que aproveitam a energia solar da forma mais eficaz possível, têm sido desenvolvidas e utilizadas técnicas de modelagem e simulação.

Entretanto, devido à natureza dos diversos processos de transferência de calor que ocorrem no interior dos sistemas de aquecimento solar e entre estes e o meio-ambiente e, ainda, devido à natureza dos dados necessários para a sua verificação e validação, o desenvolvimento de modelos de simulação desses sistemas pode ser considerado bastante complexo.

Aliado ao fato acima, nas situações em que a modelagem e a simulação de sistemas se mostram como uma alternativa viável, existe uma forte tendência de partir-se imediatamente para o esforço de modelagem e simulação. Esta tendência deve ser evitada, pois, geralmente, conduz a soluções insatisfatórias e ao dispêndio de tempo e recursos desnecessários.

Dessa forma, o planejamento detalhado do desenvolvimento de modelos de simulação de sistemas justifica-se pela complexidade desses tipos de modelos e pela ordem de grandeza dos custos envolvidos no seu desenvolvimento e validação. É objetivo deste trabalho desenvolver uma estratégia para o planejamento das fases de desenvolvimento e validação de modelos de simulação de sistemas de aquecimento solar, buscando dar ao planejamento uma abordagem sistêmica.

A estratégia proposta encontra-se dividida em três fases principais: Identificação da Situação, Planejamento Preliminar e Planejamento Final. O detalhamento de cada uma dessas fases é feito através da definição dos seus objetivos e das atividades que devem ser realizadas em cada uma delas. Foram introduzidos, em certos casos, alguns conceitos julgados necessários para a sua melhor compreensão, procurando particularizar suas apresentações para o caso dos sistemas solares, ou apresentar exemplos hipotéticos. Entretanto, algumas definições conservam um certo grau de generalidade por ter sido consideradas comuns ao planejamento e/ou desenvolvimento de desenvolvimento de modelos de simulação de qualquer tipo de sistema, fugindo ao escopo deste trabalho uma discussão mais pormenorizada a respeito deles.

2. FASE 1: IDENTIFICAÇÃO DA SITUAÇÃO

Nesta fase devem-se levantar informações que permitam identificar: o problema, o tipo de sistema de aquecimento solar a ser estudado, as razões pelas quais a modelagem e a simulação dos sistemas se mostram como uma alternativa viável de solução para o problema, os propósitos do desenvolvimento do modelo, as limitações de recursos e prazos, e esboçar soluções alternativas para o problema. Estas informações devem ser expressas num documento intitulado "Diagnóstico da Situação".

2.1 - DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Deve-se iniciar o planejamento do desenvolvimento de modelos de simulação de sistemas de aquecimento solar residencial, buscando levantar informações que permitam definir o problema existente. Essa definição deve ser realizada de modo que fiquem evidentes as cau

sas do problema, as razões ou objetivos para a modelagem do sistema de aquecimento solar e os benefícios que se espera obter com a utilização do modelo.

No caso específico dos sistemas de aquecimento solar, normalmente a modelagem e a simulação de sistemas se apresentam como soluções para as seguintes classes de problemas: a) os vinculados a sistemas de aquecimento solar existentes, e b) os vinculados ao projeto de sistemas de aquecimento solar. Como existem diferenças significativas entre os modelos voltados para a primeira e segunda classe, a definição do problema deve permitir identificar em qual das classes o problema atual pode ser enquadrado.

Uma informação importante a ser levantada na definição do problema é o tipo de sistema de aquecimento solar a ser modelado. Em geral, os métodos de modelagem de sistemas de aquecimento solar possuem restrições quanto ao tipo desses sistemas, devendo esta informação ser necessária na fase de Especificação do Modelo Dinâmico a ser vista na Seção 3.2. Os tipos de sistemas solares são os voltados para o aquecimento de água que, por sua vez, podem ser classificados, segundo Kreider e Kreith (1982), em ativos, passivos ou híbridos, conforme seus sistemas de controle, podendo cada um destes ser direto ou indireto, conforme a presença de um trocador de calor, e ainda aberto ou fechado.

Na definição do problema, devem-se ainda delinear as razões para a modelagem do sistema de aquecimento solar, objeto do problema. Estas informações são úteis para a estruturação do sistema de simulação e para a especificação dos modelos estático e dinâmico. As razões para a modelagem de sistemas de aquecimento solar podem, geralmente, ser delineadas a partir de uma ou mais combinações das se

guintes necessidades de informações acerca desses sistemas (Duff e Winn, p. 17-4 a 17-6, 1981):

- a) Determinar a performance térmica de componentes ou do sistema sob várias condições operacionais.
- b) Testar diferentes configurações de sistemas de aquecimento solar sob idênticas condições operacionais.
- c) Otimizar a performance térmica do sistema ou minimizar o seu custo para uma determinada aplicação.
- d) Identificar os parâmetros mais importantes do projeto.
- e) Conhecer detalhadamente a operação do sistema e as interações entre seus componentes, visando o desenvolvimento de técnicas de projeto, a realização de estudos teóricos, ou estabelecer alterações vantajosas em sistemas existentes.
- f) Eliminar subjetividades e reduzir os custos de desenvolvimento de protótipos.

Finalmente, vale ressaltar a importância da Definição do Problema. As informações levantadas nesta etapa orientam toda a idealização do modelo de simulação. Portanto, o sucesso ou fracasso nas fases subsequentes é fortemente dependente dessa definição, pois, conforme afirma Shannon (p. 25, 1975), para encontrar uma solução ótima ou aceitável para um problema, antes é necessário saber qual é o problema.

2.2 - CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR A SER MODELADO

Deve-se caracterizar o sistema de aquecimento solar a ser modelado, identificando o seu tipo, os subsistemas, os componentes e as funções, descrevendo suas entradas e saídas, e estabelecendo as medidas de rendimento para as suas saídas. Isto pode ser feito, conforme Duff e Winn (1981), abordando o sistema de aquecimento solar por componentes ou por funções.

Na caracterização do sistema por componentes, deve-se tomar cada componente do sistema isoladamente, descrever sua função no sistema, suas entradas e saídas et. Na caracterização por funções, deve-se identificar os componentes do sistema responsáveis pela realização de uma determinada função, considerá-los como um subsistema e realizar a sua caracterização.

Qualquer que seja a abordagem anterior a ser utilizada para a caracterização do sistema de aquecimento solar, são de especial importância para o planejamento e desenvolvimento da modelagem as seguintes informações referentes ao sistema a ser modelado:

a) Em relação ao coletor solar ou à função de captação da energia solar

O componente do sistema de aquecimento solar responsável pela captação da energia solar e pela transferência desta energia para o fluido de trabalho (água) é o coletor solar plano. Deve-se fazer uma descrição geral do coletor que envolva dimensões, materiais e suas partes principais, quais sejam, placa absorvedora, tubos de elevação, "headers", coberturas e isolamento térmico. Entretanto, sob o ponto de vista da modelagem deste componente, uma das informações

refere-se ao tipo de construção do tubo de elevação - placa absorvedora. A Figura 1 mostra alguns tipos usuais de construção tubo-placa.

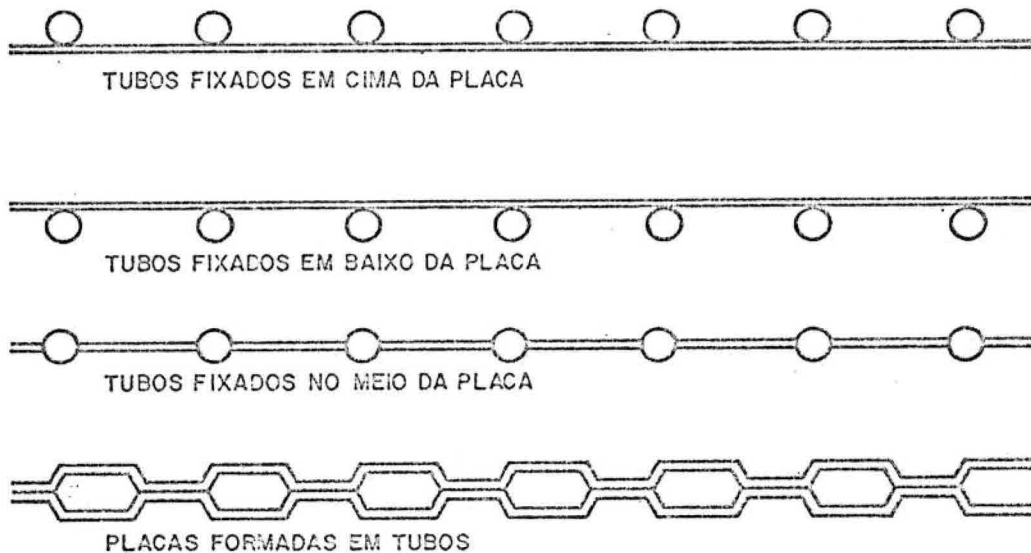


Fig. 1 - Coletores de placa plana: tipos de construção.
FONTE: Hudson and Markell (1985).

b) Em relação ao tanque de armazenamento ou à função de armazenamento de energia

Devem ser observadas em especial as seguintes características da função de armazenamento de energia dos sistemas de aquecimento solar:

- geometria e materiais utilizados no tanque de armazenamento ou em outros elementos estruturais associados à função armazenamento;
- capacidade do tanque por unidade de volume ou peso;
- meios de adição e remoção de calor, que incluem os sistemas au

xiliares, caso sejam internos ao tanque de armazenamento;

- estratificação da temperatura no tanque de armazenamento.

c) Em relação aos dispositivos de controle ou à função de controle do funcionamento do sistema

Devem ser descritos os tipos de controle funcionais existentes no sistema. Dois tipos convencionais são o "on-off" e o "proporcional". No tipo "on-off", a bomba de circulação é ligada ou desligada dependendo da diferença de temperatura entre a placa absorvedora e a água no fundo do tanque de armazenamento. No tipo "proporcional", a rotação da bomba de circulação é controlada de modo a manter um determinado nível de temperatura na saída do coletor (Duffie e Beckman, p. 358, 1980).

Portanto, devem ser descritos as faixas de temperatura que determinam as condições operacionais do sistema, inclusive as referentes ao controle do sistema de aquecimento auxiliar, no caso da existência deste.

2.3 - CARACTERIZAÇÃO DE MODELOS PREVIAMENTE DISPONÍVEIS

Deve-se verificar a existência ou não de modelos de simulação de sistemas de aquecimento solar residencial previamente disponíveis na instalação em questão. No caso de existir, deve-se caracterizar o modelo especificando as finalidades para as quais ele foi desenvolvido, os motivos pelos quais ele não atende ao problema atual, as técnicas de modelagem utilizadas e a viabilidade do seu aproveitamento para a solução do problema atual.

A escolha do método de modelagem de sistemas de aquecimento solar residencial é fortemente ditada pelos propósitos ou objetivos do modelo. Os métodos de modelagem impõem sobre o modelo várias restrições quanto à sua utilização e aos processos simulados. Desta forma, por exemplo, se um modelo foi desenvolvido com o propósito de estimar a Fração Solar do sistema, ou dimensionar a Área de Captação de energia solar necessária para uma determinada aplicação, muito provavelmente ele deve ter sido baseado no método F-CHART de modelagem de sistemas de aquecimento solar; portanto, algumas das restrições do modelo podem ser identificadas a partir das restrições do método F-CHART, o que certamente deverá constituir um dos critérios para analisar a viabilidade do seu aproveitamento para a solução do problema atual.

2.4 - VERSATILIDADE DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Klein, et alli (p. 29, 1975) observa que uma das características importantes dos sistemas de aquecimento solar é sua modularidade. Os componentes de um sistema de aquecimento solar podem ser modelados individualmente, podendo sua descrição matemática (modelo dinâmico) ser flexível o suficiente para que eles possam vir a ser utilizados na modelagem de outros sistemas. Por exemplo, pode ser estabelecido que o modelo do sistema de aquecimento solar deva ser versátil em relação à configuração do sistema de modo que se possa substituir ou adicionar componentes a este, e perguntas como as que se seguem possam ser respondidas através da utilização do modelo: a) Como a presença de um trocador de calor entre o coletor solar e o tanque de armazenamento afeta a performance térmica do sistema? b) Como dois métodos diferentes de fornecer energia auxiliar afetam a performance do sistema?

Desta forma, deve-se definir qual a versatilidade necessária ao modelo em relação à configuração do sistema de aquecimento

solar face aos propósitos estabelecidos para o modelo na definição do problema. Deve-se ter em mente que obviamente maior versatilidade implica em maior complexidade e maiores custos de desenvolvimento do modelo.

Deve-se estabelecer, também, a versatilidade do modelo em relação à natureza dos dados ambientais e operacionais a serem utilizados como entrada para o modelo de simulação.

Existem basicamente três formas pelas quais o modelo de simulação pode tratar os dados ambientais, conforme Duff e Winn (17-6, 1981), as quais definem a versatilidade do modelo em relação a estes:

a) "Inputs" determinísticos

Esta é a forma mais comum de fornecer dados ambientais e operacionais ao modelo, a qual consiste em utilizar dados ambientais (radiação solar, temperatura ambiente, velocidade do vento) obtidos através de medições reais para uma determinada localidade, durante um determinado período de tempo.

b) Conjuntos reduzidos de dados

A simulação da operação de um sistema de aquecimento solar por um período de, por exemplo, um ano, utilizando uma série completa de dados ambientais, pode ser dispendiosa. Desta forma, o modelo pode, por exemplo, a partir de uma longa série de dados ambientais, selecionar períodos em que a insolação e a temperatura são baixas para representar períodos durante os quais o sistema de aquecimento solar tem baixa performance, ou o modelo pode selecionar dados referentes a períodos nos quais a insolação e a temperatura são elevadas e o siste

ma de aquecimento apresenta boa performance.

c) "Inputs estocásticos"

Existem situações em que é vantajoso utilizar dados ambientais gerados estocasticamente. Os "inputs" estocásticos podem, por exemplo, ser gerados a partir dos momentos estatísticos de dados ambientais reais e, então, usar estes momentos em conjunto com um gerador de números aleatórios, a fim de determinar os valores de entrada para o modelo de simulação do sistema de aquecimento solar.

Finalmente, deve-se estabelecer a flexibilidade das saídas do modelo. Isto é, estabelecer se o modelo é capaz de fornecer apenas determinados resultados referentes a algumas variáveis de interesse específicas como, por exemplo, o fator de eficiência do coletor e a fração solar do sistema, ou esperar que o modelo forneça outros tipos de informações não-diretamente associados às variáveis e aos parâmetros da modelagem como, por exemplo, intervalos de tempo nos quais são necessários o uso de aquecimento auxiliar e a correlação desses intervalos com os dados ambientais.

2.5 - LIMITAÇÃO DE RECURSOS E PRAZOS

Deve-se levantar informações acerca dos recursos físicos, humanos e financeiros existentes, bem como sobre os prazos disponíveis para o desenvolvimento do modelo.

No que se refere aos recursos humanos, procurou-se adaptar a equipe ideal para simulação de sistemas, na concepção de Harvey N. Shycon (Shannon, p. 256, 1975), ao caso dos modelos de sistemas solares. Deve-se, portanto, levantar a disponibilidade ou a possibilidade

de de contratação de profissionais das seguintes áreas do conhecimen
to:

a) Administrador de Projetos

Necessário para o organização e controle administrativo do projeto de modelagem do sistema de aquecimento solar.

b) Especialista em Ciência da Computação (tecnólogo)

Necessário para realizar a translação do modelo dinâmico do sistema de aquecimento solar para uma linguagem aceitável pelo com
putador a ser utilizado. A translação do modelo deve ser dividida em duas etapas: análise de processamento de dados e programação.

c) Especialista em Sistemas de Aquecimento Solar

Necessário para desenvolver os modelos estático e dinâ
mico do sistema de aquecimento solar, bem como os processo de verifi
cação e validação do modelo de simulação.

d) Secretária

Necessária para executar os serviços de apoio como, por exemplo, datilografia, documentação, digitação e arquivos.

Quanto aos recursos físicos necessários, deve-se verifi
car principalmente o tipo e a capacidade do sistema de computação a ser utilizado, os recursos disponíveis em termos de periféricos e software de apoio, e a disponibilidade dos recursos computacionais em termos de tempo de acesso aos periféricos e de processamento.

Finalmente, deve-se estabelecer os prazos e os recursos financeiros disponíveis para o desenvolvimento e para a validação do modelo de simulação.

2.6 - ESBOÇO DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS

Com base nas informações levantadas nas etapas anteriores, deve-se esboçar uma ou mais soluções para o problema. Este esboço deve constituir-se numa caracterização sucinta de um diagrama geral do sistema de simulação, identificando os seus subsistemas e funções principais. Esta caracterização sucinta do sistema de simulação, esboçada como uma proposta inicial de solução para o problema, deve ser feita com base na estrutura geral para o sistema de simulação representado na Figura 6, cujo detalhamento encontra-se na Seção 2.2, Caracterização do Sistema de Aquecimento Solar a Ser Modelado.

3. FASE 2: PLANEJAMENTO PRELIMINAR

Nesta fase, considerando as alternativas levantadas e as demais informações contidas no Diagnóstico da Situação, deve-se partir para a caracterização preliminar de cada um dos sistemas correspondentes às diferentes alternativas, de modo a possibilitar a escolha da melhor delas.

Devem ser especificados os modelos estático e dinâmico do sistema de aquecimento solar da forma como será vista adiante; as entradas e saídas do sistema de simulação; os processos de verificação e validação do modelo; e, finalmente, as atividades e os recursos necessários para a obtenção do sistema de simulação.

Para possibilitar uma melhor compreensão da especificação dos modelos estático e dinâmico, introduziu-se ao final de cada um destes itens um exemplo hipotético, supondo que a fase de Identificação da Situação tenha sido realizada, e considerando, portanto, que os modelos especificados são coerentes com a Definição do Problema e com os propósitos estabelecidos para o desenvolvimento do modelo.

3.1 - ESPECIFICAÇÃO DO MODELO ESTÁTICO

Zeigler e Oren (p. 70, 1979) definem as características estáticas de um sistema como aquelas referentes à representação dos modelos dos componentes do sistema e aos parâmetros e às variáveis que descrevem os seus estados, entradas e saídas.

Nesta fase, portanto, devem ser determinados e definidos os parâmetros e as variáveis associadas ao sistema de aquecimento solar que serão significantes para a sua modelagem, as quais são mais interessantes em face do problema em questão, procurando, se possível, associar a cada variável e parâmetro as seguintes informações, conforme recomenda Martin (p. 174-176, 1968):

- símbolo;
- descrição;
- unidade de medida;
- domínio ou faixa de valores possíveis.

A especificação do modelo estático dos sistemas de aquecimento solar pode ser feita projetando um esquema representativo do

sistema como um todo, organizado por componentes do sistema ou por funções, conforme for mais conveniente à natureza do problema em questão. Duff e Winn (p. 17-3, 1981) citam algumas vantagens e desvantagens destas formas de organização do esquema representativo dos sistemas de aquecimento solar.

Em seguida, para cada componente ou função do sistema isoladamente, deve-se fornecer um esquema representativo, de forma que fiquem identificadas as variáveis e os parâmetros que definem as entradas e saídas relevantes para a modelagem, em função do problema em questão. Este esquema representativo deve ser acompanhado de uma lista dos parâmetros de interesse e das variáveis que definem as entradas e saídas em conformidade com as colocações contidas no segundo parágrafo desta seção.

Para possibilitar uma maior compreensão das colocações anteriores, segue-se um exemplo aplicado a um sistema de aquecimento solar do tipo ativo e direto, para o qual se pressupõe que a fase de Identificação da Situação tenha sido realizada, considerando, que a especificação que se segue tenha sido decorrente das informações levantadas naquela fase.

Exemplo 1: Especificação do modelo estático

O diagrama projetado para representar o sistema real de aquecimento solar residencial a ser simulado encontra-se especificado na Figura 2.

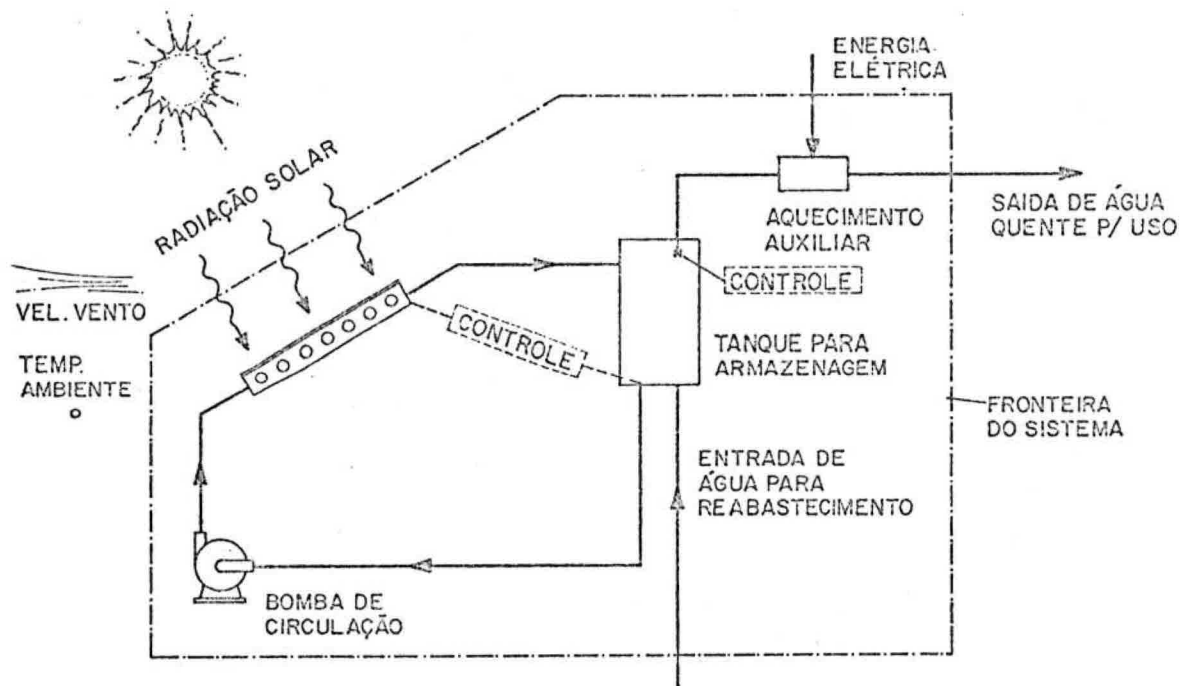


Fig. 2 - Esquema representativo de um sistema de aquecimento solar residencial.

Os componentes básicos do sistema de aquecimento solar representados no esquema da Figura 2 são: o coletor solar plano; o tanque de armazenamento; o sistema de aquecimento auxiliar; e os sistemas de controle do funcionamento da bomba de circulação e do sistema de aquecimento auxiliar.

A seguir serão especificados os modelos estáticos dos principais componentes do sistema representado na Figura 2.

a) Coletor Sola Plano

PARÂMETROS RELEVANTES PARA A MODELAGEM

<u>Descrição</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Unidade</u>	<u>Domínio</u>
Área de captação de energia solar	A_c	m^2	(0-50)
Fator de eficiência do coletor	F'	--	(0 - 1)
Coeficiente global de perda de calor	U_l	$W/m^2^{\circ}C$	(0-10)
Vazão de água no coletor	\dot{m}_l	Kg/seg	(0 - 1)
Dia do ano para início da simulação	Dia	--	(0-365)
Latitude	Lat	graus	(0-90)
Inclinação do coletor em relação à horizontal	s	graus	(0-90)
Orientação do coletor em relação ao norte	s_n	graus	(0-360)
Diferença de temperatura para ligar a bomba	ΔT_{on}	$^{\circ}C$	(0-50)
Diferença de temperatura para desligar a bomba	ΔT_{off}	$^{\circ}C$	(0-50)

SAÍDAS RELEVANTES PARA A MODELAGEM

<u>Descrição</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Unidade</u>	<u>Domínio</u>
Temperatura da água na saída do coletor	T_{fo}	$^{\circ}C$	(0-100)
Calor absorvido pela água	Q_u	W/m^2	(0-1000)
Rendimento térmico do coletor	η_c	--	(0 - 1)

ENTRADAS RELEVANTES PARA A MODELAGEM

<u>Descrição</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Unidade</u>	<u>Domínio</u>
Radiação solar incidente na superfície horizontal	H	W/m^2	(0-1200)
Temperatura ambiente	T_{amb}	$^{\circ}C$	(0-50)
Velocidade do vento	v	m/s	(0-100)
Temperatura da água na entrada do coletor	T_{fi}	$^{\circ}C$	(0-100)
Temperatura de referência para controle da bomba	T_{cb}	$^{\circ}C$	(0-100)

b) Tanque de Armazenamento

PARÂMETROS RELEVANTES PARA A MODELAGEM

<u>Descrição</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Unidade</u>	<u>Domínio</u>
Volume do tanque de armazenamento	V_t	m^3	(0-10)
Números de segmentos para estratificação do tanque	n_s	--	(1-10)
Coefficiente de perda de calor do tanque de armazenamento	U_{tq}	$W/m^2^{\circ}C$	(0-10)
Razão entre o peso e o raio do tanque de armazenamento	R_{pr}	Kg/m	(0-100)

SAÍDAS DE INTERESSE PARA A MODELAGEM

<u>Descrição</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Unidade</u>	<u>Domínio</u>
Temperatura da água na saída do tanque para o coletor	$T_{f.i}$	$^{\circ}C$	(0-100)
Temperatura da água para consumo	$T_{s.l}$	$^{\circ}C$	(0-100)
Perfil de temperatura da água no tanque	$T_{s.i}$	$^{\circ}C$	(0-100)

ENTRADAS DE INTERESSE PARA A MODELAGEM

<u>Descrição</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Unidade</u>	<u>Domínio</u>
Vazão de água quente para consumo	\dot{m}_{c1}	Kg/seg	(0 - 1)
Temperatura da água quente na entrada do tanque	$T_{f.o}$	$^{\circ}C$	(0-100)
Temperatura da água de reabastecimento	$T_{l.n}$	$^{\circ}C$	(0-100)
Temperatura ambiente	T_{amb}	$^{\circ}C$	(0-42)

c) Aquecimento Auxiliar

PARÂMETROS RELEVANTES PARA A MODELAGEM

<u>Descrição</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Unidade</u>	<u>Domínio</u>
Potência	P_{aq}	W	(0-1000)
Temperatura mínima da água na saída do tanque para ligar o sistema de aquecimento	T_{caq}	$^{\circ}C$	(0-100)

SAÍDAS RELEVANTES PARA A MODELAGEM

<u>Descrição</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Unidade</u>	<u>Domínio</u>
Quantidade de energia elétrica consumida por unidade de tempo	Q_{e1}	KW	(0-500)
Temperatura de saída da água	$T_{s.o}$	$^{\circ}C$	(0-100)

ENTRADAS RELEVANTES PARA A MODELAGEM

<u>Descrição</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Unidade</u>	<u>Domínio</u>
Temperatura da água na saída do tanque de armazenamento	$T_{s.1}$	$^{\circ}\text{C}$	(0-100)
Vazão de água quente para consumo	\dot{m}_{c1}	Kg/seg	(0 - 1)

3.2 - ESPECIFICAÇÃO DO MODELO DINÂMICO

O modelo dinâmico de um sistema de aquecimento solar residencial usualmente consiste num modelo matemático que representa o sistema, seus componentes, seus processos, suas relações funcionais, através de equações algébricas, diferenciais e integrais, expressões lógicas, gráficos e tabelas.

Nessa fase deve-se inicialmente, com base nas informações contidas no diagnóstico da situação e na especificação do modelo estático, especificar: o tipo de modelo a ser desenvolvido com base na classificação fornecida por Shannon (p. 7, 1975) e os métodos de modelagem de sistemas de aquecimento solar nos quais o desenvolvimento do modelo dinâmico deve ser baseado. Vale destacar dois métodos de modelagem de sistemas solares: a) "Ø METHOD", originalmente desenvolvido por Hottel e Willier (1958) e Bliss (1959), geralmente utilizado para a simulação discreta de sistemas de aquecimento solar do tipo direto, ativos ou passivos, podendo a temperatura no tanque de armazenamento ser considerada uniforme ou estratificada; e b) "F-CHART", originalmente desenvolvido por Klein, et alli (1976), geralmente utilizado para simular a performance térmica anual dos sistemas de aquecimento solar do tipo ativo, indireto e fechado.

Deve-se, também, realizar uma descrição do comportamento dinâmico do modelo estático, mostrando as principais relações funcionais entre os componentes do sistema, incluindo, se possível, um esquema térmico representativo do modelo dinâmico e envolvendo as variáveis que compõem as saídas e entradas relevantes para a modelagem, que devem ter sido definidas na especificação do modelo estático.

Finalmente, deve ser elaborado um diagrama que mostra os principais módulos da modelagem dinâmica (estruturados por componente ou por funções), podendo ser elaboradas hipóteses acerca do sistema de aquecimento solar, as quais deverão ser consideradas na fase de desenvolvimento do modelo dinâmico.

Portanto, espera-se dessa fase a especificação das técnicas de modelagem de sistemas de aquecimento solar a serem utilizadas, uma caracterização descritiva do comportamento dinâmico do modelo estático, uma esquematização das principais etapas do desenvolvimento do modelo dinâmico e as hipóteses de maior abrangência que deverão nortear o seu desenvolvimento. O desenvolvimento detalhado do modelo dinâmico, ou seja, o trabalho de modelagem matemática propriamente dito deverá ser executado apenas na Fase de Desenvolvimento.

Para uma melhor compreensão da Especificação do Modelo Dinâmico, apresenta-se a seguir, de forma não exaustiva devido às limitações do trabalho, uma especificação baseada no modelo estático especificado no Exemplo 1. Mais uma vez deve-se supor que a fase de Identificação da Situação tenha sido desenvolvida e que as especificações que se seguem tenham sido elaboradas em função das informações levantadas naquela fase.

Exemplo 2: Especificação do Modelo Dinâmico

O modelo dinâmico do sistema de aquecimento solar, esquematicamente representado na Figura 2, deverá ser um modelo determinístico, discreto, por incremento fixo de tempo (1 hora); a modelagem do coletor deverá ser baseada no método de modelagem de simulação de sistemas de aquecimento solar residencial, denominado "Ø METHOD", e a dos demais componentes do sistema, nos métodos baseados na discretização de equações diferenciais, os quais geralmente são referenciados pelo nome de seus autores.

A partir dos dados ambientais e do perfil de consumo de água quente fornecidos ao modelo na forma de "inputs" determinísticos, o modelo deverá simular o comportamento do sistema fornecendo o seu desempenho horário e global para o período determinado pelos dados ambientais, além de fornecer o consumo total de água quente, o consumo elétrico do sistema auxiliar e a Fração Solar do sistema de aquecimento solar.

Como mostra o esquema térmico representativo do modelo dinâmico do coletor (Figura 3), a parte da energia solar incidente sobre este, absorvida pela sua placa absorvedora, é distribuída entre perdas superiores, inferiores e energia útil absorvida pela água que circula no coletor, devendo ser desprezadas portanto as perdas laterais.

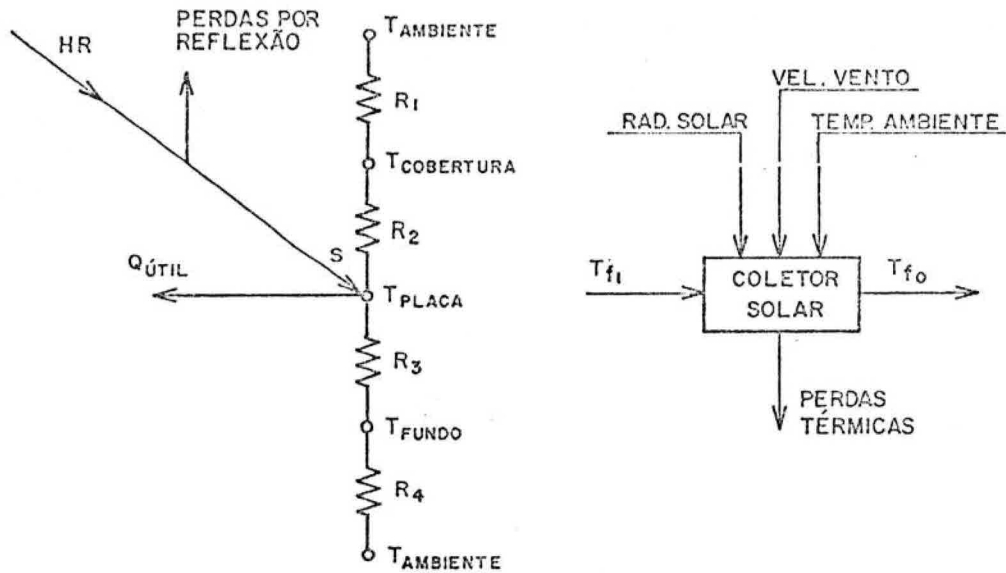


Fig. 3 - Esquema térmico representativo do modelo dinâmico do coletor solar plano.

- $Q_{\text{útil}}$ - energia transferida ao fluido de trabalho,
- S - energia absorvida pela placa absorvedora,
- HR - radiação incidente no plano do coletor solar,
- T_{amb} - temperatura ambiente,
- T_{placa} - temperatura da placa absorvedora,
- T_{fundo} - temperatura da parte inferior do coletor,
- R_1, R_2, R_3 e R_4 - Resistências à transferência de calor.

Supõe-se que a água entra no coletor com a mesma temperatura com que sai do tanque de armazenamento; portanto, as perdas térmicas nas tubulações podem ser desprezadas. A água que circula no inferior do coletor absorve uma determinada quantidade de calor, ficando este a uma temperatura que pode ser considerada igual à de entrada no tanque de armazenamento.

Dever-se-á considerar que a bomba de circulação será controlada por um termostato diferencial que a ligará toda vez que a diferença de temperatura entre a água no fundo do tanque e na saída do coletor for maior que um ΔT a ser especificado. Dever-se-á considerar ainda que o sistema de aquecimento auxiliar será ligado somente nos períodos em que houver demanda de água quente e em que a temperatura da água na parte superior do tanque de armazenamento for menor que um valor a ser especificado.

O tanque deverá ser considerado como estratificado, isto é, a temperatura da água na sua parte superior é maior que a temperatura na sua parte inferior, devendo ser dividido num número "N" de seções, em cada uma das quais a temperatura da água deverá ser considerada uniforme. O reabastecimento de água no tanque de armazenamento deverá ser feito nos mesmos instantes e na mesma taxa com que é retirada para consumo. A Figura 4 mostra um esquema térmico representativo do modelo dinâmico do tanque de armazenamento.

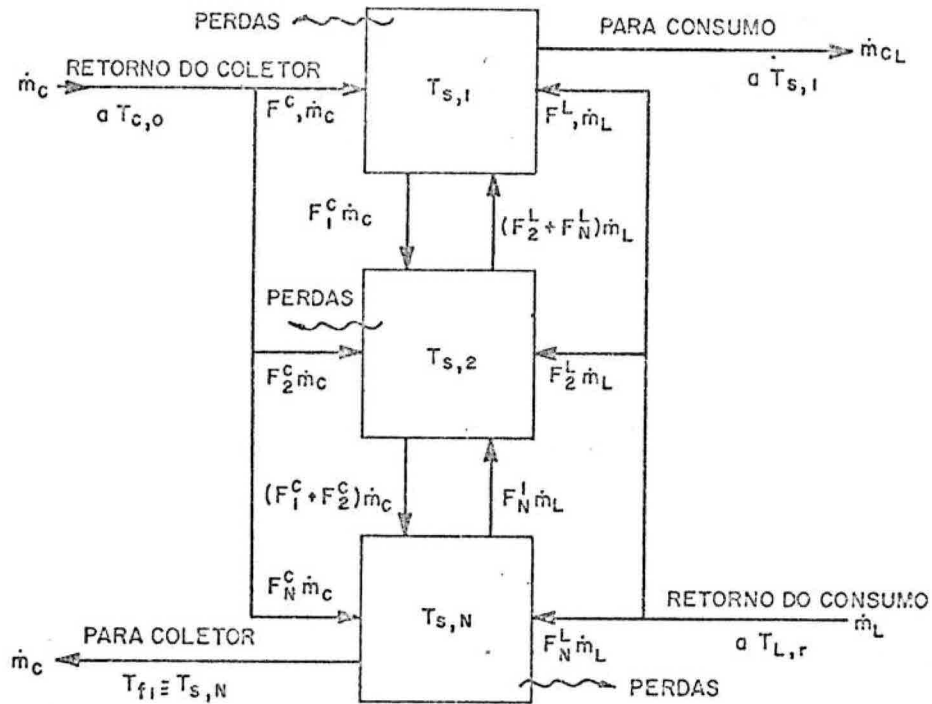


Fig. 4 - Esquema térmico representativo do modelo dinâmico do tanque de armazenamento.

FORNTE: Duffie and Beckman (1980).

\dot{m}_c - vazão da água de retorno para o coletor,

\dot{m}_L - vazão de água quente para uso,

$T_{s,i}$ - temperatura da água no i -ésimo segmento do tanque,

F_i^C e F_i - funções de controle da estratificação.

A Figura 5 mostra um esquema que representa os principais módulos do modelo dinâmico e suas inter-relações.

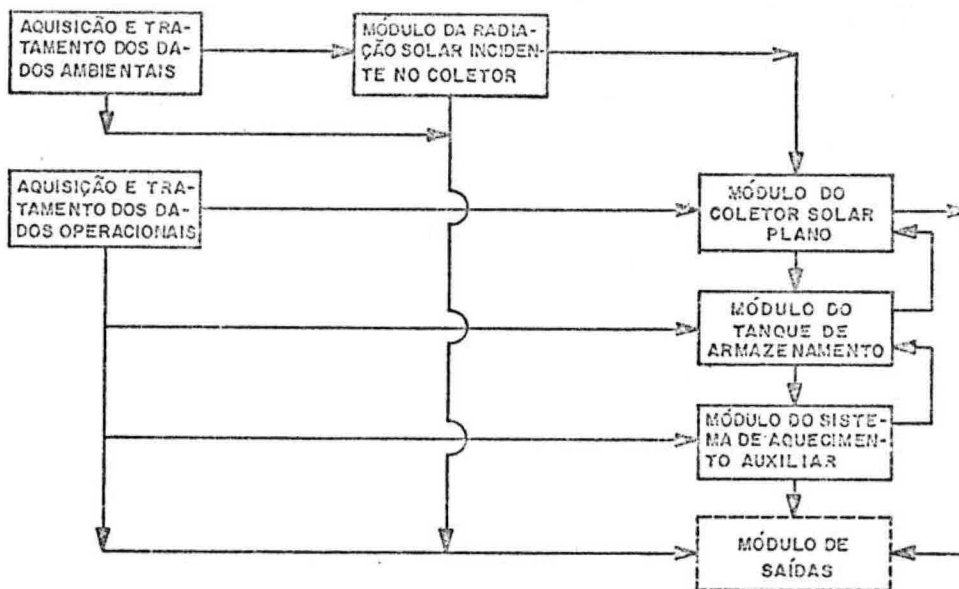


fig. 5 - Esquema dos principais módulos do modelo dinâmico.

3.3 - CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE SIMULAÇÃO

O sistema de simulação deve ser entendido como o conjunto de programas de computador que incorporam em si os modelos estático e dinâmico do sistema de aquecimento solar, proporcionam as formas para a introdução dos dados necessários à simulação do sistema real, processam esses dados e emitem os resultados interessantes desses processamentos.

Desta forma, o produto da caracterização do sistema de simulação deve ser um conjunto de especificações que descrevam a estrutura global planejada para o sistema de simulação, a qual deve ser baseada na estrutura representada na Figura 6. Esse conjunto de especi

ficações deve proporcionar: a) um esboço global da concepção do sistema de simulação sob o ponto de vista de processamento de dados; b) a estrutura dos módulos funcionais do sistema de simulação; c) o auxílio à estimativa dos recursos físicos e dos prazos necessários para as etapas de obtenção do sistema; d) o subsídio ao projeto lógico da etapa de análise de sistema na fase de Desenvolvimento do Sistema; e e) a seleção de uma linguagem de programação para a translação do modelo.

Zeigler e Oren (p. 70, 1979) consideram que um programa ou um sistema de simulação pode ser decomposto em seis elementos funcionais básicos:

- a) inputs externos,
- b) modelos das saídas,
- c) modelo das estruturas,
- d) inicialização,
- e) término,
- f) interpretação e display.

A seguir, são fornecidos de forma bastante breve o conceito de cada um destes elementos básicos, e maiores detalhes a respeito destes podem ser obtidos na referência citada acima ou em "Theory of Modelling and Simulation" por Zeigler, (1976).

Modelos das Estruturas

Referem-se ao conjunto das instruções que especificam as características estáticas e as características dinâmicas do modelo de simulação. São, portanto, obtidas a partir do modelo estático e do modelo dinâmico do sistema de aquecimento solar.

Modelo das saídas

Refere-se às saídas do modelo de simulação, as quais deverão ser concebidas em função das variáveis definidas como de interesse especial para a modelagem em questão.

Inputs externos

Referem-se aos valores das variáveis externas (são aquelas fornecidas ao modelo mas não controladas por ele).

Inicialização

Refere-se à atribuição de valores para as variáveis e para os parâmetros do modelo, de forma que o sistema configure um determinado estado inicial desejado para começar uma simulação.

Término

Refere-se às condições para finalização ou interrupção de uma simulação.

Interpretação e display

Refere-se aos sumários estáticos, às tabelas e aos gráficos das trajetórias de variáveis de interesse especial para modelagem e simulação do sistema em questão.

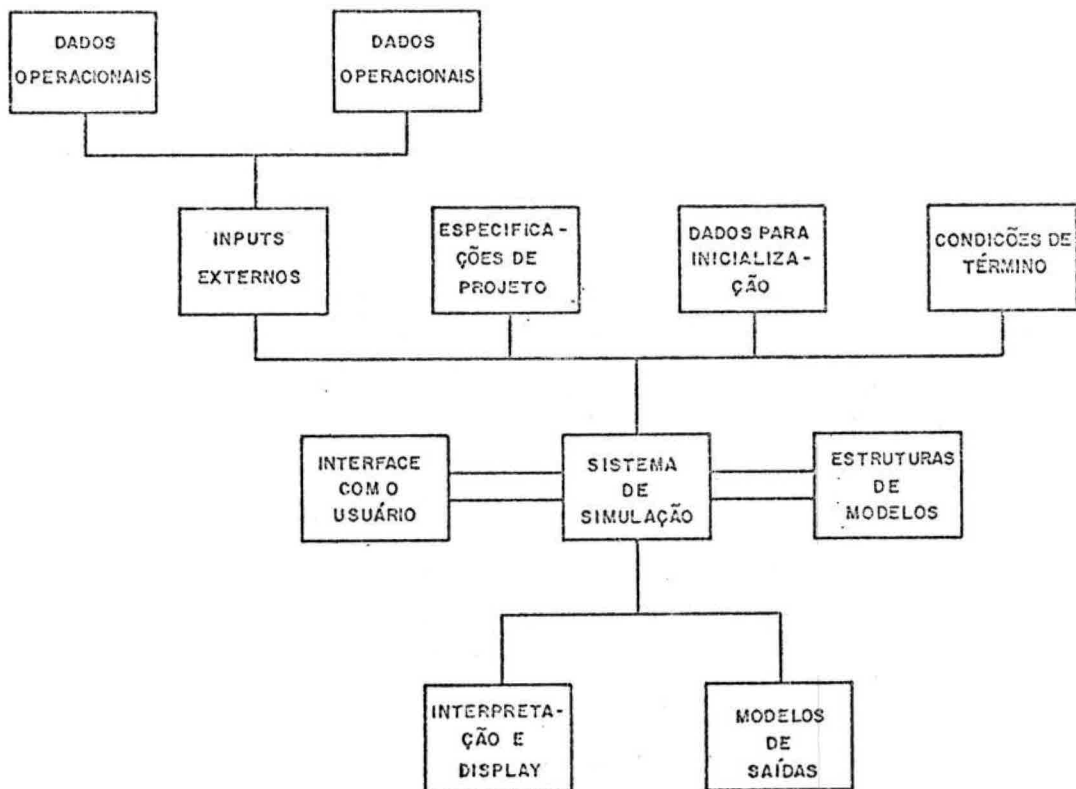


Fig. 6 - Estrutura geral para sistemas de simulação.

Desta forma, procurou-se adaptar a metodologia de Zeigler e Oren (1979) ao caso dos sistemas solares. A caracterização do sistema de simulação deverá basear-se na estrutura de sistemas de simulação representada na Figura 6, a qual foi elaborada com base nos conceitos apresentados anteriormente, os quais consideram a natureza dos sistemas em questão. Essa estrutura pode ser decomposta em módulos funcionais, conforme o apresentado na Figura 7, a qual deve ser

utilizada como forma de representação complementar do sistema para melhor caracterizá-lo.

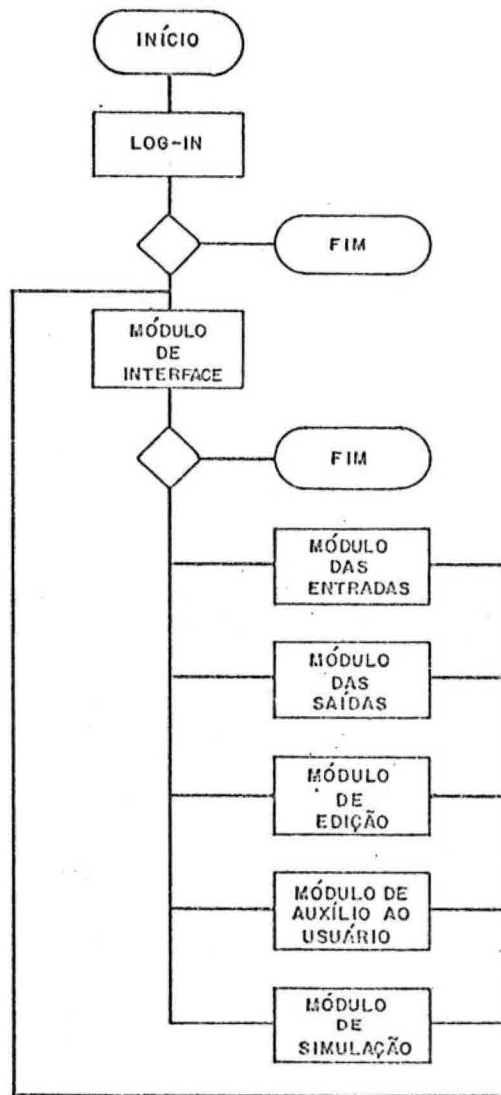


Fig. 7 - Módulos funcionais do sistema de simulação.

FONTE: Rzevski (1982), p. 369-389

Sugere-se então que, tomando por base as informações levantadas na fase de Identificação da Situação e nas especificações do modelo estático e dinâmico, seja iniciada a caracterização do sis

tema de simulação através da especificação de suas saídas. Nesta fase do planejamento, as saídas devem ser expressas de forma descritiva através da formulação de objetivos do sistema de simulação, aos quais se deve atribuir medidas de rendimento (valores que permitam a quantificação de um objetivo, ou o estabelecimento de padrões que permitam sua mensuração), conforme recomenda Reis (p. 40, 1980). Essas medidas de rendimento deverão servir de base para a concepção das saídas do tipo "interpretação e display".

A interface com o usuário deve ser caracterizada através de um conjunto de especificações necessárias ao projeto do software desse elemento do sistema de simulação, de modo que suas funções fiquem definidas. Segundo Rzevski (p. 376, 1982) a interface com o usuário deve:

a) Permitir ao usuário:

- identificar as formas de entrada dos dados necessários;
- editar os dados fornecidos;
- controlar a execução das simulações;
- especificar as saídas de interesse específico para a simulação em questão;
- esclarecer dúvidas quanto à utilização do sistema de simulação.

b) Permitir ao sistema de simulação:

- fornecer displays, imprimir, plotar ou armazenar os dados num arquivo, conforme for requisitado pelo usuário;
- auxiliar o usuário, quando solicitado;
- fornecer relatórios de crítica dos dados, quando solicitado;
- solicitar do usuário a entrada de comandos ou de dados para a simulação.

As entradas do sistema deverão ser caracterizadas em termos dos dados ambientais e operacionais (inputs externos), dos parâmetros e das condições de início e término da simulação.

3.4 - PROCESSOS DE VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO

Nesta etapa devem ser planejados os processos de verificação e validação do modelo de simulação. Inicialmente, deve-se lembrar que, conforme afirma Shannon (p. 208, 1975), o conceito de validação deve ser considerado como um grau e não como um teste passante-não-passante. Portanto, deve-se validar os modelos em relação aos seus propósitos, e o nível de validação a ser alcançado deve ser estabelecido em função dos propósitos do modelo e dos custos do processo de validação.

Um segundo comentário inicial é que existem várias técnicas e procedimentos que podem ser utilizados na verificação e validação de um modelo (veja por exemplo, Farley (1985), Capítulo VIII

"Verification and Validation Techniques"). Mas infelizmente, como co
loca Sargent (p. 160, 1982), não existe um procedimento genérico pa
ra determinar quais técnicas devem ser utilizadas num modelo específico
co, pois a escolha da técnica depende do problema, dos propósitos do
modelo, dos dados disponíveis, do custo e do tempo disponível para os
processos de verificação e validação.

Quanto à verificação do modelo, seja qual for a técni
ca a ser escolhida, ela deve garantir que o programa ou os programas
que compõem o sistema de simulação realmente representem de forma cor
reta os modelos estático e dinâmico do sistema ou, utilizando outra
terminologia, o modelo conceitual do sistema.

Dessa forma, pode-se planejar a verificação dos modelos
de simulação de sistemas solares utilizando, entre outros, os seguin
tes tipos de análise de verificação: estática e dinâmica. Na análise
estática a estrutura do código de programação é analisada, mas o cô
digo não é executado. Esta análise se mostra útil para, por exemplo,
descobrir práticas questionáveis de codificação, detecção de erros
estruturais como, por exemplo, variáveis não-inicializadas e equív
ocos entre parâmetros formais e reais. A análise estática pode ser rea
lizada de modo manual ou mecanizada utilizando software desenvolvido
especialmente para este propósito, por exemplo: RAM 75, MIL 75, FOS 76,
GRC 83 - Farley (p. 276, 1985), Na análise dinâmica, os programas de
computador são executados sob diferentes condições, e os resultados
obtidos são utilizados para determinar se estes foram implementados
de forma correta.

Quanto à validação dos modelos de simulação de sistemas
de aquecimento solar, Duff e Winn (p. 17-18, 1981) sugerem que, para
validar esses tipos de modelos, devem ser considerados os seguintes

aspectos referentes ao processo de modelagem:

- a) a qualidade dos dados ambientais e operacionais a serem utilizados,
- b) a validação das hipóteses e simplificações utilizadas nos modelos estático e dinâmico,
- c) a validação da lógica do modelo de simulação,
- d) a validação do comportamento do modelo.

O primeiro aspecto mencionado anteriormente refere-se à análise e às técnicas de seleção dos dados a serem utilizados. O segundo e terceiro aspectos referem-se às técnicas utilizadas no processo de modelagem, aos propósitos do modelo, e ao tipo e quantidade de dados disponíveis. O quarto aspecto é necessário para assegurar que o comportamento do modelo está de acordo com o comportamento do sistema real. A Figura 8 ilustra os passos para a validação de modelos de sistemas de aquecimento solar residencial.

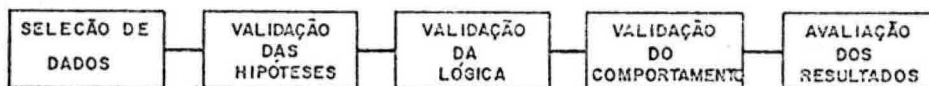


Fig. 8 - Etapas da validação de modelos de simulação de sistemas de aquecimento solar residencial.

FONTE: Duff and Winn (1981), p. 17-1 - 17-30.

A existência de dados adequados e suficientes é um dos requisitos importantes para a validação dos modelos de sistemas sola

res. Duff e Winn (p. 17-17, 1981) sugerem a seguinte metodologia para a seleção dos dados de validação desses modelos:

- a) Realizar uma inspeção preliminar dos dados visando identificar valores que não possuem significação física, ou que não sejam razoáveis para as grandezas físicas envolvidas.
- b) Submeter os dados de cada hora de cada mês a um programa de identificação de "outliers". Os "outliers" identificados devem ser retirados do conjunto de dados.
- c) Computar a função de distribuição acumulada dos dados para cada mês e para as médias mensais do ano ou período em questão.

Segundo Duff e Winn (p. 17-17 e 17-18, 1981), os dados utilizados para a calibração do modelo não devem ser utilizados para sua validação. Portanto, os dados disponíveis devem ser separados em dados para calibração e dados para validação. Os dados para calibração devem conter apenas pontos que representem as características médias do processo.

Duff e Winn sugerem, ainda, que o processo de validação de modelos de simulação de sistemas solares seja feito com o auxílio de um "modelo de validação" computadorizado, devendo as saídas do modelo de simulação serem lidas pelo "modelo de validação" de modo que:

- a) os valores simulados sejam plotados contra os valores reais para cada componente do modelo do sistema solar;

- b) sejam computadas as estatísticas básicas, ou seja, média, desvio padrão, terceiro e quarto momentos em torno da média, valores máximos e mínimos, coeficientes de correlação entre os valores simulados e os observados para cada componente do modelo do sistema solar;
- c) sejam computadas as funções de distribuição acumulada para os dados simulados de cada componente do modelo do sistema solar.

A partir desses dados, pode-se identificar o que deve ser feito para melhorar o comportamento do modelo, estender seu dominio ou aplicabilidade, ou colocá-lo numa forma mais flexível para outros usos.

3.5 - OBTENÇÃO DO SISTEMA DE SIMULAÇÃO

Nesta etapa, considerando as limitações de recursos e prazos levantados na Fase de Identificação da Situação, devem ser especificados os recursos físicos e humanos necessários para a obtenção do sistema de simulação caracterizado. Devem, também, ser levantadas as atividades necessárias para a obtenção do sistema. Cada atividade levantada deve ser especificada, ser elaborada uma Estrutura de Divisão de Atividades, uma Estrutura de Divisão de Recursos e um Diagrama de Fluxo de Trabalho, mostrando a seqüência de atividades que devem ser executadas a fim de que o sistema de simulação seja obtido. Maiores detalhes acerca desses conceitos podem ser obtidos em Reis (1980).

A Figura 9 mostra uma Estrutura de Divisão de Atividades para a Estratégia em questão. A Figura 10 mostra um exemplo de Estrutura de Divisão de Recursos para a fase de obtenção do modelo de simula

ção, e a Figura 11 mostra um exemplo de Diagrama de Fluxo de Trabalho para a fase de obtenção do sistema de simulação.

4. FASE 3: PLANEJAMENTO FINAL

Os documentos elaborados nas etapas anteriores (Diagnóstico da Situação e Plano de Detalhamento do Projeto) constituem a base para o planejamento final da alternativa que deve ser escolhida após o término das fases anteriores.

Nesta etapa, esses documentos devem ser revistos, após o que deverão ser elaboradas as especificações finais e os fluxos que constituirão a base para a obtenção do sistema de simulação.

Os recursos e os custos estimados no planejamento preliminar devem ser revistos e detalhados, e estipulados os prazos para o desenvolvimento do sistema de simulação. Portanto, devem ser preparados, nesta etapa, os instrumentos para organização, controle, avaliação e realimentação do projeto no que diz respeito ao tempo, custo e pessoal.

Estas informações devem ser expressas num documento intitulado Plano de Desenvolvimento do Sistema.

5. DESENVOLVIMENTO

Nesta fase devem ser executadas todas as atividades para a obtenção do sistema de simulação.

Nas fases anteriores foram especificados o modelo estático e o modelo dinâmico. Os componentes do sistema e a identificação

das formas de interconecções, suas entradas e saídas estão representadas no modelo estático. Os métodos de modelagem de sistemas de aquecimento solar a serem utilizados, os principais parâmetros e as variáveis foram apenas identificados na especificação do modelo dinâmico. Cumpre agora desenvolver a modelagem dinâmica do sistema de aquecimento solar, considerando as informações das fases anteriores.

A pós a obtenção do modelo dinâmico, deve ser iniciado o trabalho de translação deste modelo. Este trabalho pode ser dividido em duas etapas:

- . análise e
- . programação.

A etapa de análise pode ser iniciada pela escolha da linguagem de programação a ser utilizada. No caso dos modelos de sistemas solares, geralmente são utilizadas linguagens de propósitos gerais voltadas para a computação científica, segundo a classificação de linguagens de programação estabelecida por Shannon (p. 116. 1975).

A fase de análise pode ser dividida em projeto lógico e projeto físico. Na fase de projeto lógico, é feita uma especificação detalhada do sistema, devendo ser especificados os arquivos de caráter permanente e temporário, suas estruturas, formas de inter-relacionamento, tipo de acesso, entradas e saídas do sistema, rotinas e programas que constituirão o sistema, além de outras especificações pertinentes. Na fase de projeto físico, deverão ser elaborados os "lay-out" para entradas, saídas e arquivos do sistema. Deverão ainda ser definidos os programas de computador necessários para executar os diversos processamentos, entre outras atividades.

A fase de programação consiste no desenvolvimento dos programas de computador definidos na fase de análise.

No final da fase de desenvolvimento, deve-se elaborar o Manual do Sistema, o qual deve conter as informações referentes ao desenvolvimento do modelo dinâmico e as referentes à fase de análise mencionada anteriormente, e o sistema de simulação deve estar pronto para a fase de verificação e validação.

6. VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO

Nesta fase devem ser realizados os processos de verificação e de validação do modelo de simulação. Inicialmente, deve-se fazer a verificação do modelo, ou seja, determinar se o modelo realmente representa o sistema que se pretende modelar (sistema real). No caso dos sistemas de aquecimento solar, isto implica que haja disponibilidade dos dados sobre a performance de um sistema "real" e sobre as condições ambientais e operacionais mediante as quais estes dados foram obtidos.

Em seguida, deve-se realizar o processo de verificação do modelo conforme planejado anteriormente. Uma vez obtidos os dados de validação do modelo, cumpre computar as estatísticas básicas e analisar estes dados para concluir sobre o grau de validação do modelo.

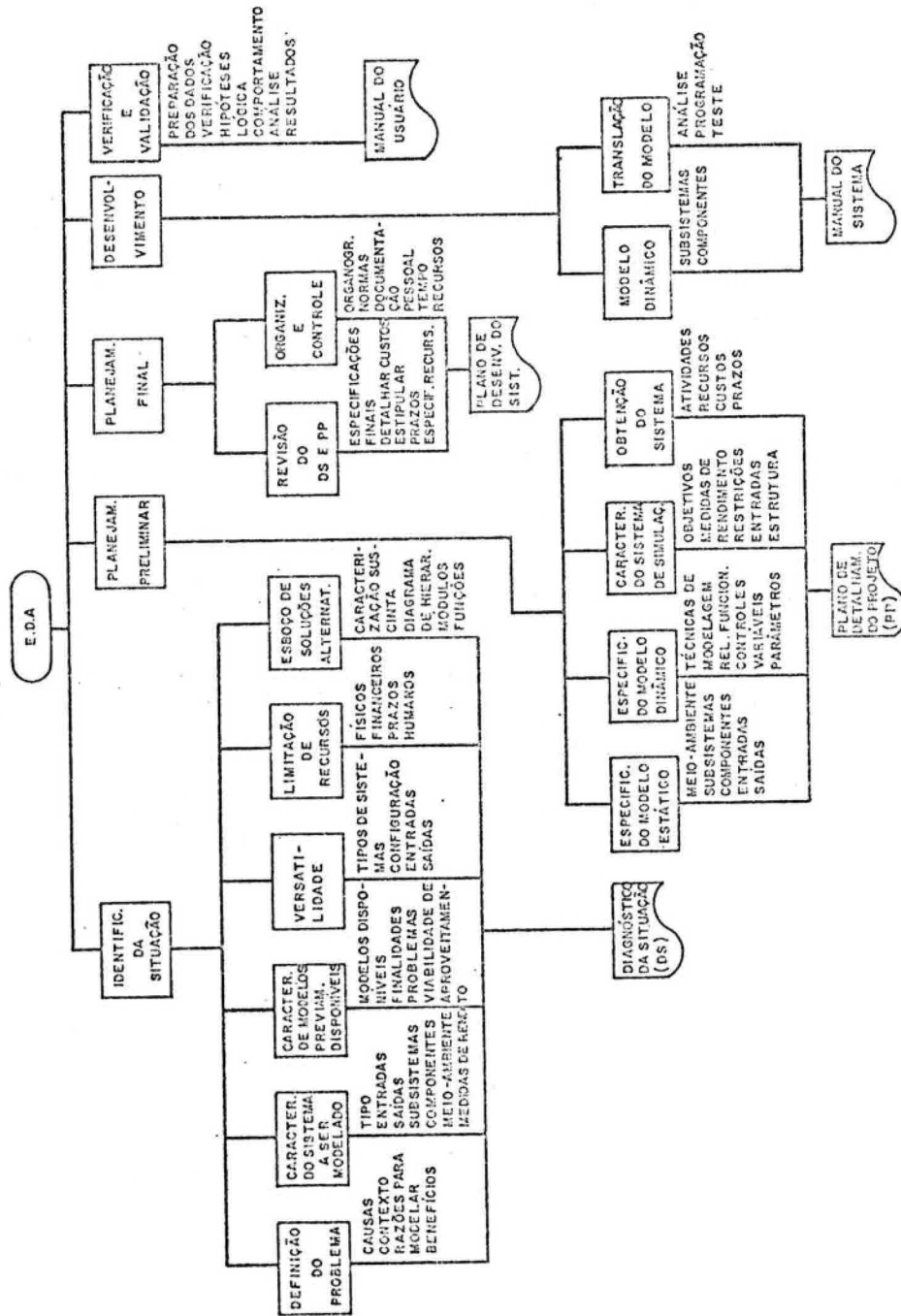


Fig. 9 - Estrutura de divisão de atividades para a obtenção do sistema de simulação.

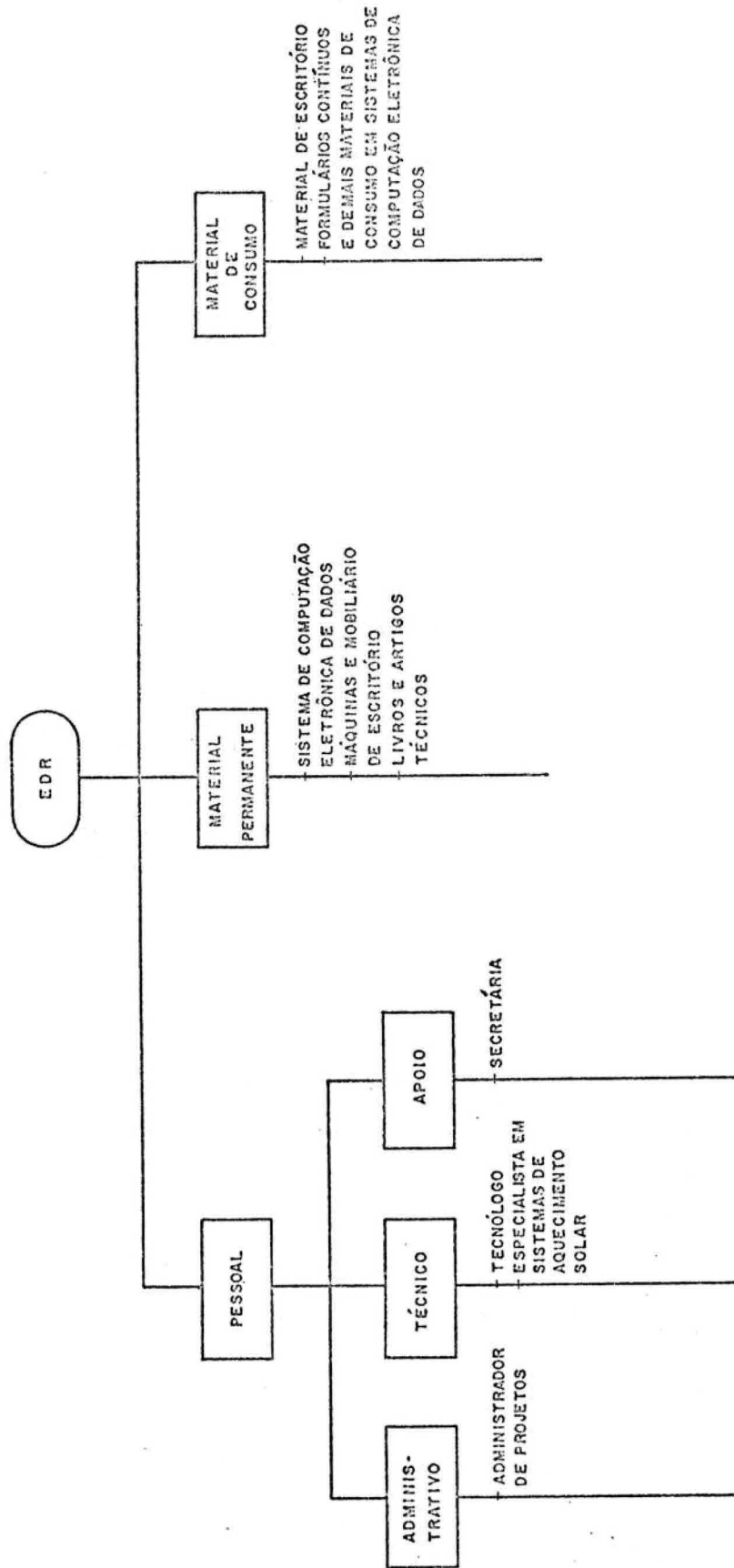


Fig. 10 - Estrutura de divisão de recursos para a obtenção do modelo de simulação.

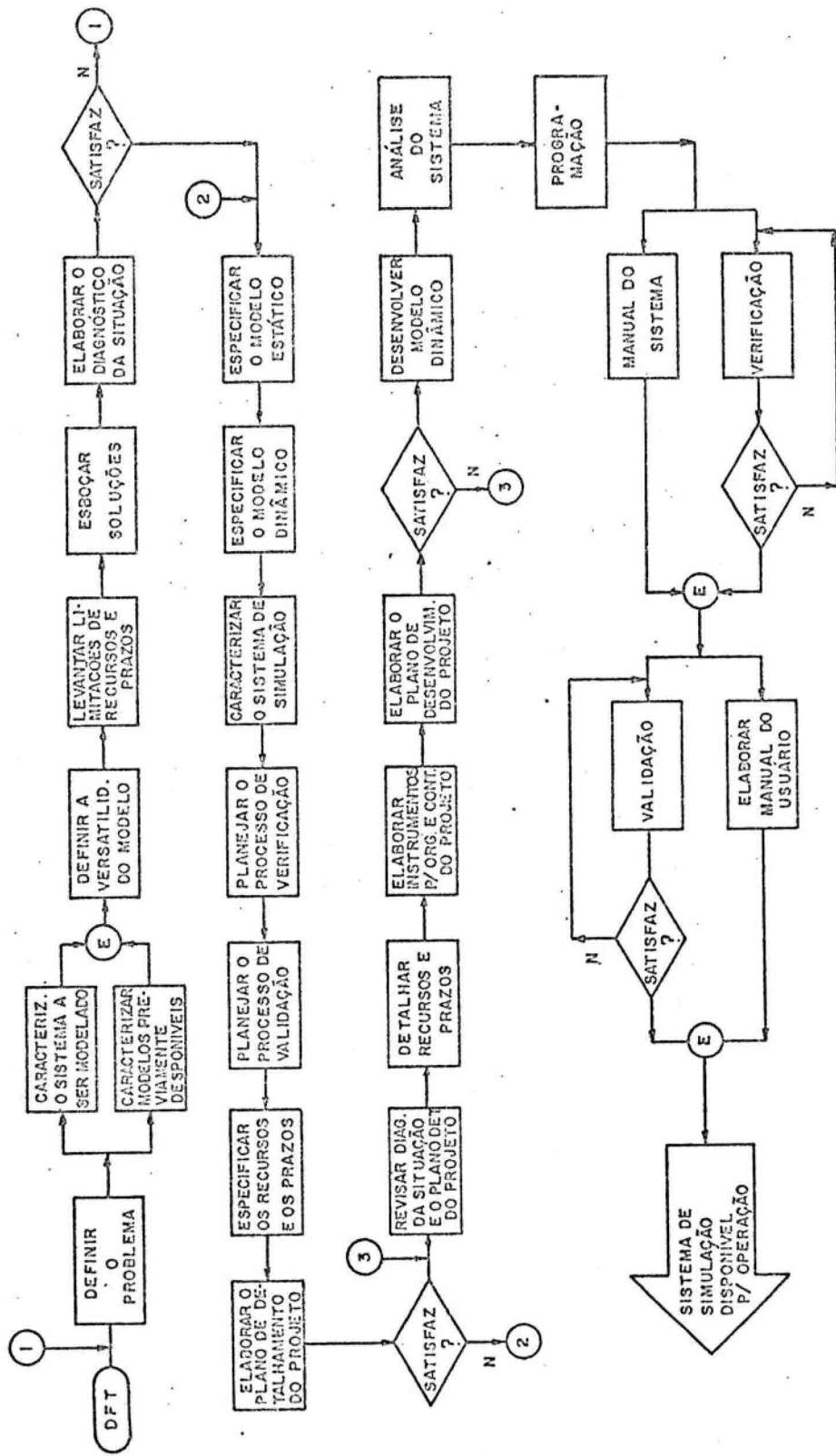


Fig. 11 - Diagrama de fluxo de trabalho para a obtenção do sistema de simulação.

7. CONCLUSÃO

A modelagem e a simulação de sistemas são ferramentas fundamentais para o desenvolvimento e projeto de sistemas de aquecimento solar residencial. Entretanto, esses sistemas se apresentam bastante complexos sob o ponto de vista da modelagem e simulação, o que eleva substancialmente o custo de desenvolvimento dos modelos desses sistemas, justificando, portanto, o planejamento sistêmico dos seus desenvolvimentos.

Acredita-se que a utilização da estratégia proposta poderá contribuir para o desenvolvimento de modelos de sistemas de aquecimento solar residencial através da sistematização das informações necessárias e das várias etapas do seu desenvolvimento. Esta sistematização deverá proporcionar o desenvolvimento de modelos mais adequados aos objetivos estabelecidos, podendo levar a uma economia final de tempo e recursos.

APÊNDICE B

PROPRIEDADES FÍSICAS DA ÁGUA

	Pág.
1 - REGRESSÃO POLINOMINAL	B.2
2 - COEFICIENTE DE EXPANSÃO VOLUMÉTRICA X TEMPERATURA	B.2
3 - DENSIDADE	B.4
4 - NÚMERO DE PRANDT X TEMPERATURA	B.5
5 - CALOR ESPECÍFICO X TEMPERATURA	B.6
6 - CONDUTIVIDADE TÉRMICA X TEMPERATURA	B.7
7 - VISCOSIDADE CINEMÁTICA X TEMPERATURA	B.8

1 - REGRESSÃO POLINOMIAL

Para cada propriedade física da água, de interesse para o modelo em questão, foi ajustada uma curva do tipo:

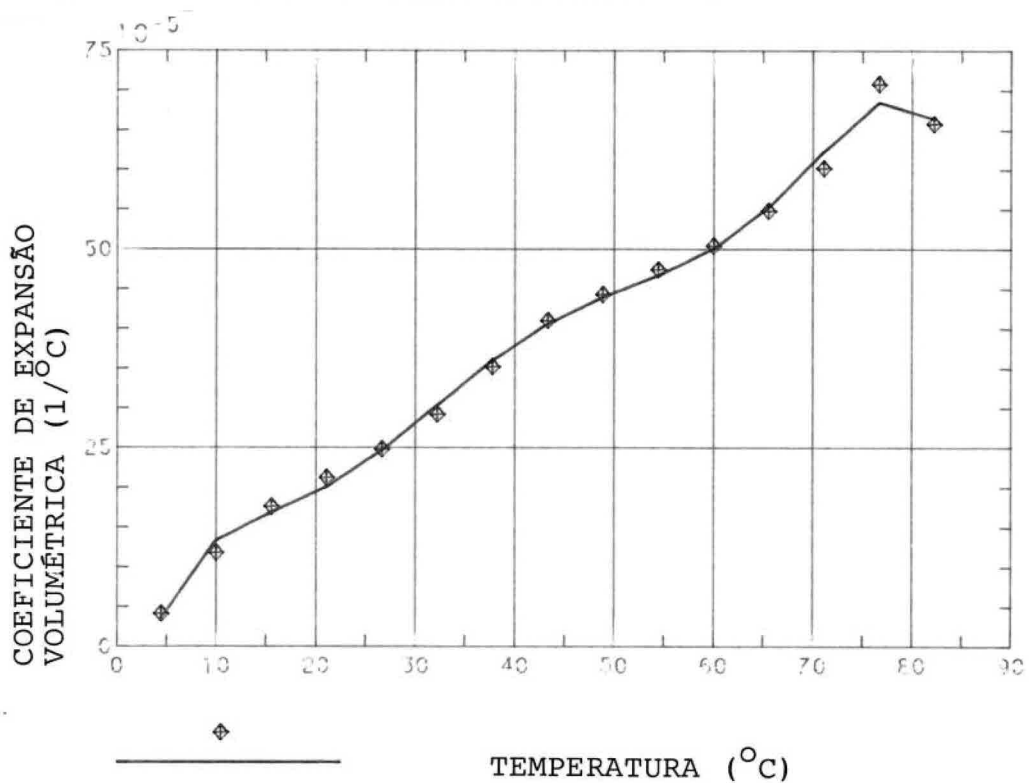
$$y = a + B_1X^1 + B_2X^2 + B_3X^3 + \dots + B_nX^n$$

utilizando-se o programa de computador SIMULA/PS/AJUSTAPOLI.

A rotina utilizada para o ajuste do polinômio determina o grau do polinômio através do ajuste cujo polinômio obtém a menor variância para a regressão. Para cada ajuste, variou-se o grau do polinômio de 1 a 6.

Fontes dos dados sobre propriedades física da água: Homan (1976) e Street ().

2 - COEFICIENTE DE EXPANSÃO VOLUMÉTRICA



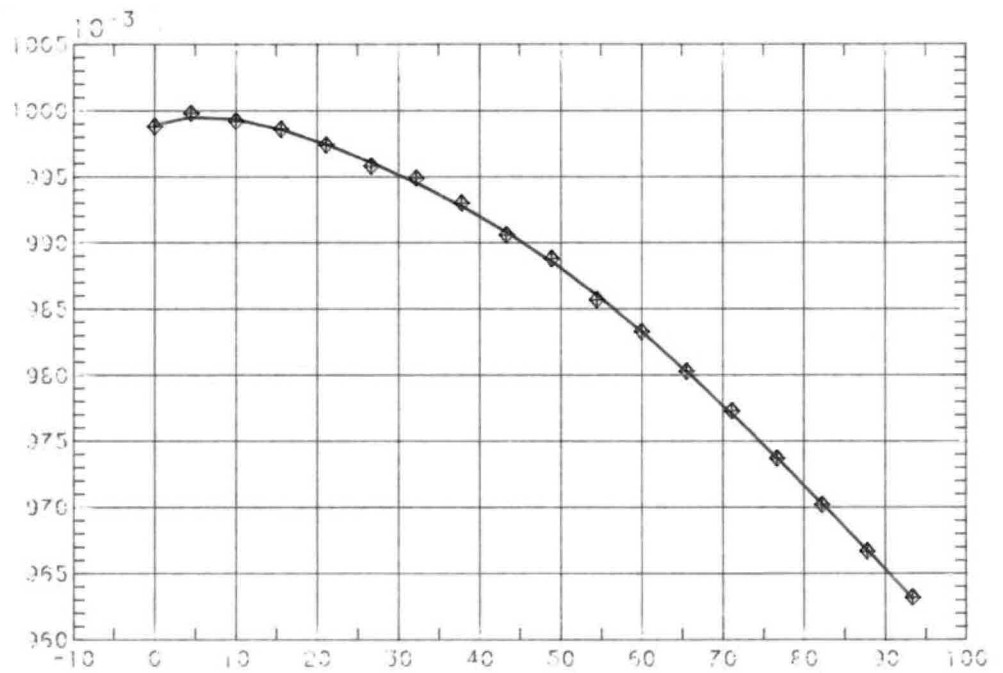
B.3

ANÁLISE DE VARIÂNCIA

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
REGRESSÃO	6	5.6817E-07	9.4695E-08	427.32
RESÍDUO	8	1.7728E-09	2.2160E-10	
TOTAL	14	5.6994E-07		

COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R**2) 0.9969

Parâmetros da Regressão: A = -1.64×10^{-4} ;
B1 = $6,49 \times 10^{-5}$;
B2 = 2.31×10^{-7} ;
B3 = 4.90×10^{-9} ;
B4 = 5.00×10^{-11} ;
B5 = 1.96×10^{-13} .

3 - DENSIDADE

◆

 TEMPERATURA (°C)

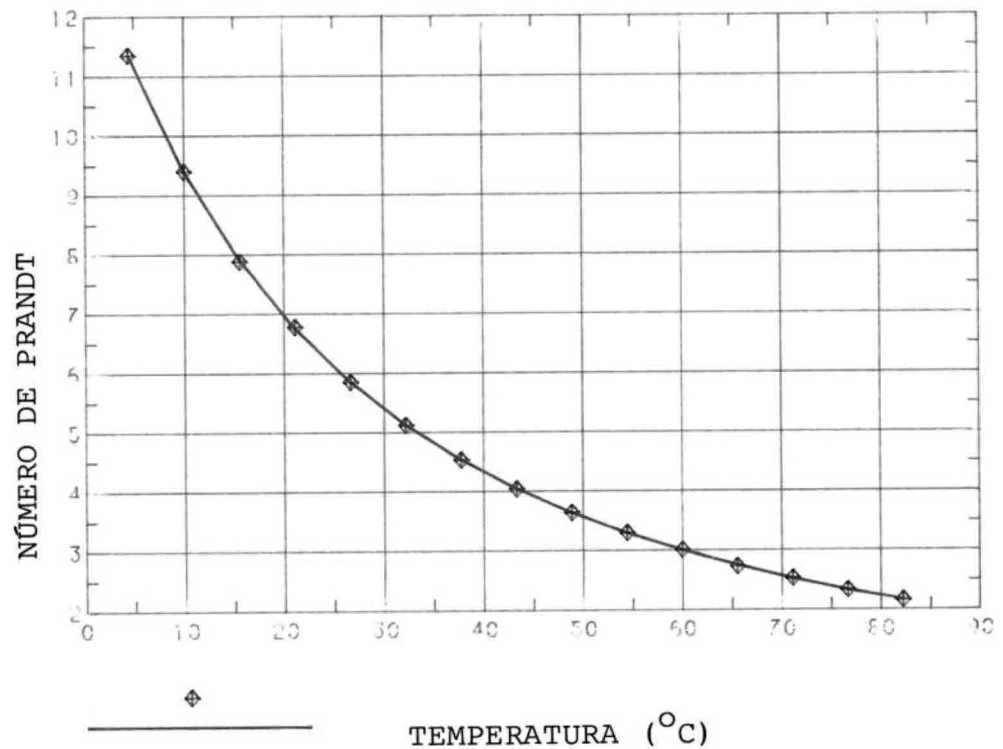
ANÁLISE DE VARIÂNCIA

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
REGRESSÃO	2	2.4718E-03	1.2359E-03	6968.23
RESÍDUO	15	2.6605E-06	1.7737E-07	
TOTAL	17	2.4745E-03		

Parâmetros da Regressão: A = 1,0

B1 = 5,87 x 10⁻⁵;

B2 = 3,677 x 10⁻⁶.

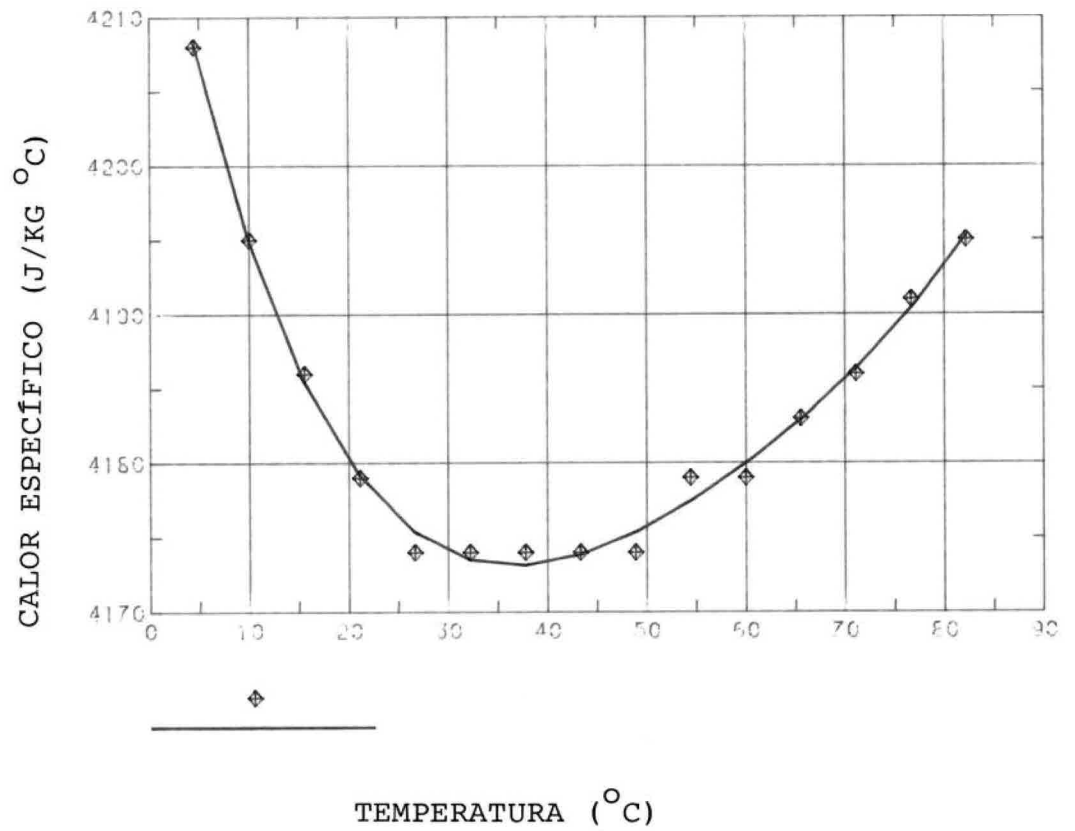
4 - NÚMERO DE PRANDTANÁLISE DE VARIÂNCIA

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
REGRESSÃO	6	1.0816E+03	1.8027E+01	*****
RESÍDUO	8	1.7476E-03	2.1845E-04	
TOTAL	14	1.0816E+02		

COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R**2): 1.0000

Parâmetros da Regressão: A = 13,38; B1 = -0,512;
 B2 = 0,014; B3 = -2,606 x 10⁻⁴; B4 = 3,289 x 10⁻⁶;
 B5 = -2,386 x 10⁻⁸; B6 = 7,40 x 10⁻¹¹.

5 - CALOR ESPECÍFICO

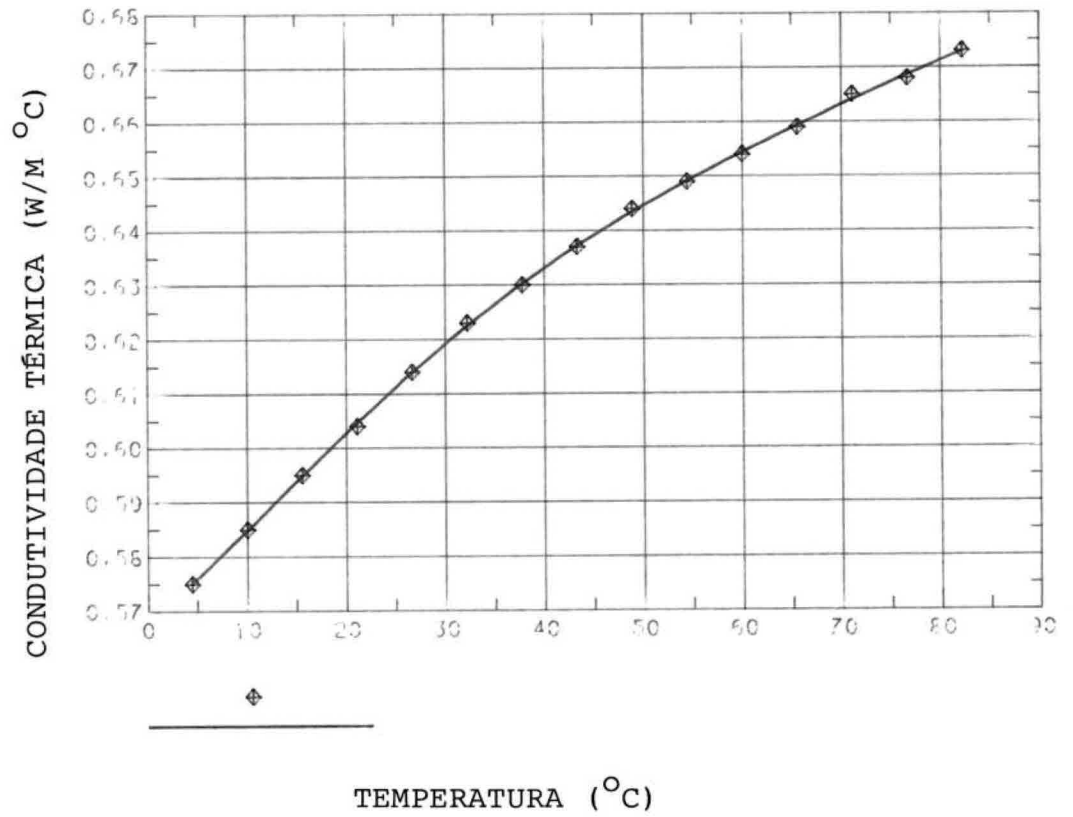


ANÁLISE DE VARIÂNCIA

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
REGRESSÃO	4	1.4366E+03	3.5914E+02	397.22
RESÍDUO	10	9.0414E+00	9.0414E-01	
TOTAL	14	1.4456E+03		

Parâmetros da Regressão: A = 4.222,14; B1 = -3,517;
 B2 = 0,0875; B3 = 9,057 x 10⁻⁴; B4 = 3,805 x 10⁻⁶.

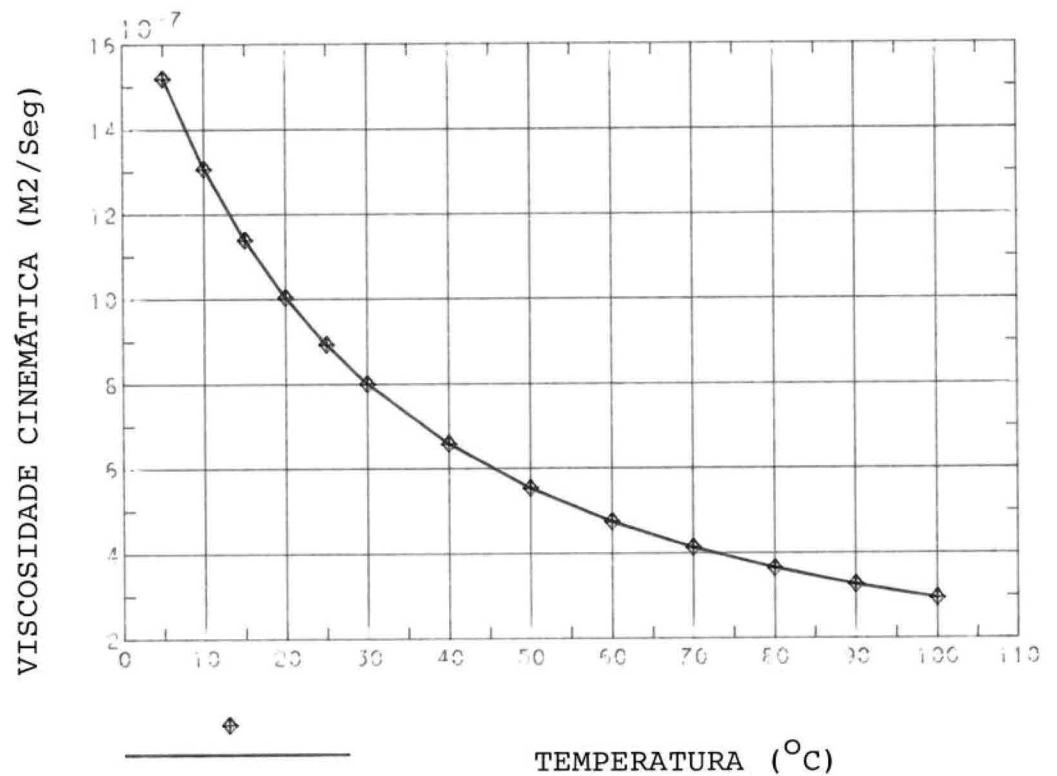
6 - CONDUTIVIDADE TÉRMICA



ANÁLISE DE VARIÂNCIA

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
REGRESSÃO	5	1.3753E-02	2.7505E-03	9226.92
RESÍDUO	9	2.6829E-06	2.9810E-07	
TOTAL	14	1.3755E-02		

Parâmetros da Regressão: A = 0,568; B1 = 0,00145;
 B2 = 2,991 x 10⁻⁵; B3 = -1,023 x 10⁻⁶; B4 = 1,127 x 10⁻⁸;
 B5 = -4,349 x 10⁻¹¹.

7 - VISCOSIDADE CINEMÁTICAANÁLISE DE VARIÂNCIA

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
REGRESSÃO	6	1.9125E-12	3.1875E-13	*****
RESÍDUO	6	3.5870E-18	5.9783E-19	
TOTAL	12	1.9125E-12		

COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R**2): 1.0000

Parâmetros da Regressão: A1 = 1,786 x 10⁻⁶; B1 = 1,446 x 10⁻⁸; B2 = 1,44 x 10⁻⁹; B3 = -2,44 x 10⁻¹¹; B4 = 2,62 x 10⁻¹³; B5 = 1,568 x 10⁻¹⁵; B6 = 3,945 x 10⁻¹⁸.

APÊNDICE C

	<u>Pág.</u>
Tabela de Dados Experimentais (Totalizações e Médias Diárias) FONTE: Gill (1987)	C.2
Folha de Dados Experimentais FONTE: Anhalt (1987)	C.6
Tabela de Dados Experimentais (Médias Horárias)	

TABELA 1

DADOS EXPERIMENTAISN_A Tabela 1:I_T = Radiação SolarT_{amb} = Temperatura AmbienteC_t = Consumo de Água QuenteE_T = Consumo de Energia Elétrica \bar{T} = Temperatura Média do Tanque

Dia	I _T (KWh/m ²)	T _{amb} (°C)	C _t (KWh)	Sistema I		Sistema II		Sistema III		Sistema IV	
				E _T (KWh)	\bar{T} (°C)	E _T (KWh)	\bar{T} (°C)	E _T (KWh)	\bar{T} (°C)	E _T (KWh)	\bar{T} (°C)
01	1.645	21.6	3.269	2.56	45.0						
02	4.890	18.2	3.548	4.90	46.6						
03	1.892	18.7	3.623	6.24	45.6						
04	5.355	22.7	3.366	5.44	47.1						
05	7.066	27.4	3.053	1.12	53.3	0.00	64.2				
06	6.372	29.1	3.074	0.00	54.5	0.00	68.8				
07	3.986	25.7	3.017	0.00	48.8	0.00	63.3				
08	3.890	26.0	3.020	0.00	36.6	0.00	60.8				
09	1.385	23.6	3.181	0.00	29.2	0.00	53.8				
10	6.219	25.7	2.391	2.08	50.6	0.27	58.8				
11	5.313	22.3	3.117	2.24	47.1	0.00	59.6				
12	5.996	23.3	3.096	2.40	48.3	0.00	63.3				
13	3.744	21.1	3.332	4.32	45.6	0.14	56.8				
14	4.865	22.4	3.155	3.52	47.1	0.00	54.2				
15	7.145	26.8	2.960	1.92	51.7	0.00	61.3				
16	6.674	29.4	2.875	0.00	53.8	0.00	67.9				
17	6.496	27.5	2.097	0.00	52.1	0.00	65.0				
18	1.811	17.8	3.397	5.44	45.0	0.27	56.7				
19	1.820	20.7	3.352	6.40	45.00	2.58	47.9				
20	4.575	25.9	3.150	3.60	47.5	1.90	55.0				
21	6.257	24.8	3.093	2.40	46.9	0.00	56.3				
22	7.473	19.6	3.227	2.40	47.5	0.00	62.1				
23	7.540	21.7	3.164	2.24	49.6	0.00	65.0				
24	6.268	21.8	3.162	2.56	47.5	0.00	63.3				

Tabela 1 - Continuação

Dia	J_1 (KWh/m ²)	T_{amb} (°C)	C_1 (KWh)	Sistema I		Sistema II		Sistema III		Sistema IV	
				I_1 (KWh)	T_1 (°C)	I_2 (KWh)	T_2 (°C)	I_3 (KWh)	T_3 (°C)	I_4 (KWh)	T_4 (°C)
25	4.422	21.5	3.247	3.68	45.4	0.00	60.4				
26	7.205	24.1	3.126	3.32	51.5	0.00	59.6				
27	6.853	27.4	3.075	0.64	51.0	0.00	64.6				
28	6.470	28.0	2.976	0.48	50.4	0.00	66.3				
29	6.207	28.0	2.902	0.64	51.7	0.00	68.8				
30	6.955	29.8	2.748	0.32	53.3	0.00	66.8				
31	6.745	30.4	2.646	0.00	54.2	0.00	69.2				
32	6.350	27.4	2.780	0.00	54.2	0.00	69.6				
33	5.548	29.3	2.697	0.32	48.8	0.00	66.7				
34	2.044	25.1	2.869	1.76	45.4	0.00	63.8				
35	3.317	24.4	2.912	0.00	38.3	0.00	52.5				
36	5.574	25.8	2.703	0.00	36.7	0.00	52.9				
37	6.950	28.3	2.630	0.00	46.3	0.00	62.1				
38	5.465	26.3	2.856	0.00	47.9	0.00	65.0				
39	1.121	16.5	3.296	0.00	39.2	0.00	62.1				
40	2.202	16.9	3.404	0.00	36.3	0.00	45.8				
41	3.122	18.8	3.374	9.28	42.1	7.34	52.8				
42	6.956	21.5	3.293	4.80	47.9	0.00	50.0				
43	7.033	24.9	3.152	3.04	49.6	0.00	58.3				
44	7.163	28.4	3.019	1.92	51.7	0.00	63.3				
45	6.757	28.3	2.951	0.64	51.7	0.00	66.3				
46	6.663	29.2	2.913	0.64	51.3	0.00	67.9	0.00	59.2		
47	6.786	31.4	2.781	0.48	50.8	0.00	67.1	0.00	63.5		
48	6.097	30.9	2.718	0.32	52.5	0.00	67.5	0.15	66.3		
49	6.346	29.0	2.723	0.48	51.7	0.00	65.8	0.00	61.7		
50	0.059	31.3	2.625	0.00	51.7	0.00	65.8	0.00	63.5		
51	0.046	28.8	2.800	0.32	50.8	0.00	65.0	0.00	65.4		
52	4.516	26.7	2.709	0.00	50.0	0.00	60.0	0.00	56.3		
53	3.845	26.7	2.733	0.00	46.3	0.00	48.3	0.00	52.1		
54	4.271	30.4	2.621	3.04	49.6	0.00	62.1	1.50	51.7		
55	2.980	26.4	2.728	0.00	47.1	0.00	47.5	0.00	50.0		
56	4.608	29.8	2.647	2.40	49.2	5.92	54.6	1.20	52.1		
57	4.169	25.7	2.777	2.40	50.4	2.72	52.5	1.20	53.8		

C.4

Tabela 1 - Continuação

Dia	λ_t (KWh/m ²)	T_{amb} (°C)	C_t (KWh)	Sistema I		Sistema II		Sistema III		Sistema IV	
				L_t (KWh)	\bar{T} (°C)	L_t (KWh)	\bar{T} (°C)	L_t (KWh)	\bar{T} (°C)	L_t (KWh)	\bar{T} (°C)
58	4.696	28,6	2,647	1,44	48,8	0,00	47,9	0,00	50,0		
59	1,922	24,6	2,748	2,56	45,4	2,88	52,4	0,00	43,8		
60	1,255	19,7	3,060	4,48	46,7	3,04	55,0	5,15	58,8		
61	6,115	28,1	2,740	3,52	51,3	5,28	57,5	3,15	62,5		
62	5,590	28,7	2,750	0,32	51,7	0,00	48,8	0,00	60,0		
63	5,920	28,9	2,652	0,48	50,4	2,24	52,9	0,60	58,3		
64	5,037	28,2	2,576	0,48	50,0	0,00	54,5	0,00	58,8		
65	4,671	29,1	2,548	1,28	49,2	0,00	49,6	0,00	55,8		
66	4,526	28,4	2,567	0,00	50,8	2,40	61,3	0,00	56,7		
67	2,337	24,2	0,772	1,76	45,6	0,00	52,5	0,00	46,3		
68	5,021	29,1	2,569	3,52	49,6	2,88	60,4	3,15	62,1		
69	1,959	23,2	2,779	1,28	45,8	0,00	49,7	0,00	44,6		
70	3,296	23,9	2,751	3,52	45,8	4,48	62,9	3,15	55,0		
71	5,880	27,2	2,613	3,04	50,4	2,56	61,3	1,05	53,3		
72	3,552	24,7	2,773	1,12	43,8	0,00	50,0	0,00	51,7		
73	2,854	21,9	2,926	3,84	46,3	2,56	60,0	1,65	47,5		
74	3,524	22,4	2,942	3,84	44,6	2,88	60,8	3,45	58,3		
75	1,785	21,2	3,069	3,84	45,8	2,56	59,6	2,25	45,4		
76	2,211	20,7	3,172	5,12	46,7	4,64	61,7	3,15	51,7		
77	2,362	22,5	3,058	4,96	45,8	3,20	60,0	3,75	51,7		
78	4,319	26,2	2,846	3,33	47,9	4,32	62,5	3,15	56,3		
79	2,725	21,8	3,035	2,40	45,4	2,56	57,5	0,00	44,6		
80	2,065	22,0	3,067	4,48	45,8	2,56	60,0	3,15	49,6		
81	5,839	26,1	2,797	3,20	50,0	4,32	63,8	3,45	59,2		
82	6,505	29,1	2,649	0,64	52,9	0,00	53,8	0,00	59,6		
83	5,505	28,2	2,701	0,00	53,3	0,00	53,8	0,00	56,7		
84	1,646	24,7	2,878	0,00	42,1	0,00	50,0	0,00	48,3		
85	2,788	25,0	2,878	4,16	44,6	4,48	63,3	3,15	52,5		
86	6,024	27,2	2,731	2,88	50,4	2,56	60,4	3,45	63,8		
87	6,788	29,7	2,585	0,00	53,8	0,00	53,8	0,00	62,1		
88	6,416	29,8	2,543	0,00	55,0	0,00	54,6	0,00	65,8		
89	6,344	30,7	2,513	0,00	55,0	0,00	55,0	0,00	65,4		

Tabela 1 - Conclusão

Dia	I_t (KWh/m ²)	T_{amb} (°C)	C_t (KWh)	Sistema I		Sistema II		E_t (KWh)	Sistema III		Sistema IV	
				L_t (KWh)	T (°C)	L_t (KWh)	T (°C)		E_t (KWh)	T (°C)	E_t (KWh)	T (°C)
90	6.728	30.4	2.497	0.00	54.6	0.00	55.0	0.00	66.7	1.50	75.8	
91	5.990	29.3	2.513	0.00	52.5	0.00	54.7	0.00	65.4	0.00	71.5	
92	6.554	30.8	2.420	0.32	52.1	0.00	55.4	0.00	64.2	0.00	72.1	
93	6.737	31.2	2.359	0.16	52.1	0.00	54.2	0.00	62.9	0.00	71.5	
94	5.592	28.6	2.414	0.64	51.3	0.00	57.1	0.00	60.4	0.00	67.9	
95	3.644	26.0	2.564	0.00	47.9	0.00	52.9	0.00	57.5	0.00	64.6	
96	4.758	25.8	2.569	2.47	49.2	0.00	50.8	0.00	54.2	1.98	65.0	
97	5.495	25.7	2.576	0.00	49.2	0.00	49.6	0.00	54.2	0.00	61.7	
98	5.680	24.9	2.615	1.14	50.8	0.00	50.4	0.00	56.7	1.62	57.5	
99	5.736	24.9	2.638	0.95	51.3	0.00	52.5	0.00	57.5	1.80	54.2	
100	6.876	27.7	2.563	1.14	52.5	0.00	53.8	0.00	58.8	1.98	55.4	
101	4.543	29.7	2.603	0.00	52.5	0.00	55.4	0.00	60.8	0.00	49.2	
102	2.863	26.1	2.662	1.71	45.8	0.00	46.7	0.00	51.3	4.50	50.4	
103	1.451	26.0	0.778	0.00	40.6	0.00	46.3	1.50	43.6	0.00	35.6	
104	1.445	24.5	2.789	0.00	40.4	0.00	48.3	0.00	42.1	0.00	32.1	
105	2.120	25.0	2.761	6.46	45.0	5.30	50.4	3.33	41.3	9.06	45.0	
106	2.714	25.1	2.775	3.61	44.6	2.40	61.7	3.40	55.4	2.88	61.3	
107	1.951	22.9	2.828	4.37	44.6	2.70	60.8	3.40	55.8	5.04	64.2	
108	2.073	22.5	2.885	4.75	45.0	2.85	61.3	3.74	54.6	4.50	64.2	
109	3.523	25.4	2.775	3.99	45.0	3.60	58.3	3.40	55.0	2.70	55.8	
110	3.529	26.5	2.719	3.04	46.7	2.85	54.2	1.02	48.6	2.88	52.1	
111	6.566	28.9	2.559	3.04	52.5	2.25	55.4	1.19	55.4	3.60	58.3	
112	3.803	25.0	2.741	0.00	52.1	0.30	54.2	0.00	59.6	0.00	51.3	
113	4.656	26.9	2.668	0.57	47.1	1.20	50.0	0.00	54.6	3.24	55.0	
114	2.174	25.8	2.785	2.47	45.4	1.05	50.4	0.00	47.1	2.70	45.0	
115	3.963	27.3	2.701	0.19	47.9	0.75	49.6	0.00	56.3	0.00	48.3	
116	4.824	27.8	2.639	2.28	51.3	1.65	49.6	0.00	53.3	2.88	52.1	
117	6.576	28.4	2.547	0.76	54.6	1.05	52.5	0.34	61.3	2.70	55.8	
118	5.314	26.9	2.101	6.00	58.1	0.00	53.8	0.00	68.1	0.00	60.0	
119	2.062	20.0	2.848	0.57	45.8	0.45	52.9	0.00	52.1	3.06	47.5	
120	2.524	20.8	2.967	5.51	45.0	2.25	48.3	4.76	56.3	6.48	47.9	
121	5.875	22.3	2.889	3.80	50.0	2.85	47.1	3.57	62.9	3.60	53.3	
122	4.583	24.5	2.858	0.76	46.7	1.20	46.7	0.00	56.7	2.52	51.7	

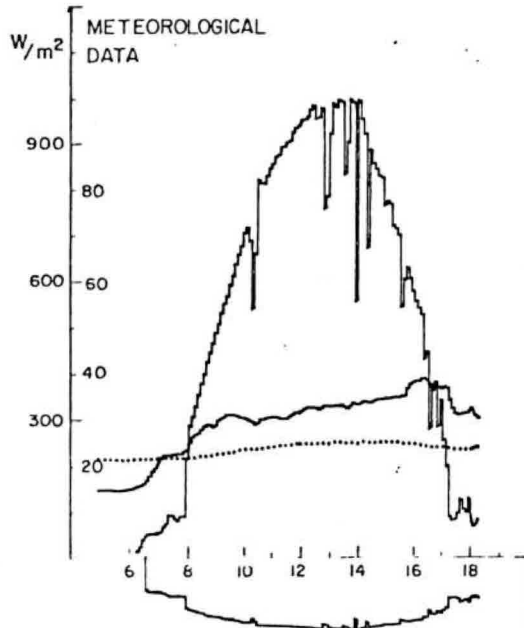


MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

SOLAR ENERGY LABORATORY
DEPARTMENT OF ENERGY

DIA 46

Day : 18/11/86



Radiation tot. [kwh/m2] : 6.663
 avg. [kwh/m2] : 0.503

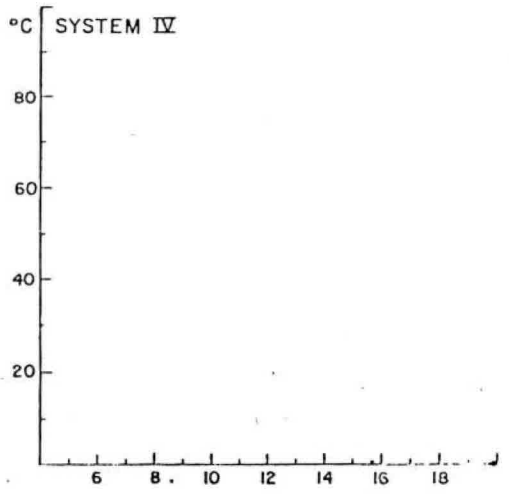
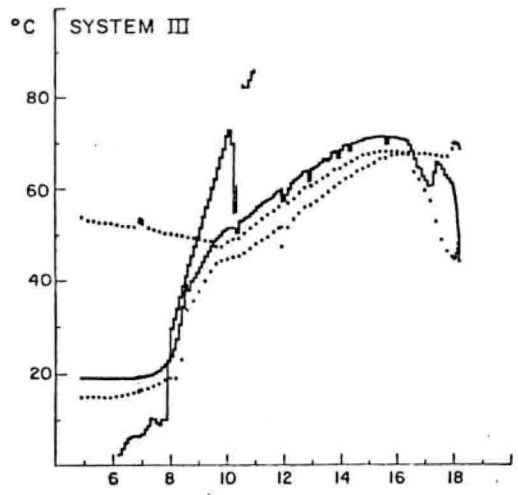
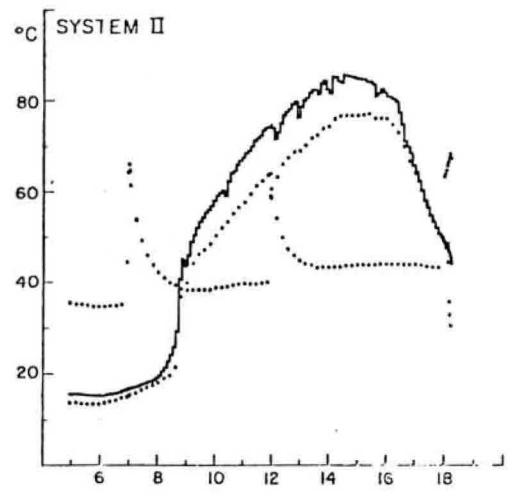
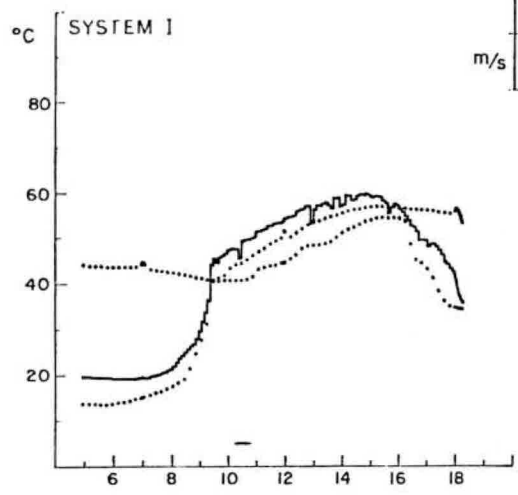
Load [kwh] 7 AM : 0.588
 12 AM : 0.265
 6 PM : 2.059

Total : 2.913

Aux. 1 : 0.640
 2 : 0.000
 Heater [kwh] 3 : 0.000
 4 : 0.000

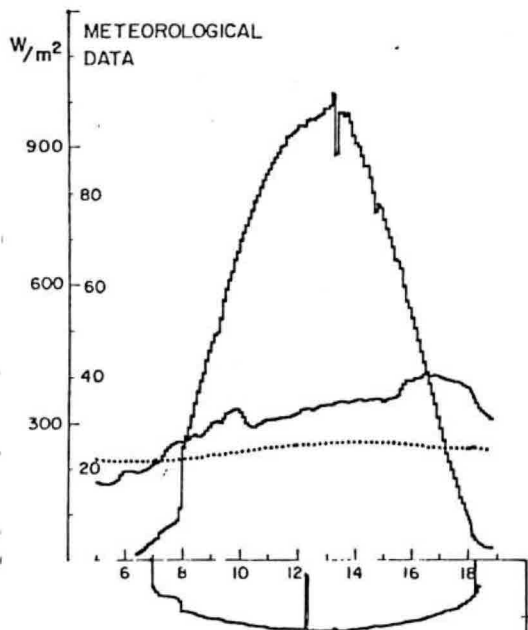
Amb. Temperature [$^{\circ}C$]
 avg.: 29.2 max: 39.5 min: 14.6

Wind [m/s] % of day
 1-4 : 90 4-7 : 0 over 7 : 0





SOLAR ENERGY LABORATORY
DEPARTMENT OF ENERGY



Day : 19/11/86

Radiation tot. [kwh/m2] : 6.786
avg. [kw/m2] : 0.511

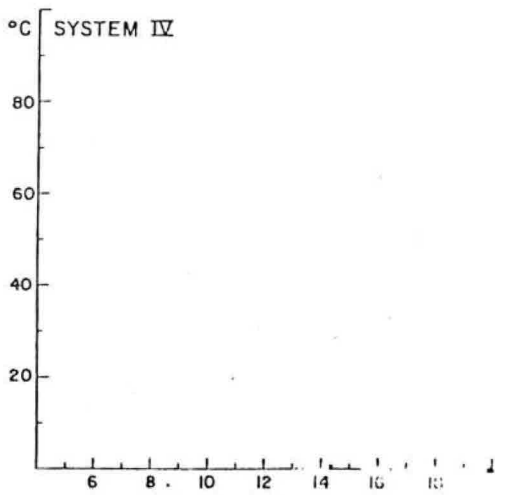
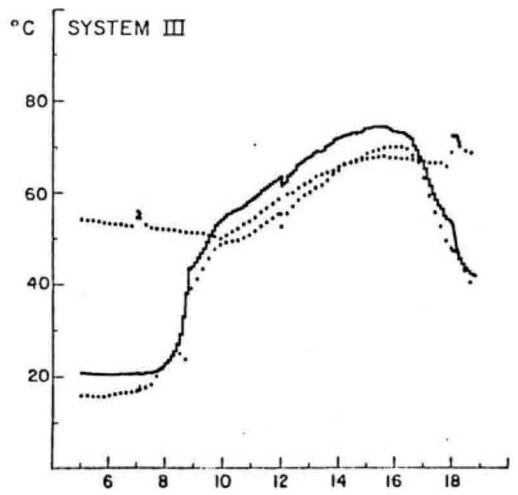
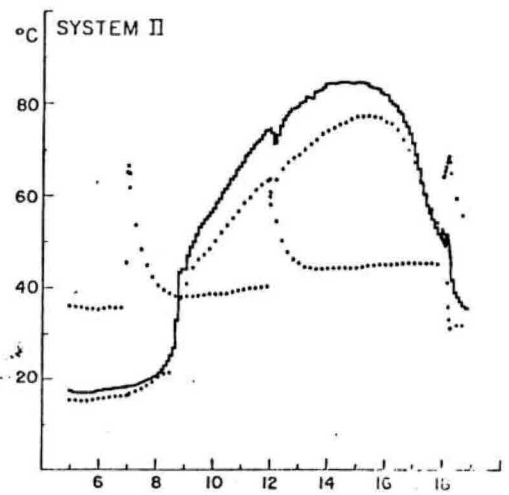
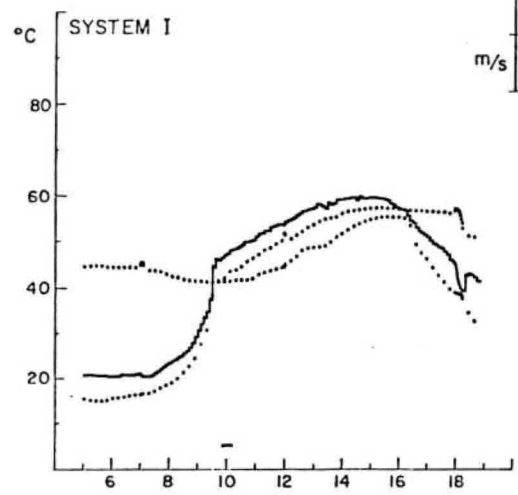
Load [kwh] 7 AM : 0.582
12 AM : 0.255
6 PM : 1.944

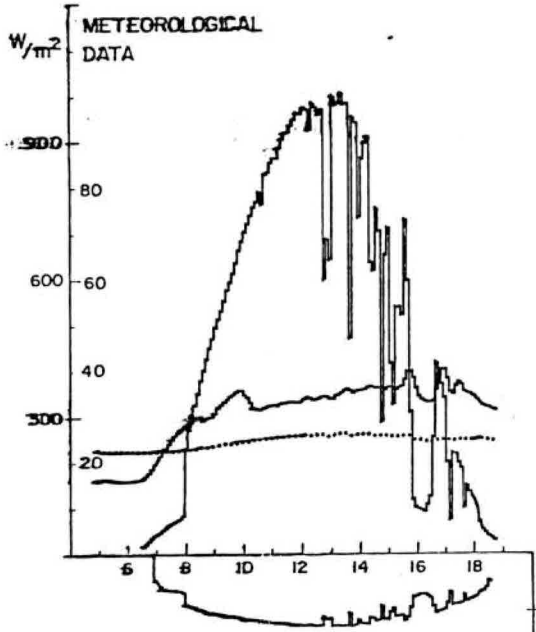
Total : 2.781

Aux. 1 : 0.480
Heater [kwh] 2 : 0.000
3 : 0.000
4 : 0.000

Amb. Temperature [C]
avg. : 31.4 max: 41.1 min: 16.6

Wind [m/s] % of day
1-4 : 84 4-7 : 0 over 7 : 0





Day : 20/11/86

Radiation tot. [kwh/m2] : 6.097
 avg. [kw/m2] : 0.458

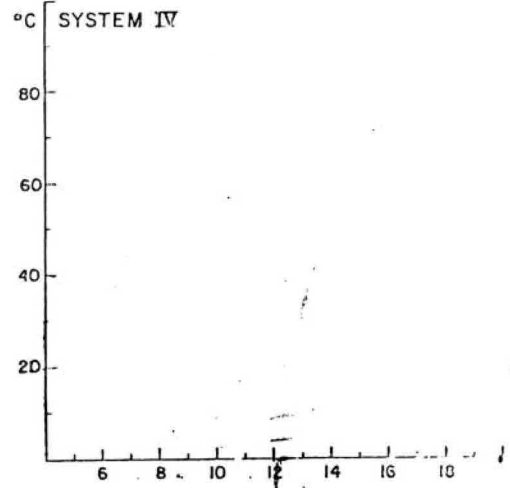
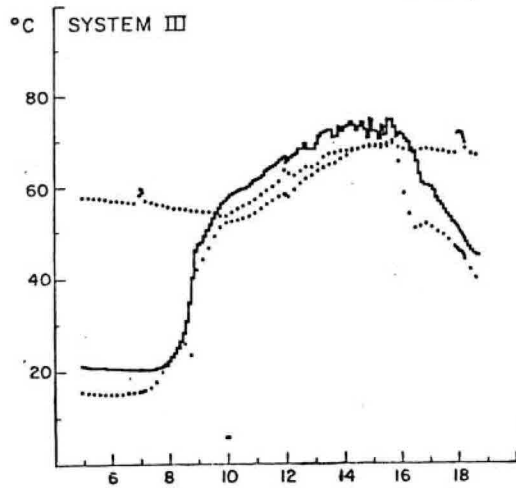
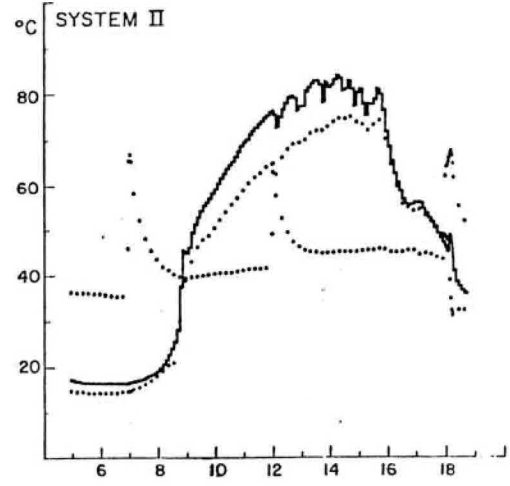
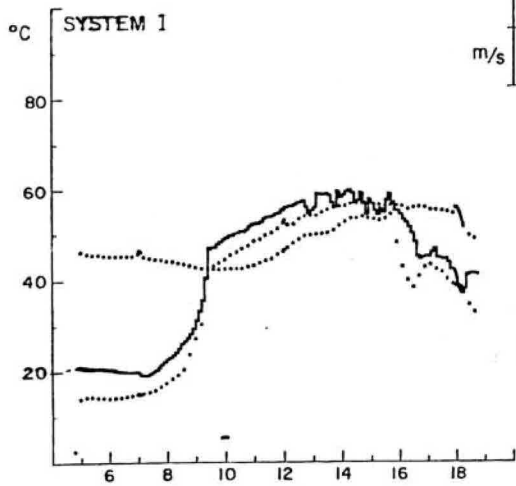
Load [kwh] 7 AM : 0.566
 12 AM : 0.246
 6 PM : 1.906

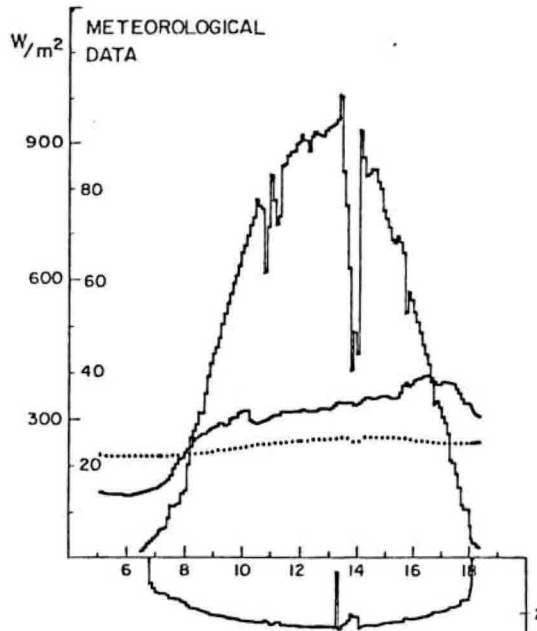
Total : 2.718

Aux. 1 : 0.320
 Heater [kwh] 2 : 0.000
 3 : 0.150
 4 : 0.000

Amb. Temperature [C]
 avg. : 30.9 max: 40.7 min: 15.6

Wind [m/s] % of day
 1-4 : 87 4-7 : 0 over 7 : 0





Day : 21/11/86

Radiation tot. [kwh/m2] : 6.346
 avg. [kw/m2] : 0.477

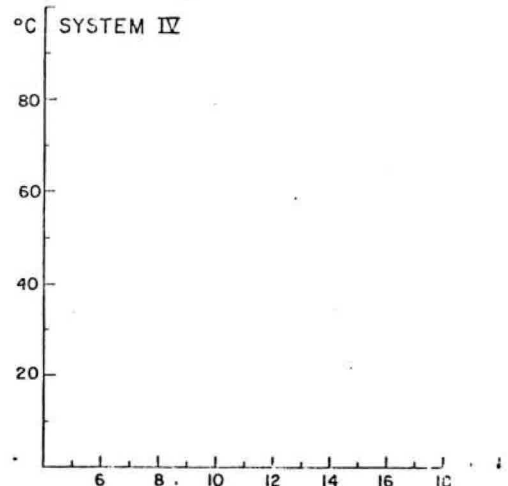
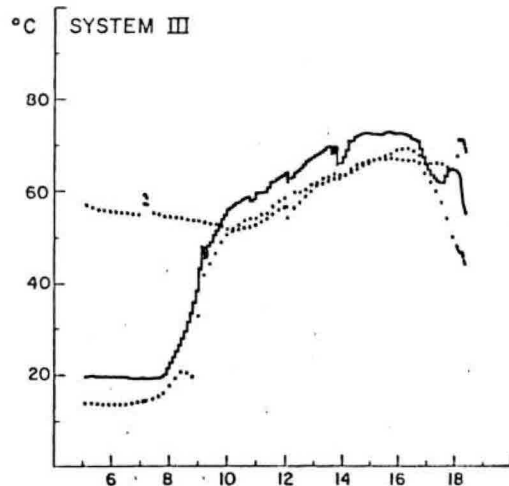
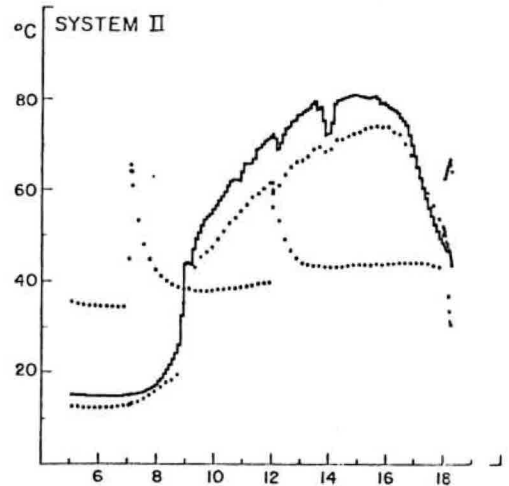
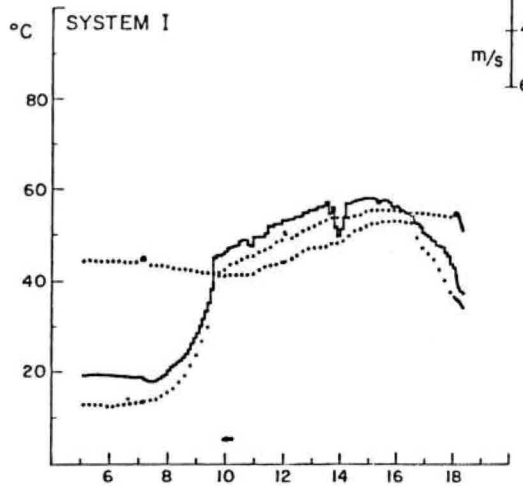
Load [kwh] 7 AM : 0.566
 12 AM : 0.251
 6 PM : 1.906

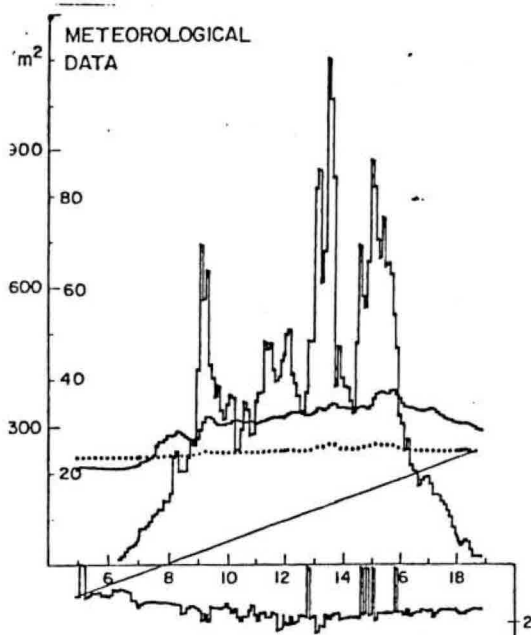
Total : 2.723

Aux. 1 : 0.480
 2 : 0.000
 Heater [kwh] 3 : 0.000
 4 : 0.000

Amb. Temperature [C]
 avg. : 29.0 max: 40.1 min: 13.8

Wind [m/s] % of day
 1-4 : 78 4-7 : 0 over 7 : 0





Day : 03/12/86

Radiation tot. [kwh/m²] : 4.271
 avg. [kwh/m²] : 0.318

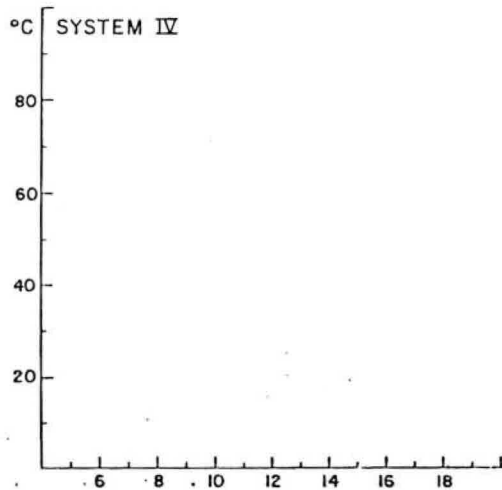
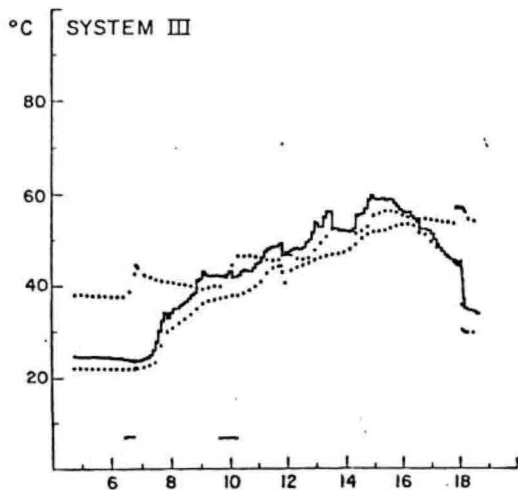
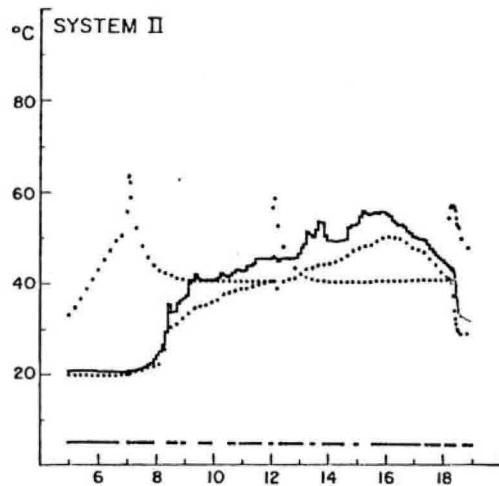
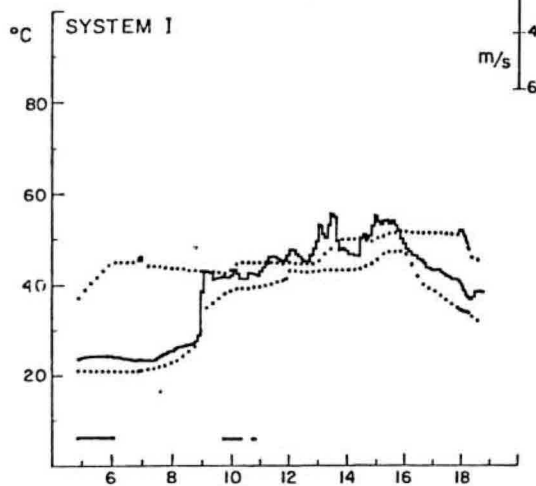
Load [kwh] 7 AM : 0.524
 12 AM : 0.255
 6 PM : 1.842

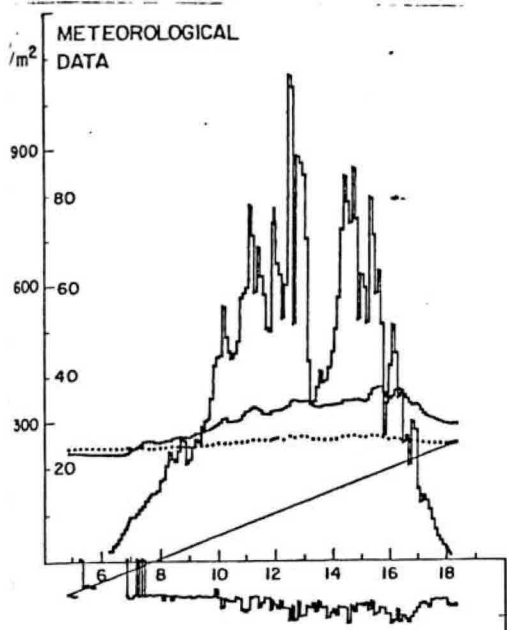
Total : 2.621

Aux. 1 : 3.040
 Heater [kwh] 2 : ~~7.920~~
 3 : 1.500
 4 : 0.000

Amb. Temperature [C]
 avg. : 30.4 max: 38.6 min: 21.0

Wind [m/s] % of day
 1-4 : 96 4-7 : 0 over 7 : 0





Day : 05/12/86

Radiation tot. [kwh/m2] : 4.608
 avg. [kw/m2] : 0.342

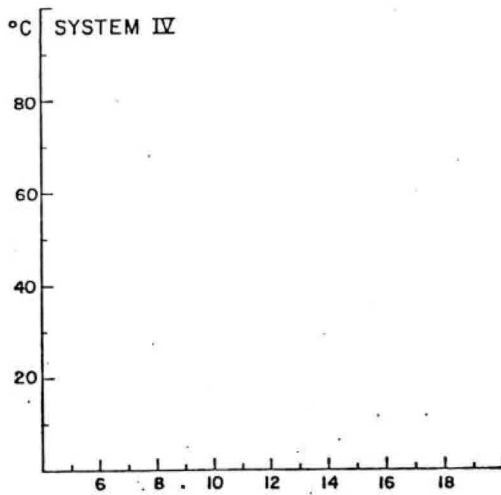
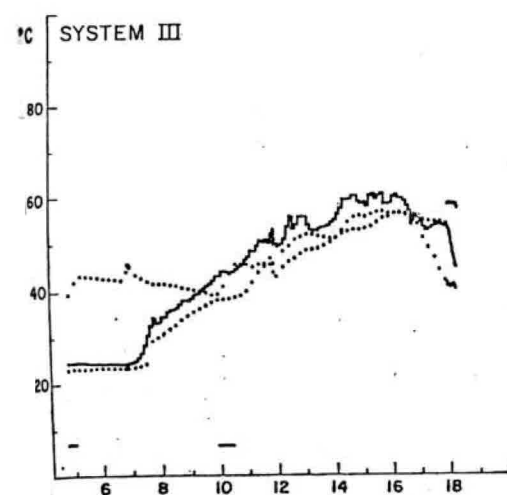
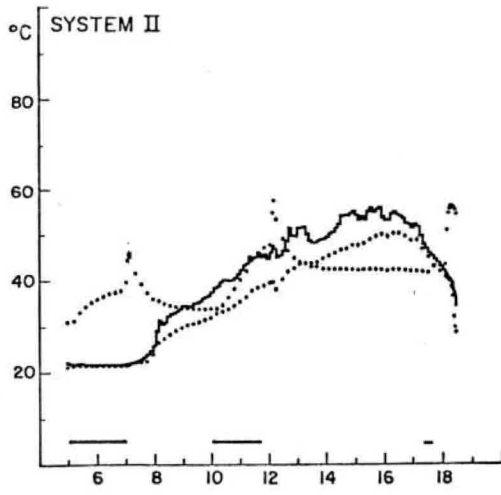
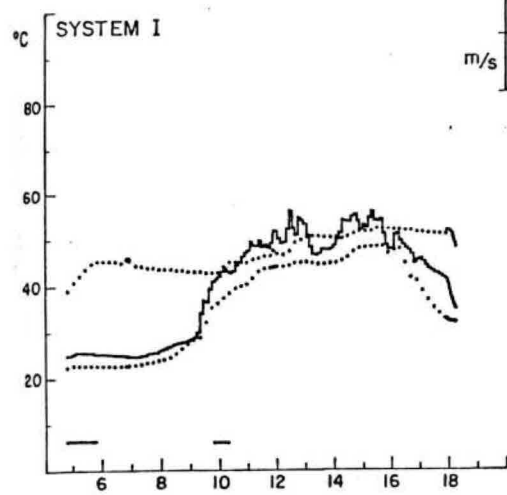
Load [kwh] 7 AM : 0.512
 12 AM : 0.242
 6 PM : 1.893

 Total : 2.647

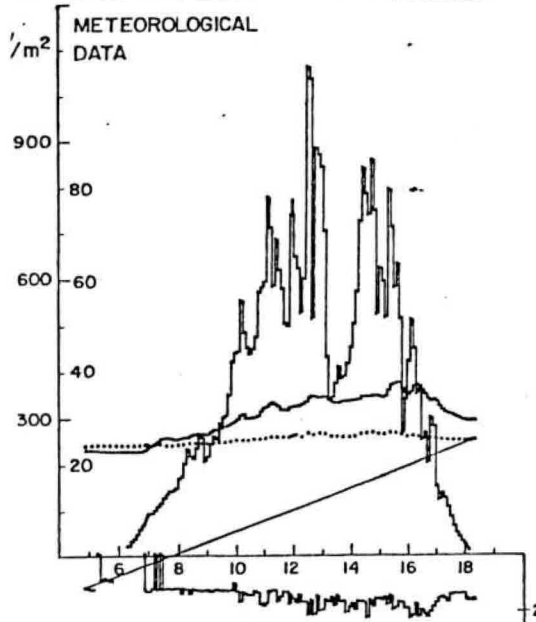
Aux. 1 : 2.400
 Heater [kwh] 2 : 5.920
 3 : 1.200
 4 : 0.000

Amb. Temperature [C]
 avg. : 29.8 max: 38.0 min: 22.5

Wind [m/s] % of day
 1-4 : 91 4-7 : 0 over 7 : 0



SOLAR ENERGY LABORATORY
DEPARTMENT OF ENERGY



Day : 05/12/86

Radiation tot. [kwh/m2] : 4.608
 avg. [kw/m2] : 0.342

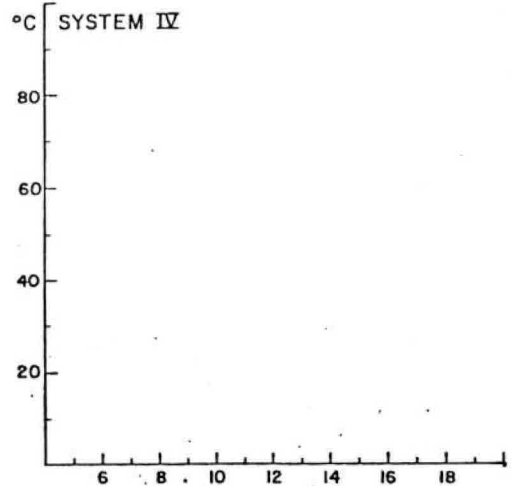
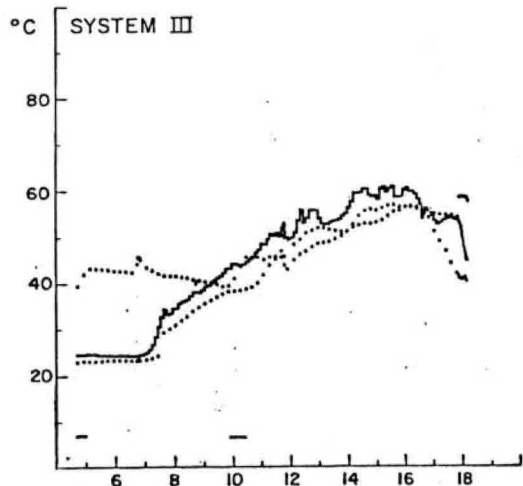
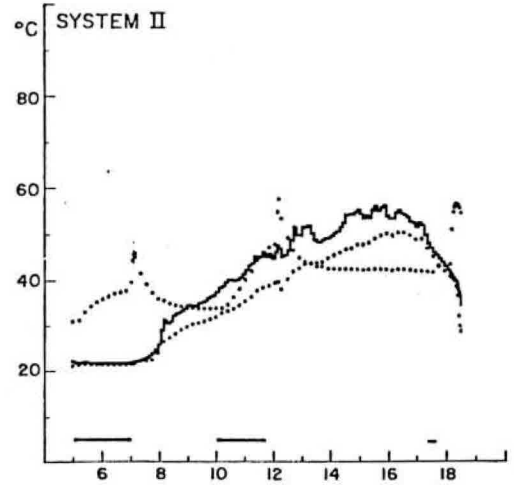
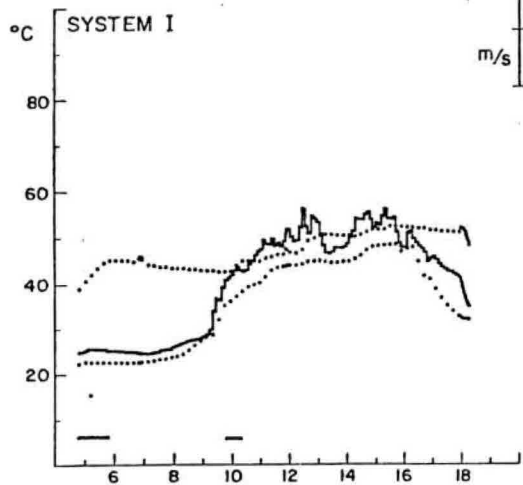
Load [kwh] 7 AM : 0.512
 12 AM : 0.242
 6 PM : 1.893

 Total : 2.647

Aux. 1 : 2.400
 Heater [kwh] 2 : 5.920
 3 : 1.200
 4 : 0.000

Amb. Temperature [C]
 avg. : 29.8 max: 38.0 min: 22.5

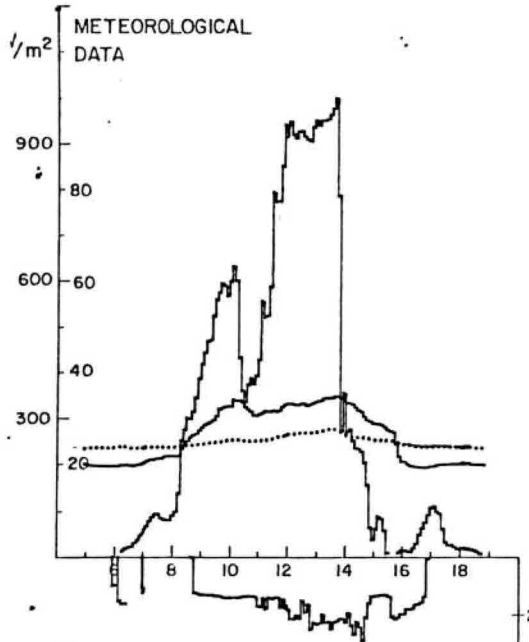
Wind [m/s] % of day
 1-4 : 91 4-7 : 0 over 7 : 0





MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

SOLAR ENERGY LABORATORY
DEPARTMENT OF ENERGY



Day : 06/12/86

Radiation tot. [kwh/m²] : 4.169
 avg. [kw/m²] : 0.310

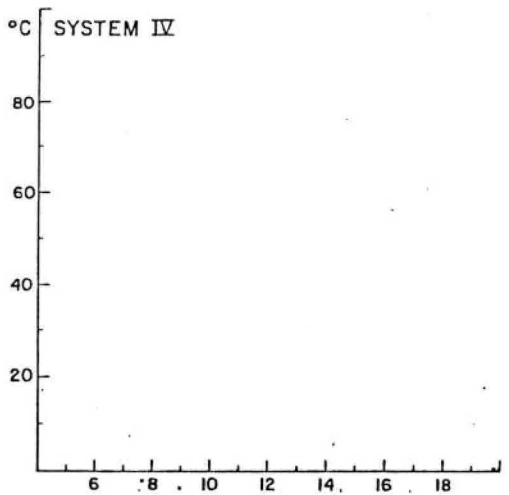
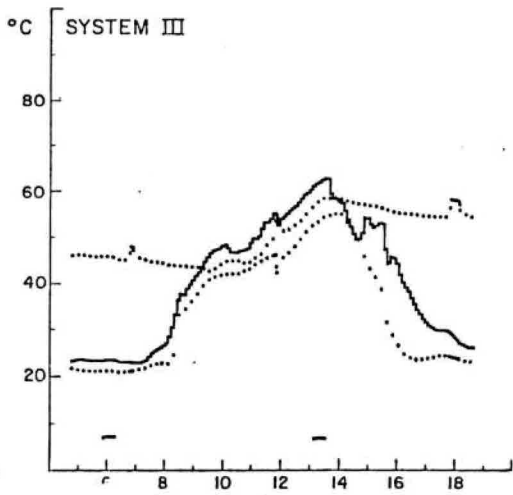
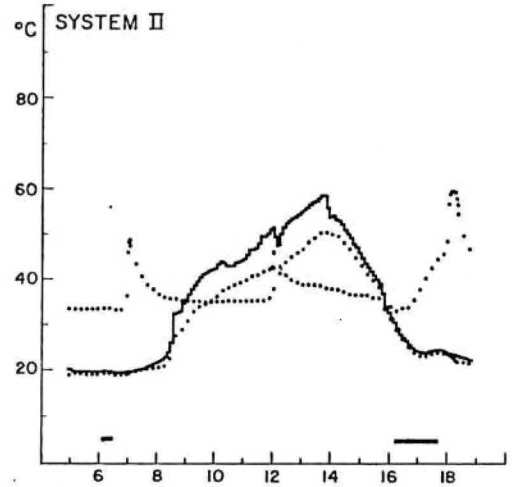
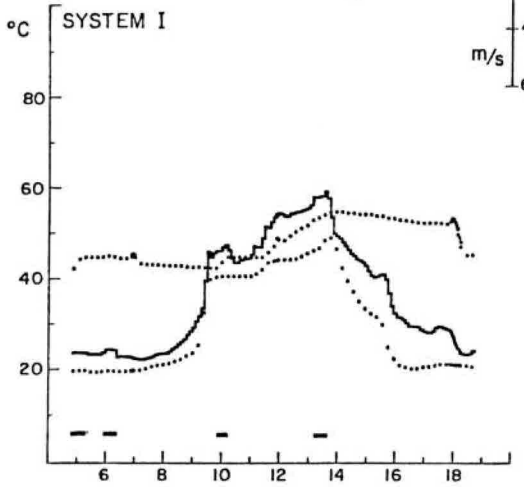
Load [kwh] 7 AM : 0.524
 12 AM : 0.232
 6 PM : 2.021

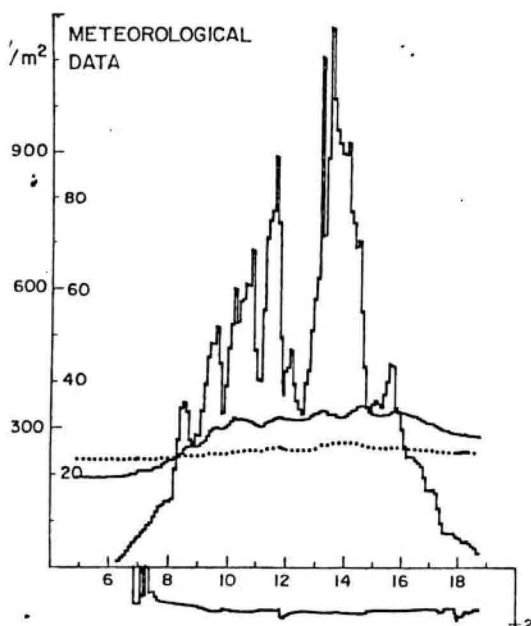
 Total : 2.777

Aux. 1 : 2.400
 Heater [kwh] 2 : 2.720
 3 : 1.200
 4 : 0.000

Amb. Temperature [C]
 avg. : 25.7 max: 35.3 min: 19.5

Wind [m/s] % of day
 1-4 : 55 4-7 : 0 over 7 : 0





Day : 07/12/86

Radiation tot. [kwh/m2] : 4.696
 avg. [kw/m2] : 0.349

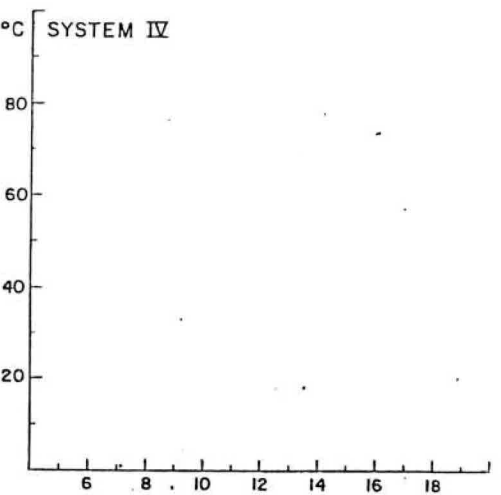
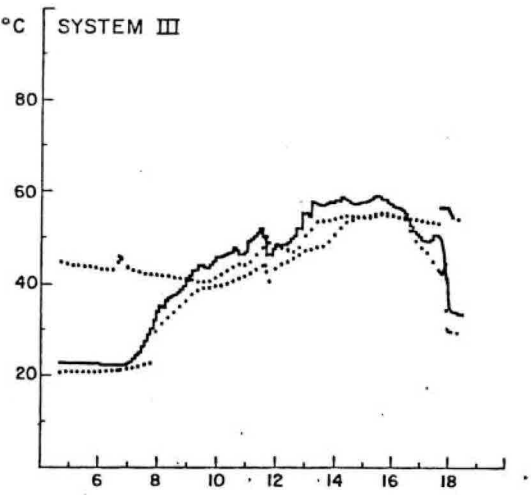
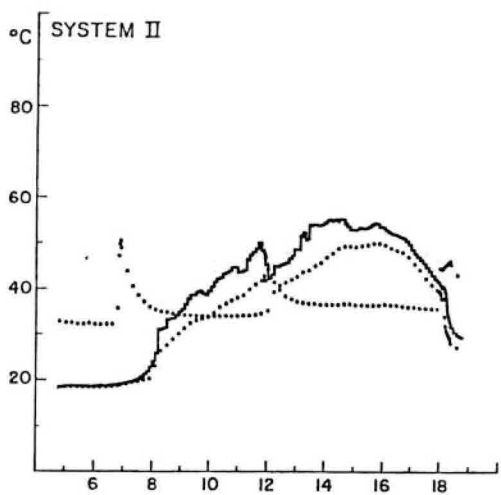
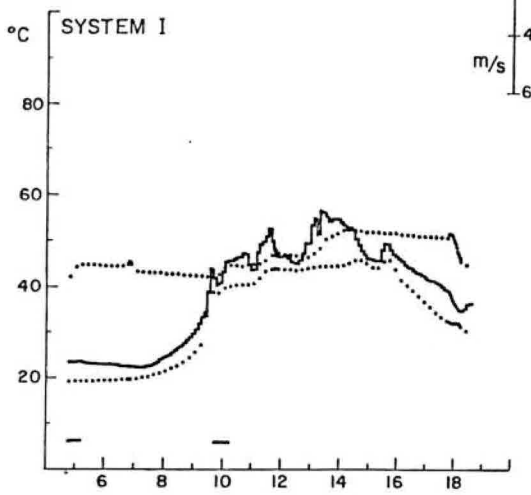
Load [kwh] 7 AM : 0.537
 12 AM : 0.242
 6 PM : 1.867

 Total : 2.647

Aux. 1 : 1.440
 Heater [kwh] 2 : 0.000
 3 : 0.000
 4 : 0.000

Amb. Temperature [C]
 avg.: 28.6 max: 35.4 min: 19.2

Wind [m/s] % of day
 1-4 : 87 4-7 : 0 over 7 : 0



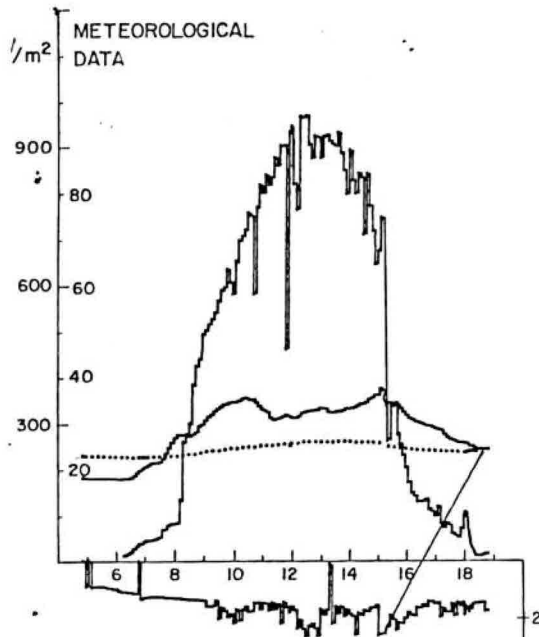


MINISTERIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

SOLAR ENERGY LABORATORY
DEPARTMENT OF ENERGY

62

Day : 11/12/86



Radiation tot. [kwh/m2] : 5.590
 avg. [kw/m2] : 0.410

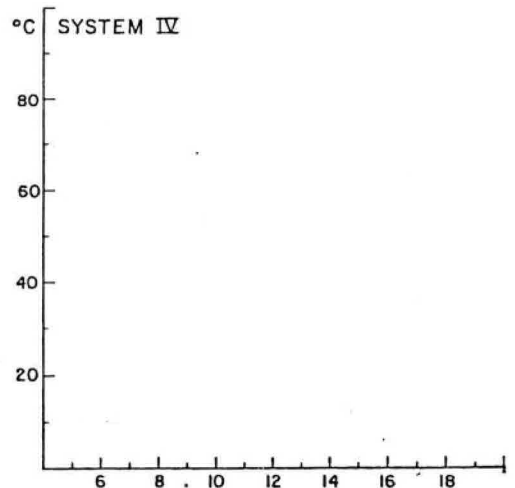
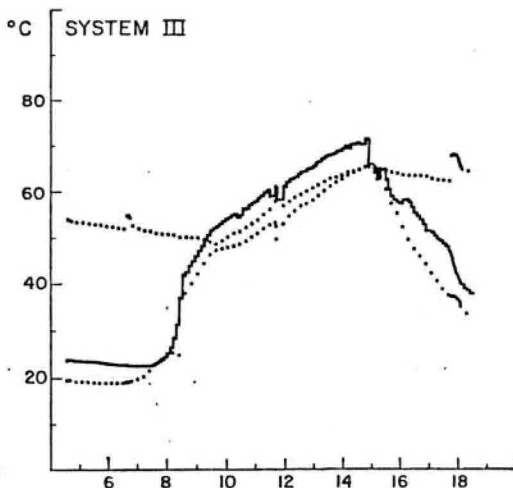
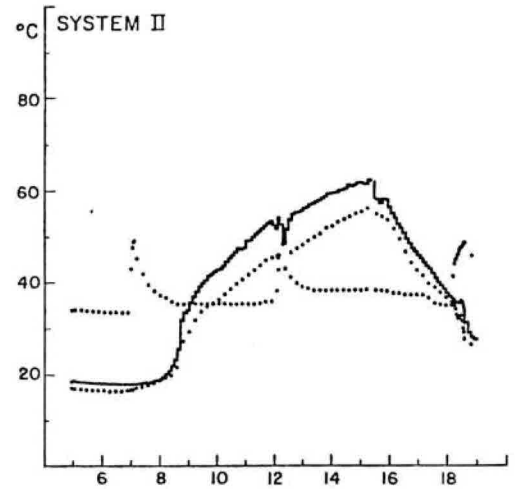
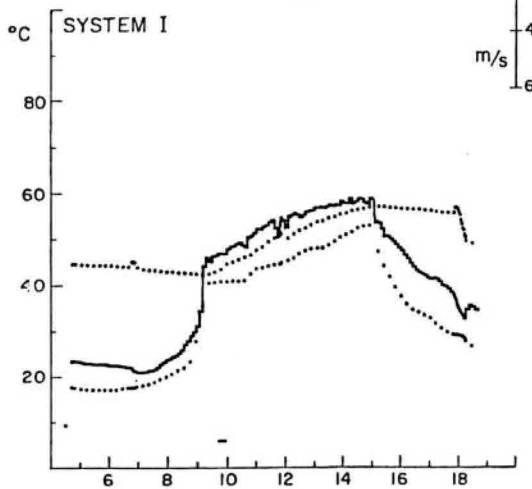
Load [kwh] 7 AM : 0.544
 12 AM : 0.260
 6 PM : 1.957

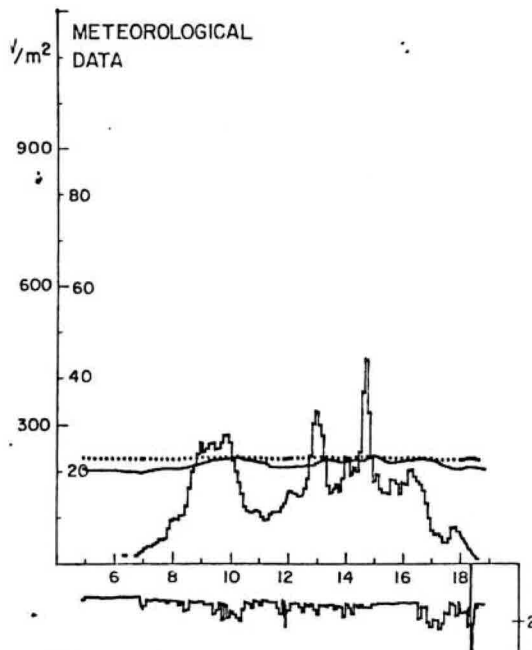
Total : 2.750

Aux. 1 : 0.320
 Heater [kwh] 2 : 0.000
 3 : 0.000
 4 : 0.000

Amb. Temperature [C]
 avg.: 28.7 max: 38.3 min: 18.1

Wind [m/s] % of day
 1-4 : 96 4-7 : 0 over 7 : 0





Day : 25/12/86

Radiation tot. [kwh/m2] : 1.785
 avg. [kw/m2] : 0.132

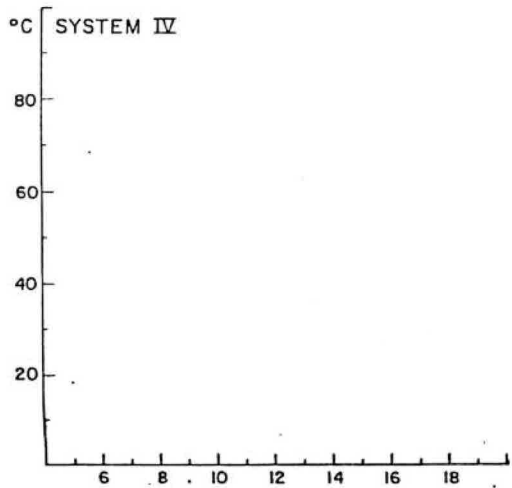
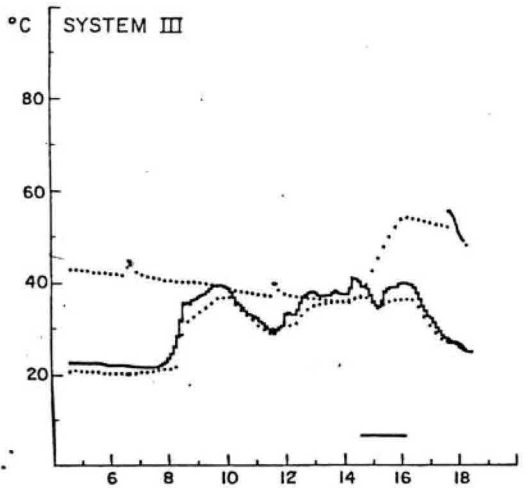
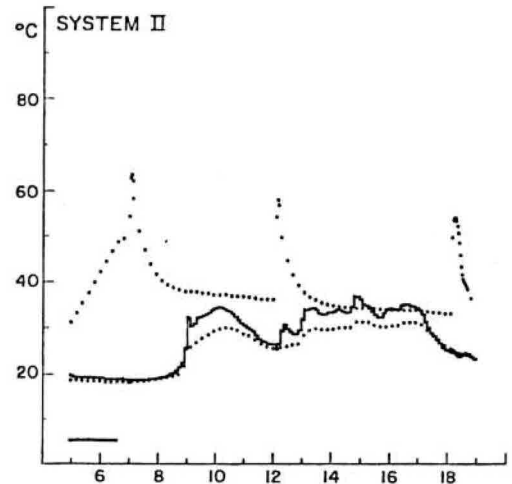
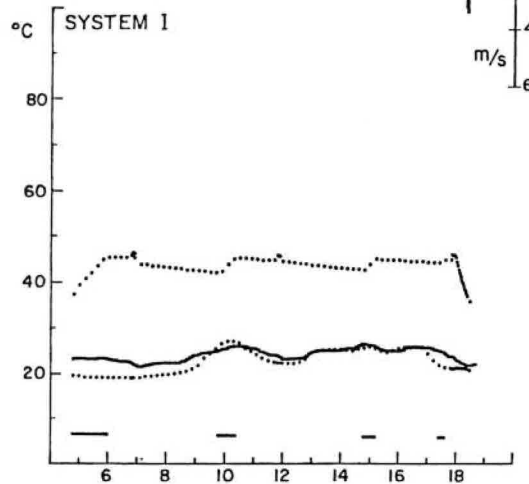
Load [kwh] 7 AM : 0.566
 12 AM : 0.303
 6 PM : 2.200

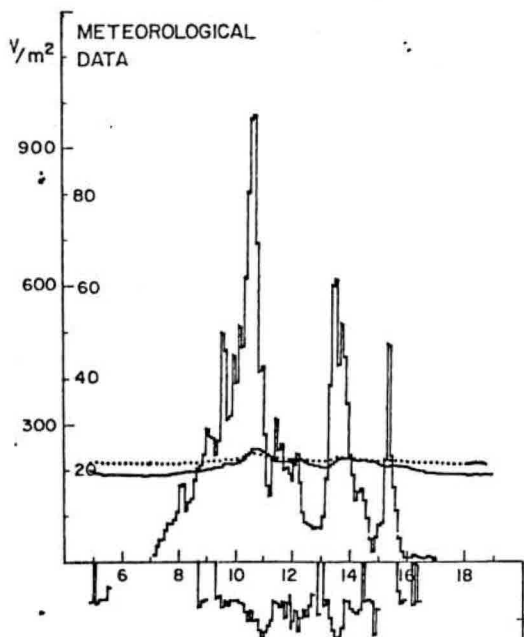
 Total : 3.069

Aux. 1 : 3.840
 Heater [kwh] 2 : 2.560
 3 : 2.250
 4 : 0.000

Amb. Temperature [C]
 avg. : 21.2 max : 23.4 min : 19.2

Wind [m/s] % of day
 1-4 : 99 4-7 : 1 over 7 : 0





Day : 26/12/86

Radiation tot. [kwh/m2] : 2.211
 avg. [kw/m2] : 0.164

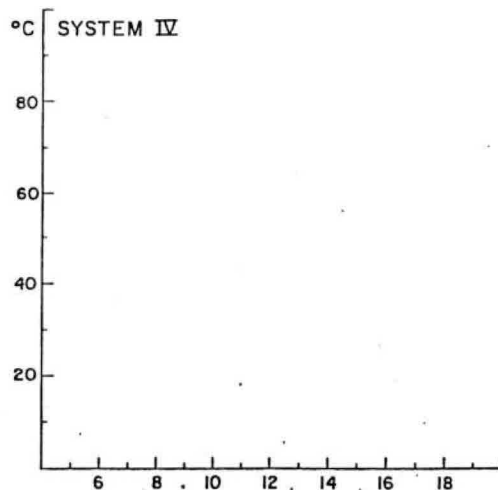
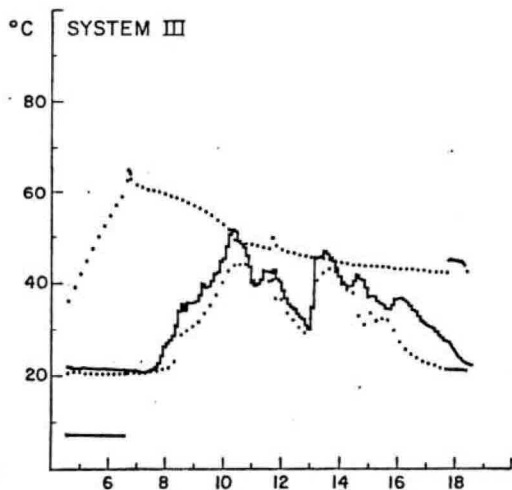
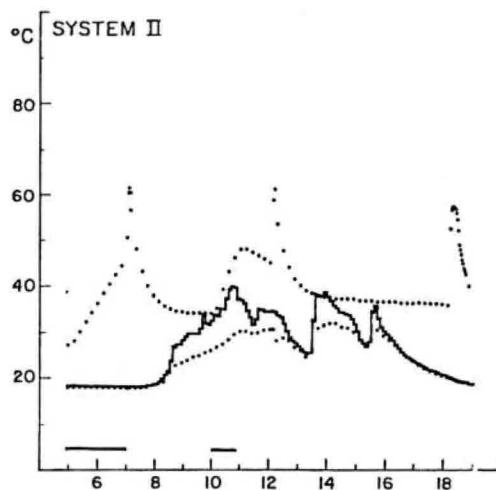
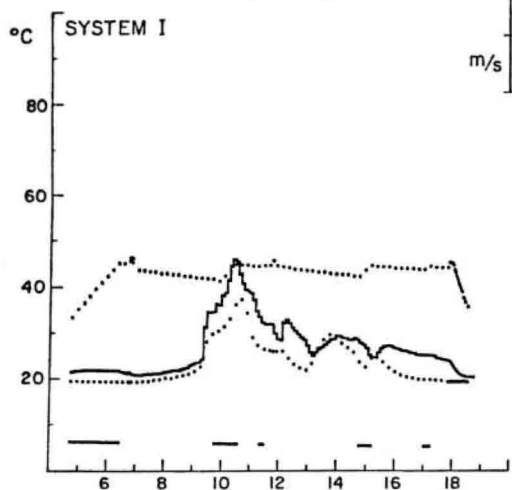
Load [kwh] 7 AM : 0.595
 12 AM : 0.300
 6 PM : 2.277

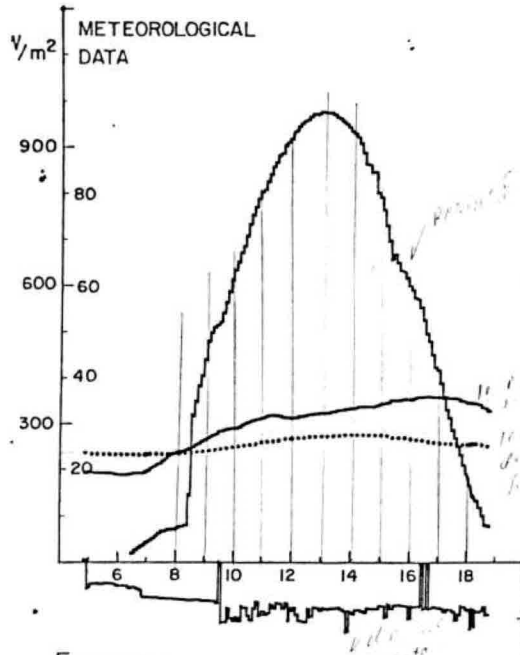
 Total : 3.172

Aux. 1 : 5.120
 Heater [kwh] 2 : 4.640
 3 : 3.150
 4 : 0.000

Amb. Temperature [C]
 avg. : 20.7 max: 25.1 min: 18.7

Wind [m/s] % of day
 1-4 : 40 4-7 : 0 over 7 : 0





Day : 06/01/87

Radiation tot. [kwh/m2] : 6.788
 avg. [kw/m2] : 0.505

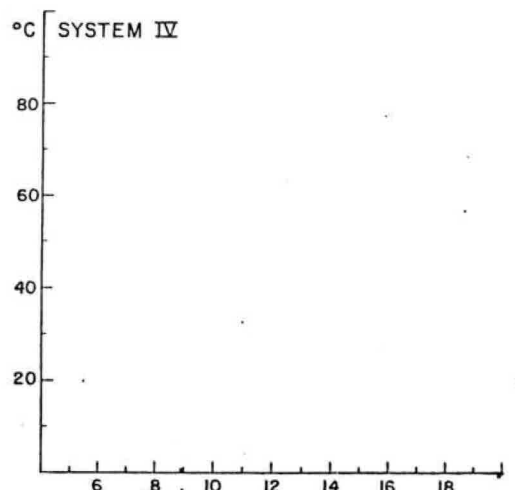
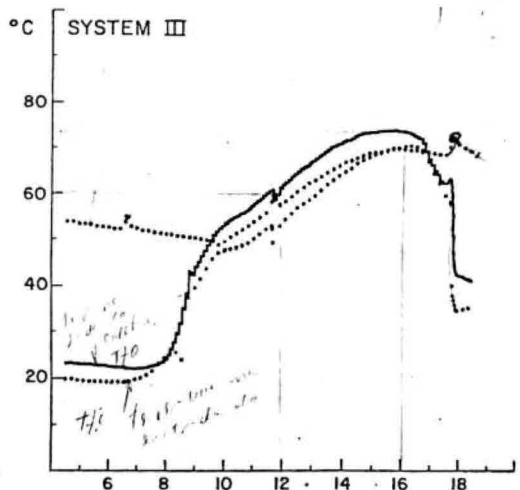
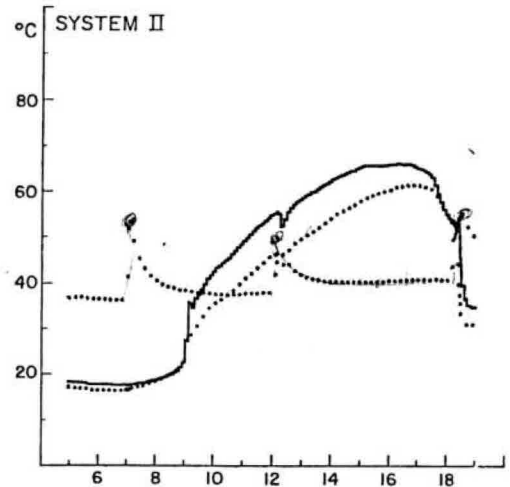
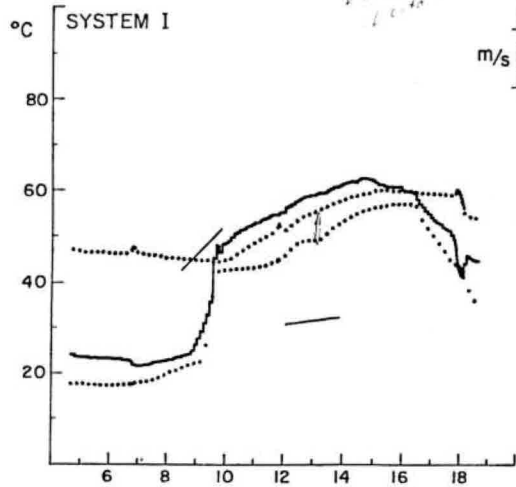
Load [kwh] 7 AM : 0.550
 12 AM : 0.232
 6 PM : 1.803

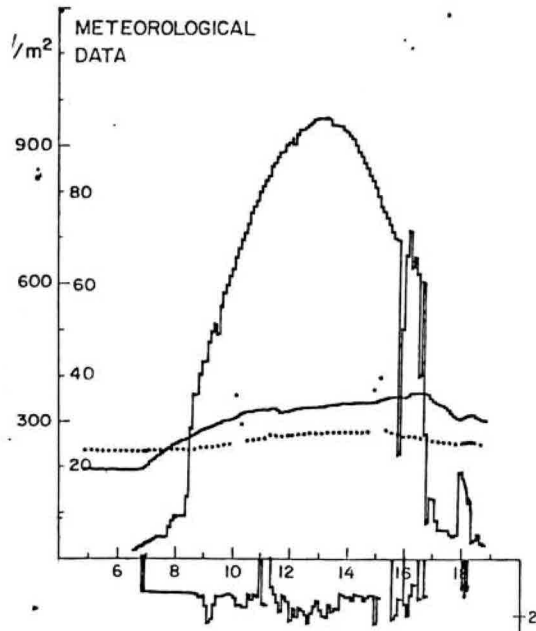
Total : 2.585

Aux. 1 : 0.000
 2 : 0.000
 Heater [kwh] 3 : 0.000
 4 : 0.000

Amb. Temperature [C]
 avg. : 29.7 max: 36.5 min: 18.4

Wind [m/s] % of day
 1-4 : 98 4-7 : 0 over 7 : 0





Day : 07/01/87

Radiation tot. [kwh/m2] : 6.416
 avg. [kw/m2] : 0.477

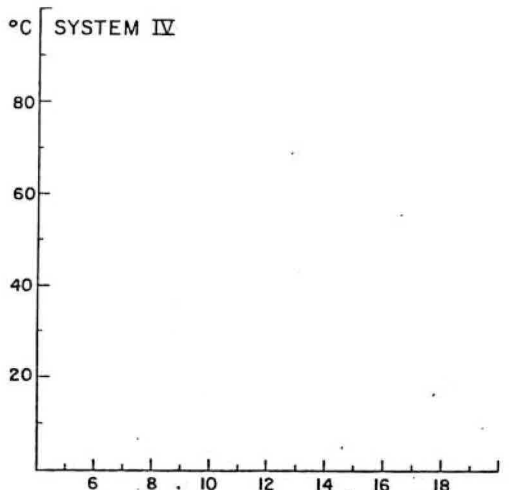
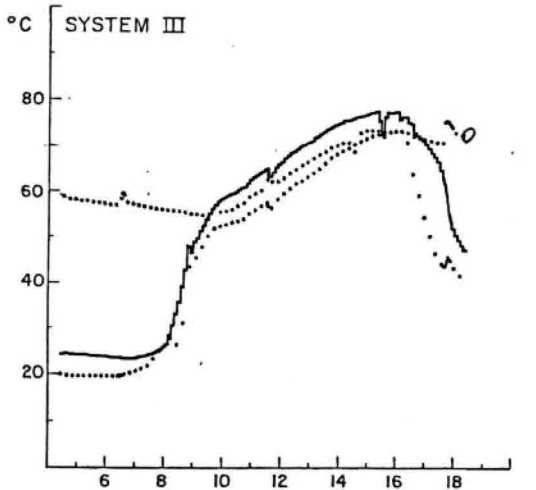
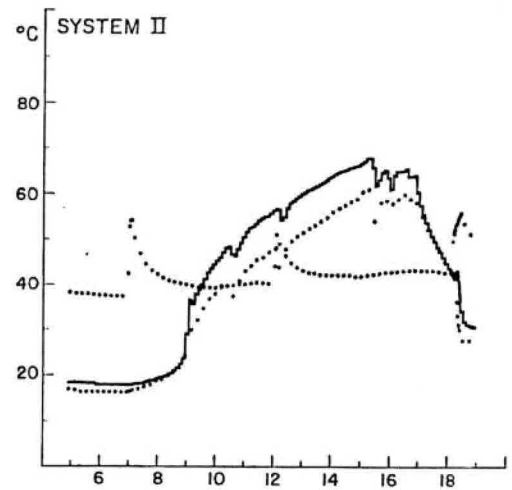
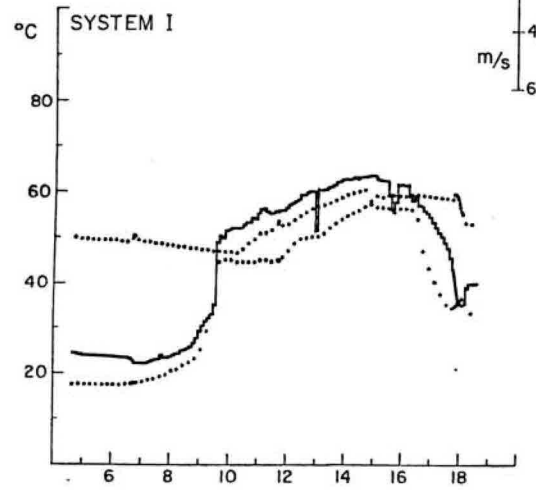
Load [kwh] 7 AM : 0.540
 12 AM : 0.225
 6 PM : 1.778

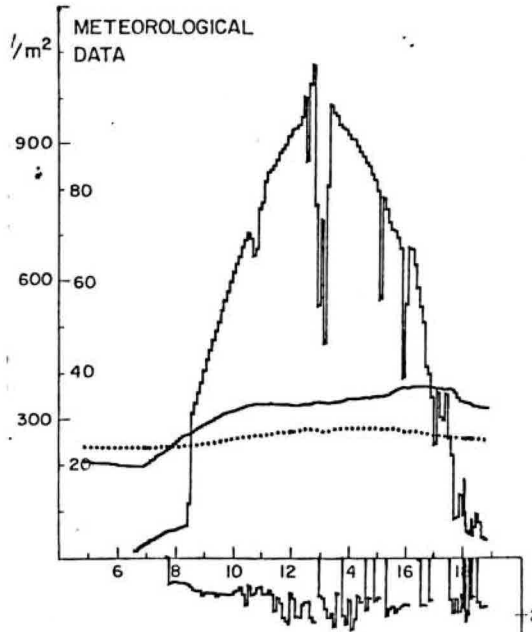
 Total : 2.543

Aux. 1 : 0.000
 Heater [kwh] 2 : 0.000
 3 : 0.000
 4 : 0.000

Amb. Temperature [C]
 avg. : 29.8 max: 37.1 min: 18.9

Wind [m/s] % of day
 1-4 : 63 4-7 : 0 over 7 : 0





Day : 08/01/87

Radiation tot. [kwh/m2] : 6.394
 avg. [kw/m2] : 0.476

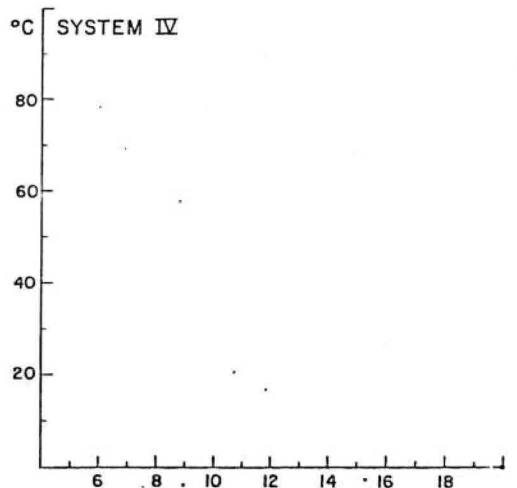
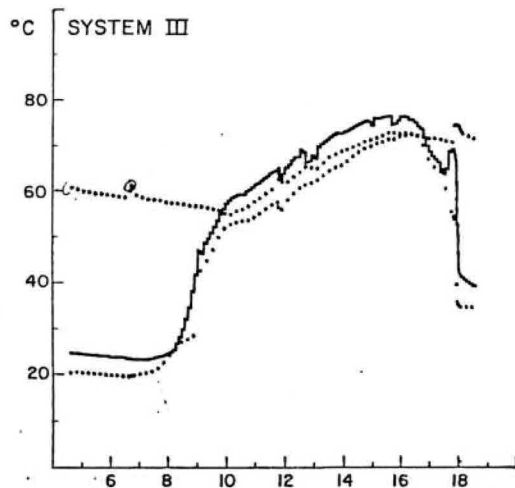
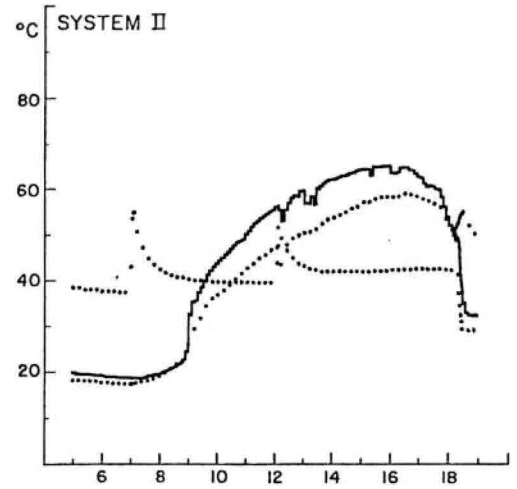
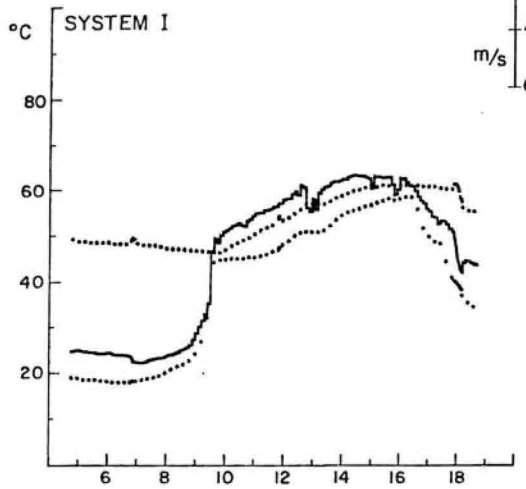
Load [kwh] 7 AM : 0.528
 12 AM : 0.220
 6 PM : 1.765

 Total : 2.513

Aux. 1 : 0.000
 Heater [kwh] 2 : 0.000
 3 : 0.000
 4 : 0.000

Amb. Temperature [C]
 avg.: 30.7 max: 37.7 min: 19.4

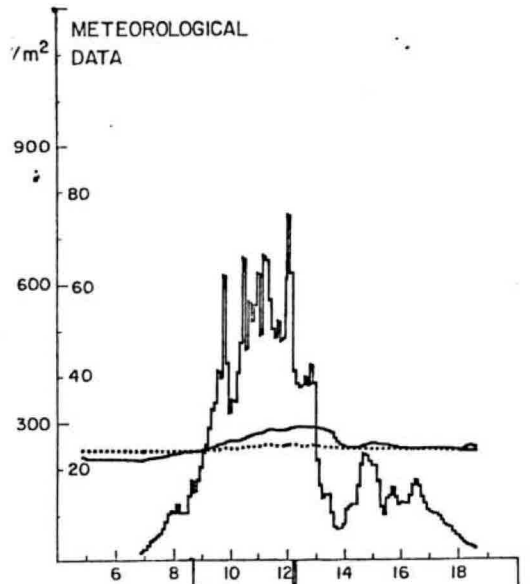
Wind [m/s] % of day
 1-4 : 63 4-7 : 0 over 7 : 0





MINISTERIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

SOLAR ENERGY LABORATORY
 DEPARTMENT OF ENERGY



Day : 27/01/87

Radiation tot. [kwh/m2] : 2.714
 avg. [kw/m2] : 0.206

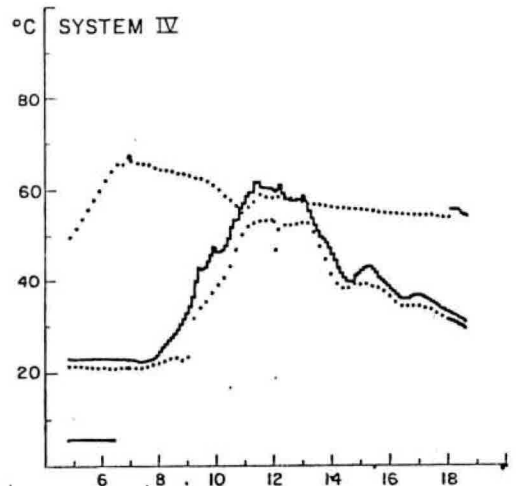
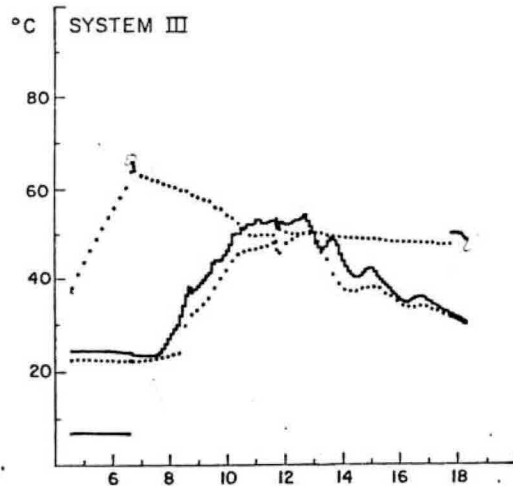
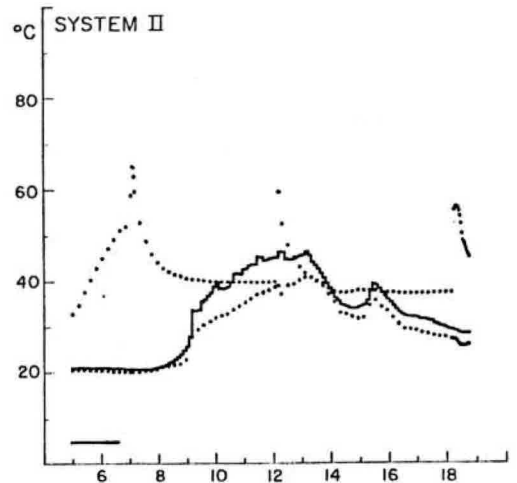
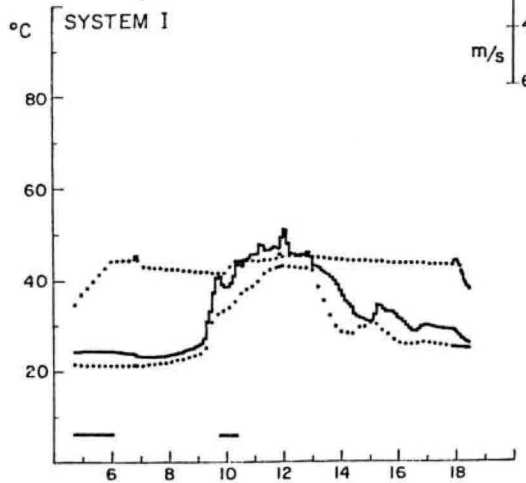
Load [kwh] 7 AM : 0.521
 12 AM : 0.258
 6 PM : 1.995

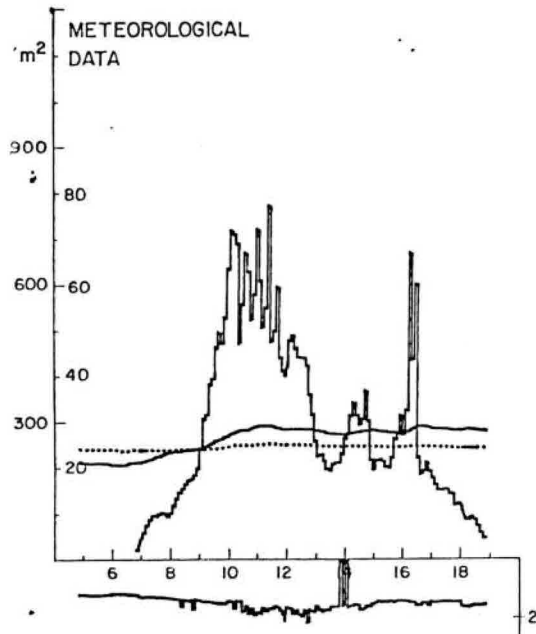
Total : 2.775

Aux. 1 : 3.610
 Heater [kwh] 2 : 2.400
 3 : 3.400
 4 : 2.880

Amb. Temperature [C]
 avg. : 25.1 max: 29.3 min: 21.8

Wind [m/s] % of day
 1-4 : 74 4-7 : 0 over 7 : 0





Day : 31/01/87

Radiation tot. [kwh/m2] : 3.529
 avg. [kw/m2] : 0.269

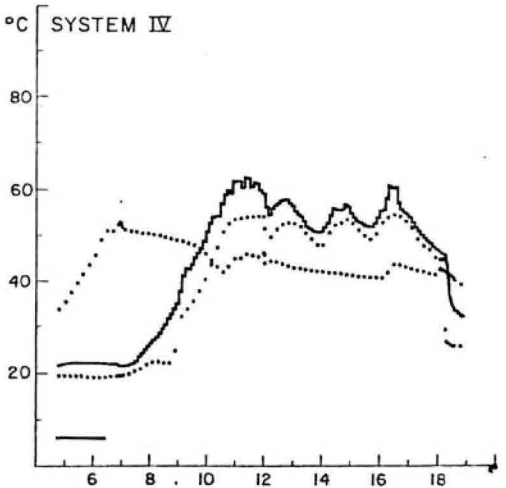
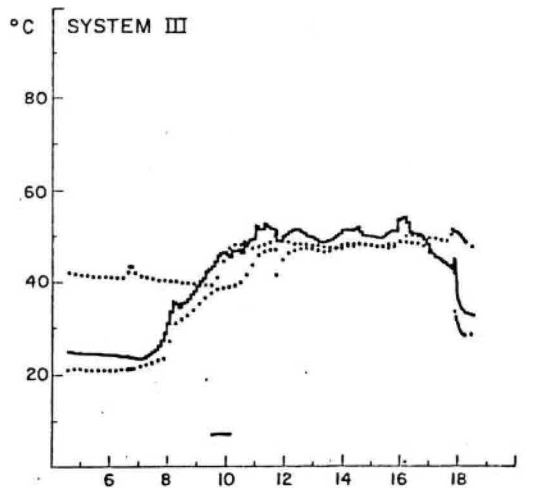
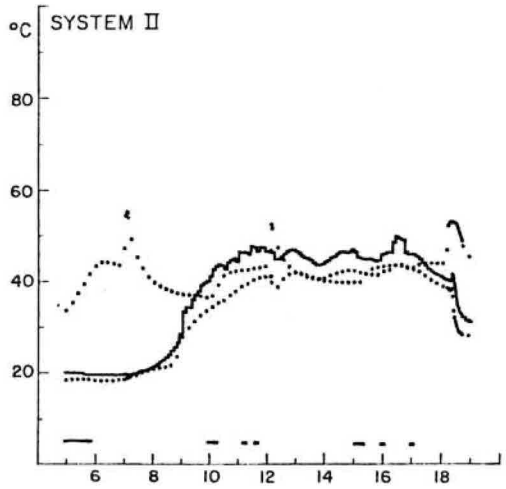
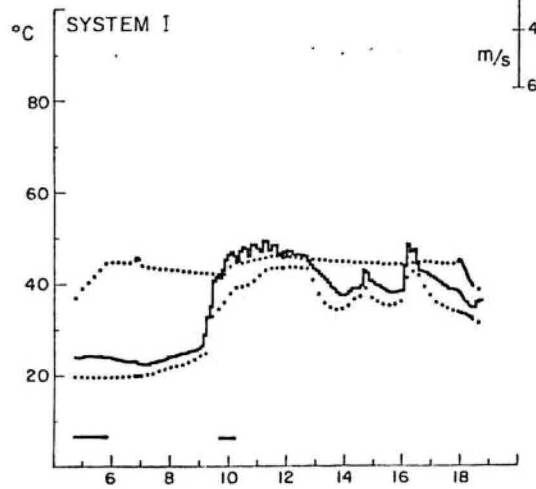
Load [kwh] 7 AM : 0.528
 12 AM : 0.260
 6 PM : 1.931

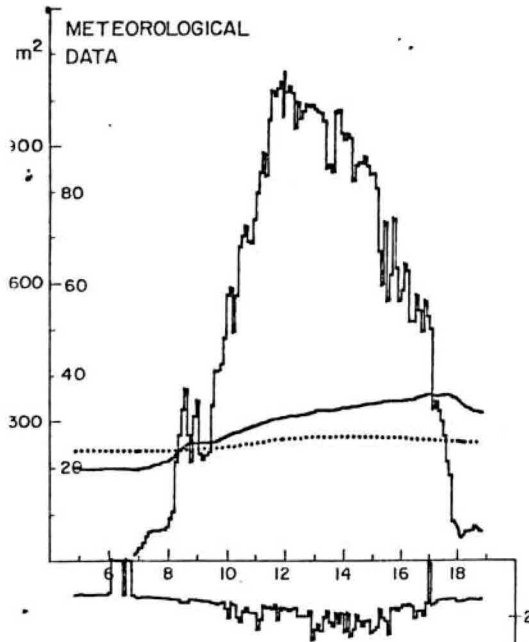
 Total : 2.719

Aux. 1 : 3.040
 Heater [kwh] 2 : 2.850
 3 : 1.020
 4 : 2.880

Amb. Temperature [C]
 avg. : 26.5 max: 29.5 min: 20.2

Wind [m/s] % of day
 1-4 : 99 4-7 : 0 over 7 : 0





Day : 01/02/87

Radiation tot. [kwh/m²] : 6.566
 avg. [kw/m²] : 0.501

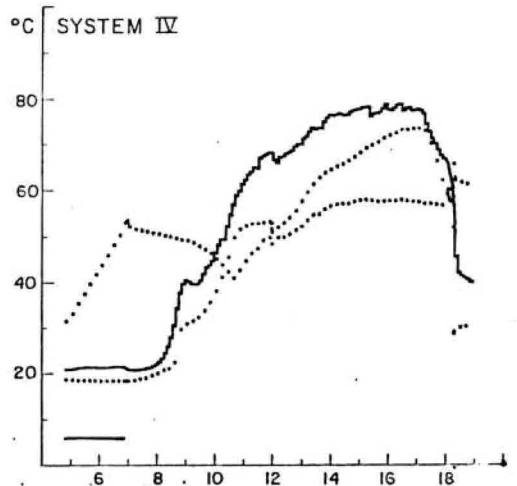
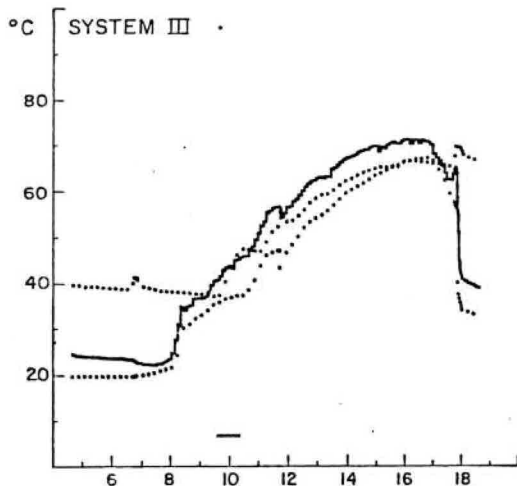
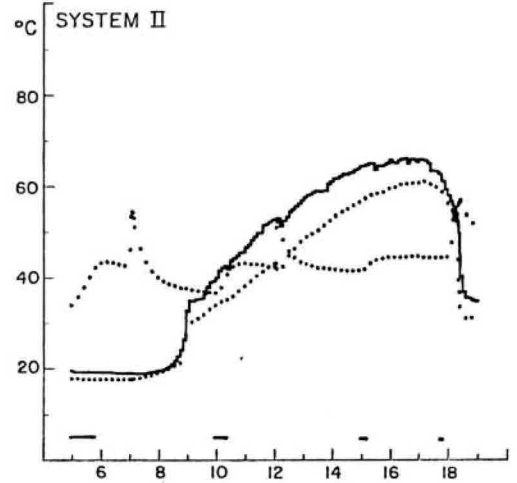
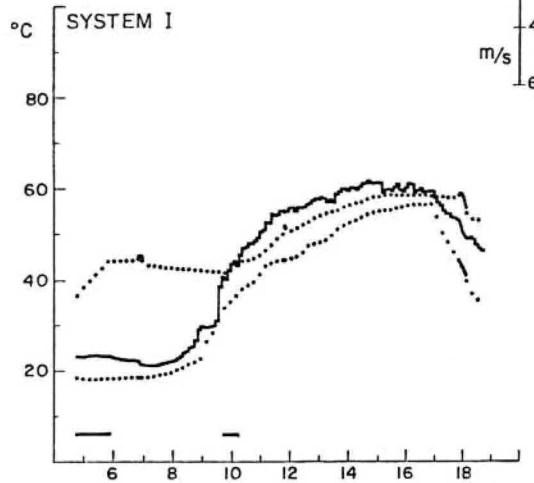
Load [kwh] 7 AM : 0.528
 12 AM : 0.241
 6 PM : 1.791

Total : 2.559

Aux. 1 : 3.040
 2 : 2.250
 Heater [kwh] 3 : 1.190
 4 : 3.600

Amb. Temperature [C]
 avg. : 28.9 max: 36.5 min: 19.5

Wind [m/s] % of day
 1-4 : 96 4-7 : 0 over 7 : 0



C.24

*** DADOS AMBIENTAIS ***

LATITUDE	DIA	HORA	TEMPERATURA AMBIENTE (C)	VELOCIDADE VENTO (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/M**2)	TEMP. AGUA REABASTECIM. (C)
-22	46	6.0	14.5	0.0	0.00	21.8
-22	46	7.0	21.8	1.0	45.00	21.8
-22	46	8.0	25.5	1.7	100.40	21.8
-22	46	9.0	28.5	2.0	168.20	21.8
-22	46	10.0	30.3	2.2	200.70	24.2
-22	46	11.0	30.3	2.4	257.10	24.2
-22	46	12.0	31.5	2.6	295.10	24.3
-22	46	13.0	32.7	2.2	309.20	24.2
-22	46	14.0	33.0	2.4	311.00	24.2
-22	46	15.0	34.2	2.4	324.70	24.2
-22	46	16.0	37.6	2.2	357.80	24.6
-22	46	17.0	37.0	2.0	342.90	24.0
-22	46	18.0	31.5	1.4	61.20	23.0
<hr/>						
-22	47	6.0	19.4	0.0	0.00	21.8
-22	47	7.0	21.6	1.0	36.70	21.8
-22	47	8.0	29.1	1.8	110.20	23.0
-22	47	9.0	32.7	1.9	165.30	24.2
-22	47	10.0	30.3	2.0	200.70	24.2
-22	47	11.0	30.9	2.2	244.90	25.5
-22	47	12.0	32.1	2.4	295.10	25.5
-22	47	13.0	33.9	2.5	311.80	25.5
-22	47	14.0	35.2	2.5	325.60	25.5
-22	47	15.0	34.8	2.4	283.70	25.5
-22	47	16.0	40.0	2.0	358.30	25.5
-22	47	17.0	40.6	1.8	345.00	24.5
-22	47	18.0	38.8	1.6	96.00	24.2
<hr/>						
-22	48	6.0	15.7	0.0	0.00	22.7
-22	48	7.0	19.4	0.8	36.70	22.7
-22	48	8.0	27.9	1.8	85.70	23.0
-22	48	9.0	30.3	2.0	147.60	23.6
-22	48	10.0	35.8	2.2	273.50	24.2
-22	48	11.0	32.1	2.4	232.70	25.5
-22	48	12.0	33.9	2.6	273.50	25.7
-22	48	13.0	33.9	2.6	255.10	25.5
-22	48	14.0	35.2	2.4	234.70	25.5
-22	48	15.0	36.4	2.0	188.60	25.5
-22	48	16.0	40.0	1.4	96.00	25.5
-22	48	17.0	40.0	2.0	342.90	25.5
-22	48	18.0	33.9	1.4	122.40	24.2
<hr/>						
-22	49	6.0	13.3	0.0	0.00	22.1
-22	49	7.0	13.8	1.2	36.70	22.1
-22	49	8.0	22.5	2.0	140.80	22.1
-22	49	9.0	26.7	2.2	244.50	23.0
-22	49	10.0	31.5	2.5	373.50	23.6
-22	49	11.0	29.1	2.6	262.40	24.2
-22	49	12.0	31.5	2.7	318.40	25.5
-22	49	13.0	31.5	2.5	318.40	25.5
-22	49	14.0	34.2	2.4	366.30	24.4
-22	49	15.0	35.2	2.4	351.00	25.5
-22	49	16.0	37.6	2.2	375.50	25.5
-22	49	17.0	38.8	2.0	370.60	24.2
-22	49	18.0	32.7	1.4	24.50	24.2

*** DADOS AMBIENTAIS ***

LATITUDE	DIA	HORA	TEMPERATURA AMBIENTE (C)	VELOCIDADE VENTO (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/M*2)	TEMP. ACUMULADA REA (C)
-22	54	6.0	20.6	1.1	6.00	23.0
-22	54	7.0	21.8	1.4	42.90	24.2
-22	54	8.0	27.9	1.4	134.70	24.2
-22	54	9.0	26.7	1.0	44.90	24.2
-22	54	10.0	30.3	1.6	267.30	24.2
-22	54	11.0	31.0	2.0	300.10	24.2
-22	54	12.0	31.5	2.0	453.10	24.2
-22	54	13.0	32.1	2.3	566.80	24.2
-22	54	14.0	33.9	2.0	666.00	24.2
-22	54	15.0	33.3	2.2	557.80	24.2
-22	54	16.0	37.6	1.1	33.50	24.2
-22	54	17.0	33.3	1.6	195.90	24.2
-22	54	18.0	30.9	1.7	45.00	24.2
<hr/>						
-22	56	6.0	23.7	1.3	6.00	24.2
-22	56	7.0	23.0	1.1	61.20	24.2
-22	56	8.0	24.4	1.1	146.90	24.2
-22	56	9.0	24.2	1.1	244.90	24.2
-22	56	10.0	27.7	1.1	453.80	24.2
-22	56	11.0	30.0	1.1	527.80	24.2
-22	56	12.0	31.1	1.1	527.90	24.2
-22	56	13.0	31.9	1.1	501.10	24.2
-22	56	14.0	32.7	1.1	416.30	24.2
-22	56	15.0	33.9	1.1	336.70	24.2
-22	56	16.0	33.2	1.1	336.90	24.2
-22	56	17.0	33.9	1.1	336.10	24.2
-22	56	18.0	29.7	1.1	227.40	24.2
<hr/>						
-22	57	6.0	20.0	1.8	6.00	23.6
-22	57	7.0	21.8	1.3	36.70	23.6
-22	57	8.0	26.7	0.0	85.70	23.6
-22	57	9.0	30.1	1.2	342.90	24.3
-22	57	10.0	30.3	1.3	536.70	24.3
-22	57	11.0	31.5	1.2	390.00	24.3
-22	57	12.0	32.7	1.9	750.10	26.7
-22	57	13.0	32.7	2.4	906.10	26.9
-22	57	14.0	34.5	2.0	854.10	25.5
-22	57	15.0	29.1	1.4	36.70	24.2
-22	57	16.0	20.6	2.0	22.40	24.0
-22	57	17.0	19.4	0.0	110.20	23.8
-22	57	18.0	19.5	0.0	54.70	23.7
<hr/>						
-22	62	6.0	18.2	1.0	6.00	23.0
-22	62	7.0	27.3	1.3	79.60	23.0
-22	62	8.0	26.7	1.2	502.00	23.1
-22	62	9.0	26.7	1.4	489.00	24.2
-22	62	10.0	34.5	2.2	612.00	25.1
-22	62	11.0	32.7	1.4	759.20	25.5
-22	62	12.0	31.5	1.6	478.40	25.7
-22	62	13.0	32.7	2.8	831.60	26.4
-22	62	14.0	32.7	2.0	758.20	26.7
-22	62	15.0	35.2	1.6	721.40	26.1
-22	62	16.0	32.7	2.0	257.10	24.8
-22	62	17.0	29.1	1.5	96.00	24.2
-22	62	18.0	25.5	1.8	12.40	24.2

*** DADOS AMBIENTAIS ***

LATITUDE	DIA	HORA	TEMPERATURA AMBIENTE (C)	VELOCIDADE VENTO (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/M**2)	TEMP. AGUA REABASTECI (C)
-22	75	6.0	20.4	1.1	0.00	23.6
-22	75	7.0	20.4	1.1	10.00	23.6
-22	75	8.0	20.6	1.2	98.00	23.6
-22	75	9.0	21.2	1.6	257.10	23.6
-22	75	10.0	23.0	1.8	275.50	23.6
-22	75	11.0	21.8	1.4	110.20	23.6
-22	75	12.0	20.6	1.4	153.10	23.6
-22	75	13.0	21.5	1.6	300.60	23.6
-22	75	14.0	21.8	1.9	159.20	23.6
-22	75	15.0	23.0	1.8	195.90	23.6
-22	75	16.0	23.0	1.4	171.40	23.6
-22	75	17.0	23.0	2.0	61.20	23.6
-22	75	18.0	20.6	1.8	61.20	23.6
<hr/>						
-22	76	6.0	19.4	0.0	0.00	21.8
-22	76	7.0	19.4	0.0	0.00	21.8
-22	76	8.0	19.4	0.0	165.30	21.8
-22	76	9.0	19.4	1.4	292.70	21.8
-22	76	10.0	20.7	1.4	577.90	21.8
-22	76	11.0	24.4	3.0	600.60	21.8
-22	76	12.0	21.8	2.4	183.70	21.8
-22	76	13.0	20.6	2.0	73.50	21.8
-22	76	14.0	21.8	2.0	232.50	21.8
-22	76	15.0	21.5	2.4	49.00	21.8
-22	76	16.0	20.4	1.4	24.50	21.8
-22	76	17.0	19.4	0.0	0.00	21.8
-22	76	18.0	18.8	0.0	0.00	21.8
<hr/>						
-22	87	6.0	20.0	0.8	0.00	23.8
-22	87	7.0	20.0	1.1	24.50	23.8
-22	87	8.0	24.0	1.7	90.00	24.0
-22	87	9.0	27.0	1.7	470.00	24.0
-22	87	10.0	29.0	2.0	600.00	24.2
-22	87	11.0	30.0	1.9	800.00	24.5
-22	87	12.0	30.0	2.0	920.00	25.0
-22	87	13.0	31.0	1.8	980.00	25.0
-22	87	14.0	32.0	2.3	940.00	25.0
-22	87	15.0	32.3	2.0	800.00	25.0
-22	87	16.0	33.0	2.1	600.00	24.5
-22	87	17.0	33.0	1.9	430.00	24.0
-22	87	18.0	32.0	1.9	180.00	24.0
<hr/>						
-22	88	6.0	20.0	1.8	0.00	20.0
-22	88	7.0	20.0	1.7	24.50	20.0
-22	88	8.0	25.5	1.7	91.80	23.6
-22	88	9.0	27.5	1.8	477.60	24.2
-22	88	10.0	30.5	1.7	698.00	24.9
-22	88	11.0	32.2	0.0	859.60	25.5
-22	88	12.0	32.1	1.6	930.60	26.8
-22	88	13.0	32.7	1.7	967.40	26.8
-22	88	14.0	33.9	1.6	930.60	27.6
-22	88	15.0	32.7	2.2	814.30	27.3
-22	88	16.0	35.2	1.9	416.30	26.7
-22	88	17.0	35.2	0.0	134.70	25.6
-22	88	18.0	30.3	1.5	184.90	25.5

*** DADOS AMBIENTAIS ***

LATITUDE	DIA	HORA	TEMPERATURA AMBIENTE (C)	VELOCIDADE VENTO (M/S)	RAZAO SOLAR (%)**2)	TEMP. AGUA REABASTECI (C)
-22	89	6.0	20.4	0.0	0.00	24.2
-22	89	7.0	20.0	0.00	24.50	25.5
-22	89	8.0	24.9	1.0	61.20	23.0
-22	89	9.0	28.5	1.6	40.50	24.0
-22	89	10.0	31.5	1.5	67.50	25.5
-22	89	11.0	33.3	1.6	85.10	26.1
-22	89	12.0	32.7	2.2	115.90	26.7
-22	89	13.0	33.1	2.3	125.30	27.3
-22	89	14.0	33.9	2.8	91.40	27.9
-22	89	15.0	33.9	1.4	66.30	27.9
-22	89	16.0	36.4	1.8	67.50	27.3
-22	89	17.0	37.0	1.6	66.70	26.7
-22	89	18.0	32.7	2.0	171.70	25.5
<hr/>						
-22	106	6.0	23.0	0.0	0.00	23.6
-22	106	7.0	23.0	0.00	0.00	23.6
-22	106	8.0	23.3	0.00	11.20	23.3
-22	106	9.0	24.2	1.0	41.40	24.4
-22	106	10.0	25.7	1.4	59.10	24.4
-22	106	11.0	27.9	1.4	89.50	24.4
-22	106	12.0	28.5	1.6	105.10	24.4
-22	106	13.0	30.0	1.6	130.40	24.4
-22	106	14.0	24.2	1.6	77.50	24.2
-22	106	15.0	23.5	1.4	22.70	24.4
-22	106	16.0	24.9	2.0	22.50	24.4
-22	106	17.0	24.2	1.4	110.20	24.2
-22	106	18.0	24.2	1.4	55.10	24.2
<hr/>						
-22	110	6.0	23.0	1.2	0.00	23.0
-22	110	7.0	23.0	1.2	1.00	23.0
-22	110	8.0	23.0	1.3	9.00	23.0
-22	110	9.0	24.2	1.4	19.90	24.0
-22	110	10.0	26.7	1.5	72.50	24.2
-22	110	11.0	28.5	1.8	50.00	24.9
-22	110	12.0	27.9	2.2	40.40	24.9
-22	110	13.0	27.9	1.6	26.40	24.9
-22	110	14.0	27.9	1.6	23.20	24.2
-22	110	15.0	27.9	1.6	30.60	24.2
-22	110	16.0	27.9	1.4	50.60	24.2
-22	110	17.0	29.1	1.4	18.30	24.2
-22	110	18.0	27.9	1.6	12.20	24.2
<hr/>						
-22	111	6.0	20.0	1.2	0.00	23.2
-22	111	7.0	20.0	1.2	16.00	23.2
-22	111	8.0	21.6	1.3	67.40	23.3
-22	111	9.0	24.2	1.4	34.90	23.3
-22	111	10.0	26.1	2.0	57.50	24.5
-22	111	11.0	28.5	2.4	80.00	25.5
-22	111	12.0	31.0	1.6	106.30	25.5
-22	111	13.0	31.0	2.2	99.80	26.6
-22	111	14.0	32.7	2.0	97.60	26.6
-22	111	15.0	33.3	1.6	44.90	26.6
-22	111	16.0	33.3	1.6	58.70	26.6
-22	111	17.0	33.3	0.0	24.80	25.5
-22	111	18.0	35.2	1.4	64.20	25.5

APÊNDICE D

PROGRAMAS DE COMPUTADOR

```

100  SET AUTOBIND
200  SEIND= FROM ROTINAS/PLTTER1051/= (CORRAT)GRAF
300  USE RA FOR /OURTI/
400  USE RE FOR /GRACA/
500  USE NS FOR /GRACA/
600  USE NI FOR /GRACU/
700  USE TE FOR /TITUL/
800  BEGIN
900  * SIMULA/PS/HEATSYSTEM
1000 * =====
1100 *
1200 * FILE ARCDATA(TITLE="SIMULA/PKR/DATADIAGRAM", KIND=DISK,
1300 * FILETYPE=7),
1400 *
1500 * ARCSYSTEM(TITLE="SIMULA/PKR/SYSTEM", KIND=DISK,
1600 * FILETYPE=7),
1700 *
1800 * ARPPJCOL(TITLE="SIMULA/PJ/COLLTOR", KIND=DISK, FILETYPE=7),
1900 *
2000 * IMP(KIND= PRINTER),
2100 *
2200 * IMP(KIND= PRINTER),
2300 * REM(KIND= PRINTER),
2400 * ARCDATA(JKIND=DISK, FILETYPE=7,
2500 * TITLE="SIMULA/PJ/TANK"),
2600 * ARDATA(IKIND=DISK, FILETYPE=7, TITLE="SIMULA/IN/TANK"),
2700 * ARDATA(ZKIND=DISK, FILETYPE=7, TITLE="SIMULA/OP/TANK"),
2800 * ARDATA(BKIND=DISK, FILETYPE=7, TITLE="SIMULA/OP/PROFILE"),
2900 * IMP(KIND=PRINTER),
3000 * REP(KIND=REPOTIE, MAXRCSIZE=132, ANYUSE=10),
3100 *
3200 * FF1(13,13,F4,1,F4,1,F3,1,F7,2,F4,1),
3300 * FF2(13,13,F5,2,F7,2,F5,2,F5,2,F5,2,F5,2,F7,2,F7,2),
3400 *
3500 * REAL TAP,VP,HP,TLRP,TECP,GP,MLP,TF,P,HORAP,DE,LE,DE,LE,H,OSTANT,
3600 * H1,R2,F3,H4,F5,HE,LI,DC,NC,TL,RF,OSTF,OTLP,CUP,GEF,TM,
3700 * SM,TAP,CHIE,SN,FR,SNOC,SNIC,SMUI,SNTR,SNCT,SNCE,FRP,UCP,ICP,
3800 * UTP,CIP,CEP,ACP,RRP,DTE,PE;
3900 * LABEL FIN,PRECUR;
4000 * INTEGER LATP,DIAP,KTE,SMHORA,LASTR,C,DIASIM,DIAGRAF;
4100 * BOOLEAN BOO,TERMIND;
4200 *
4300 * VARIAVEIS GLOBAIS PARA UTILIZACAO DAS ROTINAS DE PLOTTER
4400 * =====
4500 * INTEGER NUMPT, NUMGRAFICO;
4600 * REAL APRAY
4700 *
4800 * ORDYXC:399A, ORDY100:399A, ORDY200:399A, ORDY300:399A,
4900 * ORDY400:399A, ORDY500:399A, ORDY600:399A,
5000 * ABSX100:399A, ABSX200:399A,
5100 * ABSX300:399A, ABSX400:399A, ABSX500:399A;
5200 *
5300 * INTEGER ARRAY NSG1:50A,
5400 * NI01:50A;
5500 *
5600 * ARRAY RA01:30A,
5700 * RE01:30A;

```

0000100
0000200
0000300
0000400
0000500
0000600
0000700
0000800
0000900
0001000
0001100
0001200
0001300
0001400
0001500
0001600
0001700
0001800
0001900
0002000
0002100
0002200
0002300
0002400
0002500
0002600
0002700
0002800
0002900
0003000
0003100
0003200
0003300
0003400
0003500
0003600
0003700
0003800
0003900
0004000
0004100
0004200
0004300
0004400
0004500
0004600
0004700
0004800
0004900
0005000
0005100
0005200
0005300
0005400
0005500
0005600
0005700

```

5000 ALPHA ARRAY
5100 TEXT(X0:10X,
5200 TESC:29X,
5300 TEXT(Y0:10X)
5400
5500 PROCEDURE GRAFIC(NUMPT,ORDX,ORDY,ILXIX,TEXTY)
5600 =====
5700 INTEGER NUMPT;
5800 ARRAY ORDX,ORDY;
5900 ALPHA ARRAY TEXTX,TEXTY;
6000 EXTERNAL;
6100
6200 PROCEDURE CURVA(NUMP,XV,YV,IX,IY)
6300 INTEGER NUMP;
6400 ARRAY XV,YV;
6500 ALPHA ARRAY IX,IY;
6600 EXTERNAL;
6700
6800 PROCEDURE PLOT(X,Y,IPENA);
6900 VALUE X,Y,IPENA;
7000 REAL X,Y;
7100 INTEGER IPENA;
7200 EXTERNAL;
7300
7400 =====
7500 PROCEDURE THERMOSIPRONFLOC(ITM,OST,OTL,OU,QE,MT);
7600 =====
7700
7800 VALUE OST,OTL,OU,QE,MT;
7900 REAL OST,OTL,OU,QE,MT;
8000 BEGIN
8100 DIM REAL
8200 ATE,
8300 AH,
8400 ACC,
8500 FH,
8600 X1, K2, K3, KE,
8700 VC,
8800 F1, F2, F3, FE,
8900 CP,
9000 RN,
9100 RP,
9200 A, B,
9300 D,
9400 VF;
9500
9600 DEFINE
9700 F(X1,X2,X3,X4,X5,X6)= FH+
9800 ((X3-X1)-(X2-X1)-((X3-X5)**2)/
9900 (X6-X5)) #,
10000
10100 REYNOLDS(VX,DX)= RN+ VX*DX/VC #,
10200
10300 VELOC(MX,AX)= VF+ MX/(RD*AX) #;
10400
10500 CAN BOOLEAN PRIMER;
10600 CAN INTEGER PJX;
10700
10800 IF NOT PRIMER
10900 THEN BEGIN
11000
11100
11200
11300
11400
11500
11600
11700

```

```

00005000
00005100
00005200
00005300
00005400
00005500
00005600
00005700
00005800
00005900
00006000
00006100
00006200
00006300
00006400
00006500
00006600
00006700
00006800
00006900
00007000
00007100
00007200
00007300
00007400
00007500
00007600
00007700
00007800
00007900
00008000
00008100
00008200
00008300
00008400
00008500
00008600
00008700
00008800
00008900
00009000
00009100
00009200
00009300
00009400
00009500
00009600
00009700
00009800
00009900
00010000
00010100
00010200
00010300
00010400
00010500
00010600
00010700
00010800
00010900
00011000
00011100
00011200
00011300
00011400
00011500
00011600
00011700

```



```

11800 PRIMER:= TRUE?
11900 PJX:= -1?
12000 PO:= 933.3?
12100 VC:= 0.5532-6?
12200 A:= -3.6772933243-6?
12300 S:= 5.87529192-5?
12400 CP:= 4187.6?
12500 ATE:= (3.14/4)*(DTE**2)?
12600 AH:= (3.14/4)*(DHR**2)?
12700 ACC:= (3.14/4)*(DC**2)?
12800 FCH1=H2*H3*H4*H5*H6?
12900 K1:= 0?
13000 K2:= NTE*(0.5*(0.666*(CATE/AH)**2)-2.667*(CATE/AH)+2)?
13100 K3:= KC?
13200 KE:= K1*K2*(NTE**2)*((DTE/UH)**4)+K3*(NTE**2)*((DTE/DC)**4)?
13300 END?
13400
13500
13600
13700
13800
13900
14000
14100
14200
14300
14400
14500
14600
14700
14800
14900
15000
15100
15200
15300
15400
15500
15600
15700
15800
15900
16000
16100
16200
16300
16400
16500
16600
16700
16800
16900
17000
17100
17200
17300
17400
17500
17600
17700
00011900
00011900
00012000
00012100
00012200
00012300
00012400
00012500
00012600
00012700
00012800
00012900
00013000
00013100
00013200
00013300
00013400
00013500
00013600
00013700
00013800
00013900
00014000
00014100
00014200
00014300
00014400
00014500
00014600
00014700
00014800
00014900
00015000
00015100
00015200
00015300
00015400
00015500
00015600
00015700
00015800
00015900
00016000
00016100
00016200
00016300
00016400
00016500
00016600
00016700
00016800
00016900
00017000
00017100
00017200
00017300
00017400
00017500
00017600
00017700

```

```

Z CALCULO DOS COEFICIENTES DE ATRITO
VELOC(NT,ATE)?
REYNOLDS(VF,DTE)?
VF:= VF/ATE?
TF RN < 2000
THEN IF PA=0 THEN F1:=0 ELSE F1:=(64/RN)*NTE
ELSE F1:= (0.316*NTE)/(RN**0.25)?
VELOC(NT,AH)?
REYNOLDS(VF,DH)?
TF RN < 2000
THEN IF RA=0 THEN F2:=0 ELSE F2:= (64/RN)*NTE
ELSE F2:= (0.316*NTE)/(RN**0.25)?
VELOC(NT,ACC)?
REYNOLDS(VF,DC)?
TF RN < 2000
THEN IF RA=0 THEN F3:=0 ELSE F3:= (64/RN)*2
ELSE F3:= (0.316*2)/(RN**0.25)?
WRITE(REF**VF,RN*F3)?
FE:= F1+F2*DTE*(NTE**2)*(LH/LTE)*(LH/LTE)**5)+F3*DTE*(NTE**2)*(LC/LTE)
*((DTE/DC)**5)?
D:= 15*(FE*(LTE/DTE)+KE)/(9.86*9.8*(RD**2)*(DTE**4)*(NTE**2)?
IF QST+GTL+OU-GE < 0 OR HP=0 THEN NI:= 0
ELSE NI:=-(C*(C**TM+3)*FH/(D*CP))*(QST+GTL+OU-GE)**0.3333?
WRITE(REF**VF,IM*QST*QTL,QU,DE,NT)?
CROYNTSPJX:=NI*IA:= NI*3600?
CROYNTGPJX*DIEMPOA:= RHP?
END OF PROCEDURE THERMOSIPHONFLOW?

```

```

=====
PROCEDURE COLLECTIONSTIMATION(LAT,DIA,HORA,TA,V,H,IFI,IFO,G)?
=====
VALUE LAT, DIA, HORA, TA, V, H?
INTEGER LAT, DIA?
REAL TA, V, H, IFI, IFO, G, HORA?
BEGIN

```

```

17800 00017800
17900 00017900
18000 00018000
18100 00018100
18200 00018200
18300 00018300
18400 00018400
18500 00018500
18600 00018600
18700 00018700
18800 00018800
18900 00018900
19000 00019000
19100 00019100
19200 00019200
19300 00019300
19400 00019400
19500 00019500
19600 00019600
19700 00019700
19800 00019800
19900 00019900
20000 00020000
20100 00020100
20200 00020200
20300 00020300
20400 00020400
20500 00020500
20600 00020600
20700 00020700
20800 00020800
20900 00020900
21000 00021000
21100 00021100
21200 00021200
21300 00021300
21400 00021400
21500 00021500
21600 00021600
21700 00021700
21800 00021800
21900 00021900
22000 00022000
22100 00022100
22200 00022200
22300 00022300
22400 00022400
22500 00022500
22600 00022600
22700 00022700
22800 00022800
22900 00022900
23000 00023000
23100 00023100
23200 00023200
23300 00023300
23400 00023400
23500 00023500
23600 00023600
23700 00023700

FORMAT
CAB('INPE - INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS',TICO,DATA,'A20',
'ANS - ANALISE DE SISTEMAS E APLICACOES',1100,PAGINA,'I2',
'SIMULACAO DE SISTEMAS',T4,
'*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***',)
LIM1('DADOS GEOMETRICOS',,=====,/,/X11,
'1- DISTANCIA PLACA COBERTURA (M) = ',F4.2,I72,
'6- COMPRIMENTO DOS TUBOS DE ELEVACAO (M) = ',F4.2,/,/X11,
'2- NUMERO DE TUBOS DE ELEVACAO = ',I2,I72,
'7- DISTANCIA ENTRE LINHAS DE CENTRO DOS TUBOS (M) = ',F4.2,/,/
X11,
'3- DIAMETRO EXTERNO DOS TUBOS DE ELEVACAO (M) = ',F6.4,I72,
'8- EXPOSSURA DO ISOLANTE (M) = ',F6.4,/,/X11,
'4- DIAMETRO INTERNO DOS TUBOS DE ELEVACAO (M) = ',F6.4,I72,
'9- EXPOSSURA MEDIA DA SOLDA = ',F6.4,/,/X11,
'5- EXPOSSURA DA FLACA ABSORVEDORA (M) = ',F6.4,I72,
'10- COMPRIMENTO MEDIO DA SOLDA (M) = ',F6.4,/,/),)
LIM2('PROPRIEDADE DOS MATERIAIS',,12(=),) ==9(=),/,/X11,
'1- TRANSMITANCIA DA COBERTURA = ',F4.2,I72,
'4- CONDUTIVIDADE TERMICA DO ISOLANTE (SI) = ',F7.2,/,/X11,
'2- ASSINTANCIA DA PLACA = ',F4.2,I72,
'5- CONDUTIVIDADE TERMICA DA PLACA (SI) = ',F7.2,/,/X11,
'3- EMITANCIA DA PLACA = ',F4.2,I72,
'6- CONDUTIVIDADE TERMICA DA SOLDA (SI) = ',F7.2,/,/),)
LIM3('DADOS OPERACIONAIS',,/,/=====,/,/X11,
'1- INCLINACAO DO COLETOR = ',I2,I72,
'3- VAZAO DO FLUIDO (KG/S) = ',F7.4,
/,/X11,
'2- LATITUDE = ',I3,I72,
'4- TEMPERATURA DE ENTRADA DO FLUIDO (C) = ',F6.2,/,/),)
CAB2('15C',,/,/X9,TEMP,VELOC,RADIACAO,FATOR,RADIACAO,
'COEFICIENTE',X4,FATOR,X5,FATOR,X5,CALOR,X3,TEMPERATURA,
X3,RENJIMENTO',,DIA,HORA,ARB,VENTO,SOLAR,X5,R,X4,
'PLACA (S) PERDA (UL) EFICIENCIA REBOCAC UTIL',X4,
'SAIDA FLUIDO',X4,HORARIO',/X9,(C),X3,(M/S),X1,
'(M**2)',X8,(M**2)',X2,(M/M**2C)',X24,(MHR )',X5,
'(C)',,115(=),/),)
CAR3('K16',RENJIMENTO VS TEMPERATURA DE ENTRADA DO FLUIDO),)
LIM4('I3,X1,F4.1,X1,F4.1,X3,F3.1,X3,F7.2,X1,F5.2,X2,F7.2,X4,F7.2,X7,
F6.2,X4,F6.2,X3,F7.2,X4,F6.2,X8,F6.2,/,/),)
LIM5('X43,X26(=),/X39,*** RENJIMENTO GLOBAL = ',F5.2,
X43,X26(=),/),)
OWN EBCDIC ARRAY DATATUGI:20A;
OWN BOOLEAN FIRST;
OWN INTEGER
LATITUDE
DIA DO ANO
INC % INCLINACAO DO COLETOR
NY % NUMERO DE TUBOS DE ELEVACAO
LIM % CONTADOR DE LINHAS DE IMPRESSAO
PAGE % CONTADOR DE PAGINAS

```

23800	PAN REAL		
23900	X HORA	HORA DO DIA	00023900
24000	X TA	TEMPERATURA AMBIENTE (C)	00023900
24100	X V	VELOCIDADE DO VENTO (M/S)	00024000
24200	X H	INTENSIDADE DE RADIAÇÃO (W/M**2)	00024100
24300	X HS	HORA SOLAR	00024200
24400	S	X RADIAÇÃO INCIDENTE NA PLACA ABSORVEDORA (W/M**2)	00024300
24500	TAL	X TRANSMITÂNCIA DA COBERTURA	00024400
24600	ALFA	X ABSORVIDADE DA PLACA COLETORES	00024500
24700	DEC	X ÂNGULO DE DECLINAÇÃO DO SOL	00024600
24800	R	X FATOR DE CONVERSÃO DA RADIAÇÃO PARA O PLANO DO COLETORES	00024700
24900	TALALFA	X PRODUTO TAL * ALEA	00024800
25000	TSAL	X TEMPERATURA DO CEU (C)	00024900
25100	LPC	X DISTÂNCIA ENTRE A PLACA ABSORVEDORA E A COBERTURA	00025000
25200	TC	X TEMPERATURA DA COBERTURA (C)	00025100
25300	TP	X TEMPERATURA DA PLACA ABSORVEDORA (C)	00025200
25400	HPC	X COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR PLACA COBERTURA (W/M**2C)	00025300
25500	HM	X COEF. DE TRANSF. DE CALOR ENTRE COBERTURA AMBIENTE (W/M**2C)	00025400
25600	HPC	X COEF. DE TRANSF. DE CALOR PLACA COBERTURA (W/M**2C)	00025500
25700	SIGMA	X CONSTANTE DE BOLZMAN (W/M**2K)	00025600
25800	EP	X ENTALPIA DA PLACA	00025700
25900	EC	X ENTALPIA DA COBERTURA	00025800
26000	HRC	X COEF. DE TRANSF. DE CALOR COBERTURA-CEU	00025900
26100	UT	X COEF. DE TRANSF. DE CALOR PARTE SUPERIOR (W/M**2C)	00026000
26200	UB	X COEF. DE PERDA DE CALOR LA PARTE INFERIOR (W/M**2C)	00026100
26300	UL	X COEF. GLOBAL DE PERDA DE CALOR (W/M**2C)	00026200
26400	KI	X CONDUTIVIDADE TÉRMICA DO ISOLANTE (W/MC)	00026300
26500	LI	X ESPESURA DO ISOLANTE (M)	00026400
26600	DELTA	X ESPESURA DA PLACA ABSORVEDORA (M)	00026500
26700	DELTAI	X SALVA ESPESURA DA PLACA ABSORVEDORA (M)	00026600
26800	K	X CONDUTIVIDADE TÉRMICA DA PLACA (W/MC)	00026700
26900	F	X EFICIÊNCIA DA ALTA	00026800
27000	W	X DISTÂNCIA ENTRE AS LINHAS DE CENTRO DOS TUBOS (M)	00026900
27100	DP	X DENSIDADE DA PLACA ABSORVEDORA (KG/M3)	00027000
27200	DT	X DENSIDADE DOS TUBOS (KG/M3)	00027100
27300	D	X DIÂMETRO EXTERNO DOS TUBOS (M)	00027200
27400	B	X COMPRIMENTO DA SOLDA (M)	00027300
27500	TB	X ESPESURA DA SOLDA (M)	00027400
27600	KB	X CONDUTIVIDADE TÉRMICA DA SOLDA (W/MC)	00027500
27700	KRANT	X CONDUTIVIDADE TÉRMICA DA SOLDA (W/MC) - SALVA KB	00027600
27800	FI	X FATOR DE EFICIÊNCIA DO COLETORES	00027700
27900	HFI	X COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR ENTRE FLUIDO E O TUBO	00027800
28000	G	X VAZÃO DO FLUIDO (KG/S)	00027900
28100	L	X COMPRIMENTO DOS TUBOS DE ELEVACAO (M)	00028000
28200	LP	X LARGURA DA PLACA ABSORVEDORA (M)	00028100
28300	FP	X FATOR DE REDUÇÃO DE CALOR DO COLETORES	00028200
28400	CP	X CALOR ESPECIFICO DO FLUIDO	00028300
28500	QU	X GANHO TOTAL DE ENERGIA UTIL DO COLETORES (W)	00028400
28600	AC	X AREA DO COLETORES = (L*W) (M**2)	00028500
28700	X TFI	TEMPERATURA DE ENTRADA DA AGUA NO COLETORES (C)	00028600
28800	X TFO	TEMPERATURA DE SAIDA DA AGUA (C)	00028700
28900	TFM	X TEMPERATURA MEDIA DO FLUIDO (C)	00028800
29000	DI	X DIÂMETRO INTERNO DO TUBO DE ELEVACAO	00028900
29100	TFM	X TEMPERATURA MEDIA DA PLACA ABSORVEDORA	00029000
29200	DATAH	X DATA DO DIA	00029100
29300	RH	X RENDIMENTO HORARIO DO COLETORES	00029200
29400	RY	X RENDIMENTO DIARIO DO COLETORES	00029300
29500	SMICU	X ACUMULADOR DE OU	00029400
29600	TPOLU	X TEMPERATURA DA PLACA NA ITERACAO ANTERIOR (C)	00029500
29700	SMHR	X ACUMULADOR DE H*H	00029700

```

29800 00029800
29900 00029900
30000 00030000
30100 00030100
30200 00030200
30300 00030300
30400 00030400
30500 00030500
30600 00030600
30700 00030700
30800 00030800
30900 00030900
31000 00031000
31100 00031100
31200 00031200
31300 00031300
31400 00031400
31500 00031500
31600 00031600
31700 00031700
31800 00031800
31900 00031900
32000 00032000
32100 00032100
32200 00032200
32300 00032300
32400 00032400
32500 00032500
32600 00032600
32700 00032700
32800 00032800
32900 00032900
33000 00033000
33100 00033100
33200 00033200
33300 00033300
33400 00033400
33500 00033500
33600 00033600
33700 00033700
33800 00033800
33900 00033900
34000 00034000
34100 00034100
34200 00034200
34300 00034300
34400 00034400
34500 00034500
34600 00034600
34700 00034700
34800 00034800
34900 00034900
35000 00035000
35100 00035100
35200 00035200
35300 00035300
35400 00035400
35500 00035500
35600 00035600
35700 00035700

DEFINE FAZCAB =
BEGIN
WRITE(IMP,SKIF 1A);
PAG:= +1;
WRITE(IMP,CAB1.DATATUGIA.PAG);
LIN:= 0;
END #;

IMPRIMEDADOS =
BEGIN
WRITE(IMP,LIN1,LC,LANT,K,D,LI,DI,TB,DELTA,B);
WRITE(IMP,LIN2,TAL,K,ALFA,K,EP,KB);
WRITE(IMP,LIN3,ABSCINAC),G,LAI,TFI);
END #;

IMPRIMECALCULOS =
BEGIN
IF LIN > 40
THEN BEGIN
FAZCAB;
WRITE(IMP,CAJ2);
END;
WRITE(IMP,LIN4,DIA,HORA,TA,V,H,R,S,UL,FI,FR,OU,VAC,TF0,
END #;

PROCEDURE SOLARRADIATION;
*****
BEGIN
REAL TETA1, TETA2, X;
X:= 0.01745329;
DEC:= 23.45*SIN(X*360*((284+DIA)/365));
MS:= (-15+HORA)+180;
TETA1:= COS(X*(LAT-INC))*COS(DEC*X)+COS(MS*X)+
SIN(X*(LAT-INC))*SIN(DEC*X);
TETA2:= SIN(DEC*X)*SIN(LAT*X)+COS(DEC*X)*COS(LAT*X)*COS(MS*X);
IF TETA2 < 0.01
THEN R:= 0
ELSE R:= COS(TETA1/TETA2);
R:= 1; * RETIRAR ESTE COMANDO NO CASO DA RADIACAO LIDA SER NA HORIZ.
TALALFA:= (TAL*ALFA)/(1-(1-ALFA)*0.16);
S:= H*R*TALALFA;
TSMI:= 0.052*(TA+273.15)**1.5)-273.15;
TC:= TA+25;
IP:= IC+20;
* TFO:= (CTP - TFI) / 2) + TFI;
END OF PROCEDURE;

PROCEDURE HEATLOSSCEFF;
*****
BEGIN

```

```

35800 REAL TCO, H10, TM, R3, R4;
35900 TCO:= 999;
36000 WHILE ABS(TC-TCO) > 1.0
36100 DO BEGIN
36200   H10:= 1.613* ((ABS(TP-TC))**0.281)/((LPC-100)**0.157);
36300   TM:= (TP+TC)/2;
36400   HPC:= H10*(1 - C.0018*(TM-10));
36500   HA:= 5.7 + 3.8*V;
36600   HPPC:= SIGMA*((TP+273.15)**2) + ((TC+273.15)**2) *
36700     ((TP+273.15)+(TC+273.15))/ ((1/EP) + (1/EC)-1);
36800   HRCS:= EC*SIGMA*((TC+273.15)**2)+(TSKI+273.15)**2) *
36900     ((TC+273.15) + (TSKI+273.15));
37000   R3:= 1/(HPC + HRPC);
37100   R4:= 1/(HA + HRCS);
37200   UT:= 1/(R3+R4);
37300   TCO:= TC;
37400   TC:= TP - UT*(TP-TA)/(HPC+HRPC);
37500 END;
37600 VB:= KI/LI;
37700 UL:= UE+UI;
37800 END OF PROCEDURE;
37900
38000
38100
38200
38300
38400
38500
38600
38700
38800
38900
39000
39100
39200
39300
39400
39500
39600
39700
39800
39900
40000
40100
40200
40300
40400
40500
40600
40700
40800
40900
41000
41100
41200
41300
41400
41500
41600
41700

```

```

PROCEDURE EFFICIENCYFACTOR;
=====
BEGIN
  REAL M, CE;
  M:= (UL/(M*DELTA))**0.5;
  F:= TANH(M*(M-D)/2)/(M*(M-D)/2);
  CR:= M*B/TB;
  FL:= (1/UL)/(M*(1/(UL*(D+(M-D)*F))) + (1/CR) + (1/(3.14*DI*HF1))));
END OF PROCEDURE;

PROCEDURE REMOVALFACTOR;
=====
BEGIN
  REAL GI;
  GI:= C/(L*PA);
  IF GI=0 THEN FR:= 0
  ELSE FR:= (GI*CP/UL)*(1-EXP(-UL*FI/(GI*CP)));
END OF PROCEDURE;

PROCEDURE USEFULENERGY;
AC:= LP*L;
CU:= AC*FB*(C-UL*(TFI-TA));
IF G=0 THEN TFO:= TFI
ELSE TFO:= TA + (C/UL)*(TFI-TA)-(S/UL)*EXP(-UL*FI*AC/(G*CP));
IF GU LED 0 THEN GU:= 0;
END OF PROCEDURE USEFULENERGY;

PROCEDURE PLATETEMP;
=====
BEGIN

```

00035800

00035900

00036000

00036100

00036200

00036300

00036400

00036500

00036600

00036700

00036800

00036900

00037000

00037100

00037200

00037300

00037400

00037500

00037600

00037700

00037800

00037900

00038000

00038100

00038200

00038300

00038400

00038500

00038600

00038700

00038800

00038900

00039000

00039100

00039200

00039300

00039400

00039500

00039600

00039700

00039800

00039900

00040000

00040100

00040200

00040300

00040400

00040500

00040600

00040700

00040800

00040900

00041000

00041100

00041200

00041300

00041400

00041500

00041600

00041700

```

41800 REAL RPF;
41900 IF G= 0 THEN TFM:= TFI
42000 ELSE TFM:= TFI + ((OU/AC)/(UL*FR))*(1-(FR/F1));
42100 PPF:= 1/(3-14*FI*DI*NT*L);
42200 TPM:= TFM + (GU*PPF);
42300 TP:= TPN;
42400 END OF PROCEDURE;
42500
42600
42700
42800
42900
43000
43100
43200
43300
43400
43500
43600
43700
43800
43900
44000
44100
44200
44300
44400
44500
44600
44700
44800
44900
45000
45100
45200
45300
45400
45500
45600
45800
45900
46000
46100
46200
46300
46400
46500
46600
46700
46800
46900
47000
47100
47200
47300
47400
47500
47600
47700
00041800
00041900
00042000
00042100
00042200
00042300
00042400
00042500
00042600
00042700
00042800
00042900
00043000
00043100
00043200
00043300
00043400
00043500
00043600
00043700
00043800
00043900
00044000
00044100
00044200
00044300
00044400
00044500
00044600
00044700
00044800
00044900
00045000
00045100
00045200
00045300
00045400
00045500
00045600
00045700
00045800
00045900
00046000
00046100
00046200
00046300
00046400
00046500
00046600
00046700
00046800
00046900
00047000
00047100
00047200
00047300
00047400
00047500
00047600
00047700

REAL RPF;
IF G= 0 THEN TFM:= TFI
ELSE TFM:= TFI + ((OU/AC)/(UL*FR))*(1-(FR/F1));
PPF:= 1/(3-14*FI*DI*NT*L);
TPM:= TFM + (GU*PPF);
TP:= TPN;
END OF PROCEDURE;

PROCEDURE COLECTORSIMULATION;
=====
BEGIN
  WHILE ABS(TP-TPOLD) > 1.0
  DO BEGIN
    TPOLD:= TP;
    HEATLOSSCOEFF;
    EFFICIENCYFACTOR;
    REMOVALFACTOR;
    USEFULENERGY;
    PLATETEMP;
  END;
  WRITE(REW,*,TP,TFD);
END OF PROCEDURE COLECTORSIMULATION;

PROCEDURE PLOTARENDINENT;
=====
BEGIN
  REAL TX,RY,TXI,INCRES;
  INTEGER I;
  BOOLEAN FIRZ;
  OWN INTEGER NCURVA;
  NCURVA:= *+1;
  NUMPT:= 200;
  I:= (NCURVA-1) * NUMPT;
  INCRES:= (S/UL)/NUMPT;
  WRITE(REW,*,NCURVA,NUMPT);
  TX1:= IA+INCRES;
  THRU NUMPT
  DO BEGIN
    TX1:= *+INCRES;
    RX:= (TX1-TA)*UL/S;
    ABSYCCEIA:= TX;
    ORDYCCGIA:= RX;
    I:= *+1;
  END;
  IF NCURVA = 2
  THEN BEGIN
    TEXTIOYCOX:= "RENDIN";
    TEXTIOYCIA:= "ENTIO D";
    TEXTIOYCR:= "O COLE";
    TEXTIOYCSA:= "TOR ";
    TEXTIOYCSOX:= "UL(TFI)";
  END;

```



```

53800 REPLACE TEG10A BY "TUBOS ENCAIXADOS - PLACA 1.2MM"
53900 REPLACE TEG15A BY "TUBOS SOLDADOS - PLACA 0.4MM"
54000 REPLACE TEG20A BY "TUBOS SOLDADOS - PLACA 0.8MM"
54100 REPLACE TEG25A BY "TUBOS SOLDADOS - PLACA 1.2MM"
54200 GRAFI(NUMPT,ABSXCI,ORDYCI,TEXTDX,TEXTDY)
54300 END
54400 END OF PROCEDURE
54500
54600
54700
54800
54900
55000
55100 PROCEDURE DATATEMPLENGHT;
55200
55300 BEGIN
55400   OWN INTEGER NCURVA;
55500   INTEGER I; REAL LANT;
55600   FORMAT
55700   DTICAB1(//,"EXPRESSORA DA PLACA ABSORVEDORA (M) = ",F7.4,/,
55800     "DISTANCIA ENTRE TUBOS (M) = ",F6.3,/,
55900     "COMPRIMENTO TEMPERATURA",/,
56000     "CC COLETOR DA AGUA",/,/);
56100
56200
56300   DILINICX3,F5.2,X9,F5.2);
56400   LANT:= L;
56500   NUMPT:= 50;
56600
56700
56800   FOR DELTA:= 0.0004 STEP 0.0004 UNTIL 0.0012
56900     DO BEGIN
57000       NCURVA:= *+1;
57100       I:= (NCURVA-1)*NUMPT;
57200       FAZCAB:
57300         WRITE(IMP,DTICAB1,DELTA,M-D);
57400         FOR L:= 0.5 STEP 3.5/NUMPT UNTIL 4.0
57500           DO BEGIN
57600             EFICIENCYFACTOR;
57700             USEFULENERGY;
57800             WRITE(IMP,DILINI,L,TFD);
57900             ASSXC221A:= L;
58000             ORDYC221A:= 1FD;
58100             I:= *+1;
58200           END;
58300
58400   L:= LANT;
58500   IF NCURVA = 6
58600     THEN BEGIN
58700       REPLACE TEXTDY00A BY "TEMPERATURA DA AGUA - (C)";
58800       REPLACE TEXTDY00A BY "COMPRIMENTO DO COLETOR - (M)";
58900       REG1A:= RAQ1A:= 6;
59000       REG17A:= 5; REG18A:= 1; REG19A:= 5; REG10A:= 0;
59100       REG2A:= RAQ2A:= 1;
59200       N1G1A:=N1G2A:=N1G3A:=N1G4A:=N1G5A:=N1G6A:= NUMPT;
59300       NSC1A:=0; NSC2A:= 5; NSC3A:= 9;
59400       NSG4A:=1; NSG5A:= 4; NSX6A:= 7;
59500       REPLACE TEGCA BY "TUBOS ENCAIXADOS - PLACA 0.4MM";
59600       REPLACE TEGSA BY "TUBOS ENCAIXADOS - PLACA 0.8MM";
59700       REPLACE TEG10A BY "TUBOS ENCAIXADOS - PLACA 1.2MM";

```

```

00053800
00053900
00054000
00054100
00054200
00054300
00054400
00054500
00054600
00054700
00054800
00054900
00055000
00055100
00055200
00055300
00055400
00055500
00055600
00055700
00055800
00055900
00056000
00056100
00056200
00056300
00056400
00056500
00056600
00056700
00056800
00056900
00057000
00057100
00057200
00057300
00057400
00057500
00057600
00057700
00057800
00057900
00058000
00058100
00058200
00058300
00058400
00058500
00058600
00058700
00058800
00058900
00059000
00059100
00059200
00059300
00059400
00059500
00059600
00059700

```



```

71800 X MB:= 0.60;
71900 X MBAT:= KB;
72000 X DELTANT:= DELTA;
72100 X
72200 X DADOS OPERACIONAIS
72300 X =====
72400 X
72500 X G:= 0.002;
72600 X YIFI:= 60;
72700 X
72800 X
72900 X INICIALIZACAO DE VARIAVEIS PARA PLOTTER
73000 X =====
73100 X
73200 X NUMPT:= 200;
73300 X NUMGRAFICO:= 0;
73400 X
73500 X
73600 X END OF INICIALIZACOES #;
73700 X
73800 X
73900 X
74000 X
74100 X
74200 X
74300 X
74400 X
74500 X
74600 X
74700 X
74800 X
74900 X
75000 X
75100 X
75200 X
75300 X
75400 X
75500 X
75600 X
75700 X
75800 X
75900 X
76000 X
76100 X
76200 X
76300 X
76400 X
76500 X
76600 X
76700 X
76800 X
76900 X
77000 X
77100 X
77200 X
77300 X
77400 X
77500 X
77600 X
77700 X

00071800
00071900
00072000
00072100
00072200
00072300
00072400
00072500
00072600
00072700
00072800
00072900
00073000
00073100
00073200
00073300
00073400
00073500
00073600
00073700
00073800
00073900
00074000
00074100
00074200
00074300
00074400
00074500
00074600
00074700
00074800
00074900
00075000
00075100
00075200
00075300
00075400
00075500
00075600
00075700
00075800
00075900
00076000
00076100
00076200
00076300
00076400
00076500
00076600
00076700
00076800
00076900
00077000
00077100
00077200
00077300
00077400
00077500
00077600
00077700

*** PROGRAMA PRINCIPAL SUBROTINA COLECTOR ***
=====
IF NOT FIRST
  THEN BEGIN
    LIN:= 99;
    DATA:= TIME(7);
    REPLACE DATAUGA BY DATAH-929:06X FOR 2 DIGITS,"H";
    DATAH-935:06X FOR 2 DIGITS,"M";
    DATAH-947:12X FOR 2 DIGITS,"AS ";
    DATAH-923:06X FOR 2 DIGITS,"S";
    DATAH-917:06X FOR 2 DIGITS,"HS";

    IF LAT < 0
      THEN INC:= LAT-10
      ELSE INC:= LAT+10;
    FAZCAR: LIN:=99;
    FIRST:= TRUEF;
    INICIALIZACOES: IMPRIMEDALOS;
    END;

SOLARRADIATION;
COLLECTORSIMULATION;
FRP:= FR; UCP:= UL; ICP:= IP; ACP:= AC;
IF H = 0 THEN BEGIN GP:= G; RH:= G; END
  ELSE RH:= (GU/AC)/(H+R);
RHP:= RH*100;
SMTOU:= *(GU/AC);
SMTHM:= *(H+R);
IMPRIMECALCULOS;
IF DIAP = DIAGRAF AND HORAP = 12
  THEN BEGIN
    IF R NEG 0 THEN PLOIARENDIMENTO;
    IF SMTHR = 0 THEN RT:= G ELSE RT:= SMTOU/SMTHR;
    WRITE(IMP-LIN+RT+100);
    FAZCAR;
    DATAEFFICIENCYFACTOR;
    DATATEMPLENGHT;
  END;

```



```

89800 NAO,
89900 HOUR,
90000 SECTIME,
90100 SWIPATIME,
90200 POWERTIMEON,
90300 J,
90400 LABEL LOOP,
90500
90600 * ON BOOLEAN BOOPWER, BCO, FIRSITIME, BOOLIGA,
90700 *
90800 * DEFINE PWH(X)=
90900 * BEGIN
91000 * SMTC:= SMTFL:= 0,
91100 * FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL X-1
91200 * DO SMTC:= +FCSJA,
91300 * FOR J:= X+1 STEP 1 UNTIL NSECTIONS
91400 * DO SMTC:= +FLSJA,
91500 * PWHX:= (PC*SMTC)-(CML*SMTFL),
91600 * END #,
91700
91800 * PROCEDURE PLOTAGRAFICOS,
91900 * =====
92000 * BEGIN
92100 * REPLACE TEXTIOY0A BY "ENERGIA SOLAR - SWH?"*,
92200 * REPLACE TEXTIOX0A BY " TEMPO - SH?"*,
92300 * PWHX:=PWH(X),
92400 * PWHY:=PWH(Y),
92500 * N1G1A:=N1G2A:=N1G3A:=N1G4A:=N1G5A:=N1G6A:=DTEMPD,
92600 * N51A:=0, N5G2A:=5, N5G3A:=9, N5G4A:=1, N5G5A:=4, N5G6A:=2,
92700 * REPLACE TEX0A BY "ENERGIA SOLAR INCIDENTE (WH)",
92800 * REPLACE TEX5A BY "ENERGIA ABSORVIDA PELA COLETOR",
92900 * REPLACE TEX10A BY "ENERGIA UTIL CONSUMIDA",
93000 * REPLACE TEX15A BY "PERDAS TERMICAS P/ O ANSIENTE",
93100 * REPLACE TEX20A BY "PERDAS DEVIDO REABASTECIMENTO",
93200 * REPLACE TEX25A BY "CONSUMO DE ENERGIA ELETRICA",
93300 * GRAFI(DIEMPO,ABSX,ORDY,TEXTIOX,TEXTIOY),
93400
93500 *
93600 *
93700 * REPLACE TEXTIOY0A BY " TEMPERATURA - GC?"*,
93800 * REPLACE TEXTIOX0A BY " TEMPO - SH?"*,
93900 * PWHX:=PWH(X),
94000 * PWHY:=PWH(Y),
94100 * N1G1A:=N1G2A:=N1G3A:=N1G4A:=DTEMPD,
94200 * N51A:=0, N5G2A:=5, N5G3A:=9, N5G4A:=1, N5G5A:=4, N5G6A:=2,
94300 * REPLACE TEX0A BY "TEMPERATURA DA AGUA P/ CCUSUMC",
94400 * REPLACE TEX5A BY "TEMP. DA AGUA NA SAIDA COLETOR",
94500 * REPLACE TEX10A BY "TEMP. AGUA NA ENTRADA COLETOR",
94600 * REPLACE TEX15A BY "TEMP. AGUA DE REABASTECIMENTO",
94700 * GRAFI(DIEMPO,ABSX,ORDY,TEXTIOX,TEXTIOY),
94800 *
94900 *
95000 *
95100 *
95200 * REPLACE TEXTIOY0A BY "ENERGIA ELETRICA - SWH?"*,
95300 * REPLACE TEXTIOX0A BY " TEMPO - SH?"*,
95400 * PWHX:=PWH(X),
95500 * PWHY:=PWH(Y),
95600 * N1G1A:=N1G2A:=N1G3A:=N1G4A:=DTEMPD,
95700 * N51A:=0, N5G2A:=5, N5G3A:=9, N5G4A:=1, N5G5A:=4, N5G6A:=2,

```

```

00089800
00089900
00090000
00090100
00090200
00090300
00090400
00090500
00090600
00090700
00090800
00090900
00091000
00091100
00091200
00091300
00091400
00091500
00091600
00091700
00091800
00091900
00092000
00092100
00092200
00092300
00092400
00092500
00092600
00092700
00092800
00092900
00093000
00093100
00093200
00093300
00093400
00093500
00093600
00093700
00093800
00093900
00094000
00094100
00094200
00094300
00094400
00094500
00094600
00094700
00094800
00094900
00095000
00095100
00095200
00095300
00095400
00095500
00095600
00095700

```

```

95800 MSG1A:=0; NIG2A:=NIG3A:=NIG4A:=NIG5A:=NIG6A:=0;
95900 REPLACE IEGCA BY "CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA";
96000 GRAFICPJ1*ABSX2*ORDY2,TEXTCX,TEXTDY;
96100
96200 REPLACE TEXTYF0A BY "VAZAO - RENDIA - COLETOR";
96300 REPLACE TEXTX50A BY "LIMPO - CHIA";
96400 REPLACE IEG0A BY "VAZAO TERMOSIFAD CL/H2A";
96500 REPLACE IEG5A BY "RENDIMENTO COLETOR GZA";
96600 PEG1A:=RAQ1A:=2;
96700 RES1A:=5; RES18A:=1; RES16A:=5; RES10A:=1;
96800 RES2A:=FAQ2A:=1;
96900 MSG2A:=9; NIG1A:=0; MSG3A:=MSG4A:=MSG5A:=MSG6A:=0;
97000 MSG1A:=0; NIG2A:=NIG3A:=NIG4A:=NIG5A:=NIG6A:=0;
97100 GRAFICUTEMPO*ABSX*ORDYMT,TEXTDX,TEXTDY;
97200 END OF PROCEDURE;
97300
97400
97500
97600
97700 PROCEDURE HEATLOSSCOEFF(NSEC);
97800 VALUE NSEC;
97900 INTEGER NSEC;
98000 BEGIN
98100 PEAL LI,R1,R2,R3,R4,R5,TANEM,NU;
98200 LABEL LOOP1, LOOPB, LOOPI;
98300 DEFINE
98400 GR(X,Y,Z)= GRASHOF:= G*ETA*(L/NSEC)*Y**4)/(X*(VC**2)) #,
98500
98600 BETAT(Y)= BETA:= -1.6431459-4 + X*-4.498692-5 - (X**2)*5.375362-6.
98700 + (Y**3)*2.306992-7 - (X**4)*4.8973283-9 +
98800 (X**5)*5.00550152-11 - (X**6)*1.96377372-13 #,
98900 NH20(X)=KF:=C.56014+C.001455*X+(C2.59142-5)*X**2)-(C1.0232687-6)*X**3)
99000 +((1.12700615-B)*X**4)-(C4.3494123-11)*X**5) #,
99100 PRUI(X)= PRANDT:= 13-3768-0.51158385*X+(0.01364377*X**2)
99200 -(C2.506540423-4)*X**3)+(C3.28951633-6)*X**4)-(C2.386413-8)*X**5)
99300 +((7.4600653-11)*X**6) #;
99400
99500 LI:= L/NSEC;
99600 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL NSEC
99700 DO BEGIN
99800
99900 LOOP1: IF I=1 OR I=SECTIONS
100000 THEN CLGIA:= USSIA*(AGIA-AT)*(TSNGIA-TAMB)
100100 ELSE CLGIA:= USSIA*AGIA*(TSNGIA-TAMB);
100200
100300
100400 IF CLGIA < 0 THEN CLGIA:= 0;
100500 IF TSNGIA < TAMB THEN TSNGIA:= TAMB;
100600 KH20(TSNGIA);
100700 PRUI(TSNGIA);
100800 RETIAT(TSNGIA);
100900 GRCKFI,CLGIA);
101000
101100 IF GRASHOF > 10**5 AND GRASHOF < 10**11
101200 THEN HIGIA:= (KF/(CL/NSEC)*0.60)**((GRASHOF*PRANDT)**0.2)
101300 ELSE HIGIA:= (KF/(CL/NSEC)*0.17)**((GRASHOF*PRANDT)**0.25);
101400 GRKAR,I,CLGIA);
101500 IF T4GIA < TAMB THEN T4GIA:= TAMB;
101600 IF GRASHOF * PRAR < 129
101700 THEN HOSIA:= 0.95*((T4GIA-TAMB)**0.25)/(CL/NSEC)*I

```

```

00095900
00095900
00096000
00096100
00096200
00096300
00096400
00096500
00096600
00096700
00096800
00096900
00097000
00097100
00097200
00097300
00097400
00097500
00097600
00097700
00097800
00097900
00098000
00098100
00098200
00098300
00098400
00098500
00098600
00098700
00098800
00098900
00099000
00099100
00099200
00099300
00099400
00099500
00099600
00099700
00099800
00099900
00100000
00100100
00100200
00100300
00100400
00100500
00100600
00100700
00100800
00100900
00101000
00101100
00101200
00101300
00101400
00101500
00101600
00101700

```

```

101800
101900
102000
102100
102200
102300
102400
102500
102600
102700
102800
102900
103000
103100
103200
103300
103400
103500
103600
103700
103800
103900
104000
104100
104200
104300
104400
104500
104600
104700
104800
104900
105000
105100
105200
105300
105400
105500
105600
105700
105800
105900
106000
106100
106200
106300
106400
106500
106600
106700
106800
106900
107000
107100
107200
107300
107400
107500
107600
107700

*
ELSE H09IA:= 0.95*((I4CIA-TAMB)**0.333);
R1:= 1/(6.28*PI)*LI*HIGIA;
R2:= LNC(R1/RI1)/(6.28*PI*LI);
R3:= LNC(R2/RI2)/(6.28*PI*LI);
R4:= LNC(R3/RI3)/(6.28*PI*LI);
IF H09IA = 0 THEN R5:= 59995;
ELSE R5:= 1/(6.28*PI*LI*H09IA);
*WRITE(REM,*,R1,R2,R3,R4,R5,QLCIA,HIGIA,ACGIA,LI);
I1CIA:= I1CIA - QLCIA/CHIGIA*ACGIA;
I2CIA:= I2CIA - QLCIA/LN(R1/RI1)/(6.28*PI*LI);
I3CIA:= I3CIA - QLCIA/LN(R2/RI2)/(6.28*PI*LI);
I4NEW:= I3CIA - QLCIA/LN(R3/RI3)/(6.28*PI*LI);
*WRITE(REM,*,I1CIA,I2CIA,I3CIA,I4NEW);
IF I4NEW < IAMB THEN I4NEW:= IAMB;
IF I4NEW < IAMB THEN I4NEW:= IAMB;
IF I=1 OR I=SECTIONS
THEN USSIA:= 1/(ACGIA*AT)*(RI+R2+R3+R4+R5);
ELSE USSIA:= 1/(ACGIA*(RI+R2+R3+R4+R5));
*WRITE(REM,*,I1CIA,I2CIA,I3CIA,I4CIA,HIGIA,H09IA,QLCIA);
IF ABS(I4NEW-I4CIA) < 1.0
THEN BEGIN
I4CIA:= I4NEW;
*WRITE(REM,*,I1CIA,I2CIA,I3CIA,I4CIA,HIGIA,H09IA,QLCIA);
*WRITE(REM,*,I4NEW);
ELSE BEGIN
I4CIA:= I4NEW;
GO LOOP1;
END;
END OF FOR;
LOOP1: QT:= UST*AT*(I1CIA-TAMB);
K120(I1CIA);
PROT(I1CIA);
LI:= 0.9*DI1;
BETAT(I1CIA);
GR(MF,LI,QT);
NU:= 0.58*((GRASHOF*PRANDT)**0.20);
HIT:= NU*MF/LI;
IF GRASHOF*PRAR < 149
THEN H0I:= 1.32*((I4T-TAMB)/LI)**0.25;
ELSE H0I:= 1.43*((I4T-TAMB)**0.333);
R1:= 1/(PI*HIT);
R2:= ER1/(K1*AT);
R3:= ER2/(K2*AT);
R4:= ER3/(K3*AT);
R5:= 1/(CAT*HOT);
I1I:= I1CIA-CI/CHIT*AT;
I2I:= I1I-CT*ER1/(K1*AT);
I3I:= I2I-CT*ER2/(K2*AT);
I4NEW:= I3I-CT*ER3/(K3*AT);
UST:= 1/(CAT*(CPI+R2+R3+R4+R5));
IF ABS(I4NEW-I4I) < 1.0
THEN I4I:= I4NEW;
ELSE BEGIN
I4I:= I4NEW;
GO LOOP1;
END;
LOOPB:
99:= USB*AT*(I1CIA-IAMB);
*

```



```

107800 IF Q3 < 0 THEN Q3:= 0;
107900 IF T48 < TAMB THEN T48:= TAMB;
108000 K42CT(SNSECTIONSA);
108100 PRCT(SNSECTIONSA);
108200
108300 BEIAT(SNSECTIONSA);
108400 GR(KF,LI,OB);
108500 NU:= 0.15*((GRASHCF*PRANDT)*0.333);
108600 HIB:= NU*KF/LI;
108700
108800
108900
109000
109100
109200
109300
109400
109500
109600
109700
109800
109900
110000
110100
110200
110300
110400
110500
110600
110700
110800
110900
111000
111100
111200
111300
111400
111500
111600
111700
111800
111900
112000
112100
112200
112300
112400
112500
112600
112700
112800
112900
113000
113100
113200
113300
113400
113500
113600
113700

IF FOR = 0 THEN R5:= 99999
ELSE R5:= 1/(CAT*HOB);
I1B:= ISNSECTIONSA-38/(CHIE*AT);
I2B:= I1B-CB*ER1/(K1*AT);
I3B:= I2B-CB*ER2/(K2*AT);
I4NEB:= I3B-CB*ER3/(K3*AT);
USB:= 1/(CAT*(R1+R2+R3+R4+R5));
IF ABS(T4NEB-T4B) < 1.0
THEN T4B:= T4NEB
ELSE BEGIN
T4B:= T4NEB;
IF T43 < TAMB THEN T4B:= TAMB;
GO LOUPE?
END;
USP12:= *US1; USNSECTIONSA:= *USB;
END OF PROCEDURE;
===== INICIO DA PRIMEIRA CHAMADA =====
INICIALIZA VARIAVEIS
DADOS DO TANQUE
IF NOT FIRSTIME
THEN BEGIN
READCARDATAPJ,*,/DII,L);
READCARDATAPJ,*,/ERI,ER2,ER3);
READCARDATAPJ,*,/K1,K2,K3);
READCARDATAPJ,*,/NAO,VOLI,RELECT);
READCARDAT1,*/NSCTIONS,TZERO,DIEMPO);
READCARDGAI2,*/TADMIN);
READCARDAT13,*/);
THRU I DO BEGIN
READCARDAT13,*/J,ML,DELTAML);
TABPERFIL9J,AA:= ML;
TABPERFIL9J,2A:= DELTAML;
END;
CONSTANTES
PRAR:= 0.72;
KAR:= 0.03;
G:= 9.8;
VC:= 0.5532-67
T4I:=T4B:= TAMB+3;

```

```

113800
113900
114000
114100
114200
114300
114400
114500
114600
114700
114800
114900
115000
115100
115200
115300
115400
115500
115600
115700
115800
115900
116000
116100
116200
116300
116400
116500
116600
116700
116800
116900
117000
117100
117200
117300
117400
117500
117600
117700
117800
117900
118000
118100
118200
118300
118400
118500
118600
118700
118800
118900
119000
119100
119200
119300
119400
119500
119600
119700

      HOUR:= 07
      CP:= 4187.02
      FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL NSECTIONS
      DO BEGIN
        TSCGIA:= TSNQIA:= YZERO;
        T4GIA:= TAMB + 33
      END;

      * CALCULO DAS AREAS DAS SECCOES
      RI1:= DI1/2;
      DO1:= DI1*(2*ERI);
      RO1:= DO1/2;
      RI2:= DO1;
      DO2:= DI2*(2*ER2);
      RO2:= DO2/2;
      RI3:= DI3/2;
      DO3:= DI3*(2*ER3);
      RO3:= DO3/2;
      AT:= 3.14*(RI1**2);
      AGIA:= ANSECTIONS*AT;
      FOR I:= 2 STEP 1 UNTIL NSECTIONS-1 DO AGIA:= 6.28*RI1*L/NSECTIONS;
      *WRITE(IMP1,*,RI1,RI2,RI3,RO1,RO2,RO3);

      * INICIALIZACAO DOS COEFICIENTES LE PERCA DA SECCAO I DO TANQUE
      *****
      USE:=RUST= 0.17
      VOLUME:= 1000 * 3.14 * (DI1**2) * L / 4.0;  * LITROS
      FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL NSECTIONS
      DO BEGIN
        USGIA:= 0.17
        MGIA:= VOLUME/ANSECTIONS;
      END;
      * WRITE(REM,*,VOLUME,MGIA);

      * PROGRAMA PRINCIPAL
      *****
      FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL NSECTIONS
      DO QST:= * + MGIA*CP*(TSNGIA-TLREF)/3600*(NHR)
      QSTANT:= QST;
      WRITE(IMP1,F1);
      WRITE(IMP1,F2,FJ,TAMB,TSNGIA,TSNG2I,TSNG3I,TSNG4I,TSNG5I,QST,
        SELECT,QU,QTL,GR);
      PJ:= -1;
      PJI:= -1;
      DIAL:= 1;
      FIRSTIME:= TRUE;
      END OF THEN;
      ***** FIM DA PRIMEIRA CHAMADA *****
      IF NOT LASTIME
      THEN BEGIN

```

```

119800
119900
120000
120100
120200
120300
120400
120500
120600
120700
120800
120900
121000
121100
121200
121300
121400
121500
121600
121700
121800
121900
122000
122100
122200
122300
122400
122500
122600
122700
122800
122900
123000
123100
123200
123300
123400
123500
123600
123700
123800
123900
124000
124100
124200
124300
124400
124500
124600
124700
124800
124900
125000
125100
125200
125300
125400
125500
125600
125700

7 ML:= TABPERFILSHOUR,11;
  DELTAML:= TABPERFILSHOUR*2A;
  HEATLOSSCOEFF(NSECTIONS);
  SECTIME:= 0;
  SHIPRTIME:= 0;
7 I HOUR:= HOUR;
  CASE I HOUR OF BEGIN
    5:6:7:10:11:12:13:14:17:18: 800LIGA:= TRUE;
    ELSE: 800LIGA:= FALSE;
  END;
7 CU:= 0;
7 ===== CALCULO DO PERFIL DE TEMPERATURA =====
  THRU 3600 DO BEGIN
    SECTIME:= * +1;
    I COP:
7 I:= 1;
  IF TCO > TSNGLA
    THEN FCGIA:= 1
    ELSE FCGIA:= 0;
7 TSNGLA:= TSNGLA+(DTAL/MGIA)*(FCGIA*MGIA*CP*(TGO-TSNGLA) +
  ML*CP*(TSNGI+1A-TSNGLA)-(USGIA*MGIA*(TSNGIA-TAMB)));
7
7 FOR I:= 2 STEP 1 UNTIL NSECTIONS - 1
  DO BEGIN
    IF TCO < TSNGLA-1A AND TCO > TSN*1A
      THEN FCGIA:= 1
      ELSE FCGIA:= 0;
    IF TLR < TSNGLA-1A AND TLR > TSN*1A
      THEN FLGIA:= 1
      ELSE FLGIA:= 0;
    SWTFC:= 0;
    SWTFL:= 0;
    NDEGAIN1:=NDEGAIN2:= 0;
    MMCI:= 0;
    IF MMGIA > 0 THEN NDEGAIN1:= MMGIA*(TSNGI-1A-TSNGLA);
    IF MMGI+1A < 0 THEN NDEGAIN2:= MMGI+1A*(TSNGIA-TSNGLA+1A);
7 TSNGLA:= TSNGLA+(DTAL/MGIA)*(USGIA*MGIA*CP*(TAMB-TSNGLA))+
  (DTAL/MGIA)*(FCGIA*MGIA*CP*(TGO-TSNGLA)+FLGIA*ML*(TLR-TSNGLA)+
  NDEGAIN1+NDEGAIN2);
7 END OF FOR;
7 I:= NSECTIONS;
  IF TCO < TSNGLA-1A AND TCO > TSNGLA
    THEN FCGIA:= 1
    ELSE FCGIA:= 0;
  IF TLR < TSNGLA
    THEN FLGIA:= 1
    ELSE FLGIA:= 0;
  SWTFC:= 0;
  FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL NSECTIONS - 1
    DO SWTFC:= *FCGJ;
  TSNGLA:= TSNGLA+(DTAL/MGIA*CP)*(ML*CP*(FCGIA*(TGO-TSNGLA)+

```

```

125800 (TSNG1-IA-TSNGIA)*SMYFC)+
125900 ML*CP*(FLAIA*(TLR-TSNGIA))*USGIA*AGIA*(TAMB-TSNGIA));
126000 POC:= FALSE;
126100 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL NSCTIONS
126200 DO IF ABS(TSNGIA-TSNGIA) > 1.0 THEN BOC:= TRUE;
126300 IF BOC
126400 THEN BEGIN
126500 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL NSECTIONS
126600 DO TSNGIA:= TSNGIA;
126700 GO LOOP;
126800 END;
126900 ***** AUVEICIMENTO ELÉTRICO *****
127000 IF TSNGAVA < (TAMIN + HISTERESE) AND BOCLICA
127100 THEN BEGIN
127200 DELTATEMP:=(VOLI**2)/(RELECT * VOLUME * CP);
127300 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL NSCTIONS DO TSNGIA:= *DELTATEMP;
127400 IF NOT BOCPOWER
127500 THEN BEGIN
127600 POCERTIMEON:= SELTIME;
127700 BOCPWER:= TRUE;
127800 *****
127900 *WRITE(REF1,*,POWERTIMEON,PJ1,DELTATEMP);
128000 ABSX2SPJ1:=*IX:= HOUR + (POWERTIMEON/3600);
128100 CROY2SPJIA:= 0;
128200 ABSX2CPJ1:=*IX:= HOUR + (POWERTIMEON/3600);
128300 CROY2SPJIA:= (VOLI**2)/RELECT;
128400 HISTERESE:= 5;
128500 *END;
128600 END
128700 .ELSE IF BOCPWER
128800 THEN BEGIN
128900 BOCPWER:= FALSE;
129000 SMPRTIME:= * + (SECTIME - POWERTIMEON);
129100 POCERTIMEON:= 0;
129200 ABSX2SPJ1:=*IX:= HOUR+(SECTIME/3600);
129300 CROY2SPJIA:= (VOLI**2)/RELECT;
129400 ABSX2CPJ1:=*IX:= HOUR+(SECTIME/3600);
129500 CROY2SPJIA:= 0;
129600 *WRITE(REF1,*,SECTIME,SMPRTIME);
129700 HISTERESE:= 0;
129800 *END;
129900 CU:= *HL*CP*(TSNGIA-TLR)/3600;
130000 IF OU LEQ DELTAML THEN ELSE BEGIN PL:= 0; DELTAML:= SECTIME; END;
130100 END OF TPRU;
130200 IF BOCPWER
130300 THEN BEGIN
130400 BOCPWER:= FALSE;
130500 SMPRTIME:= * + (SECTIME - POWERTIMEON);
130600 POCERTIMEON:= 0;
130700 ABSX2SPJ1:=*IX:= HOUR+(SECTIME/3600);
130800 CROY2SPJIA:= (VOLI**2)/RELECT;
130900 ABSX2CPJ1:=*IX:= HOUR+(SECTIME/3600);
131000 CROY2SPJIA:= 0;
131100 HISTERESE:= 0;
131200 *END;
131300 *****
131400 *
131500 *
131600 *
131700 *
131800 *
131900 *
132000 *
132100 *
132200 *
132300 *
132400 *
132500 *
132600 *
132700 *
132800 *
132900 *
133000 *
133100 *
133200 *
133300 *
133400 *
133500 *
133600 *
133700 *
133800 *
133900 *
134000 *
134100 *
134200 *
134300 *
134400 *
134500 *
134600 *
134700 *
134800 *
134900 *
135000 *
135100 *
135200 *
135300 *
135400 *
135500 *
135600 *
135700 *
135800 *
135900 *
136000 *
136100 *
136200 *
136300 *
136400 *
136500 *
136600 *
136700 *
136800 *
136900 *
137000 *
137100 *
137200 *
137300 *
137400 *
137500 *
137600 *
137700 *
137800 *
137900 *
138000 *
138100 *
138200 *
138300 *
138400 *
138500 *
138600 *
138700 *
138800 *
138900 *
139000 *
139100 *
139200 *
139300 *
139400 *
139500 *
139600 *
139700 *
139800 *
139900 *
140000 *
140100 *
140200 *
140300 *
140400 *
140500 *
140600 *
140700 *
140800 *
140900 *
141000 *
141100 *
141200 *
141300 *
141400 *
141500 *
141600 *
141700 *
141800 *
141900 *
142000 *
142100 *
142200 *
142300 *
142400 *
142500 *
142600 *
142700 *
142800 *
142900 *
143000 *
143100 *
143200 *
143300 *
143400 *
143500 *
143600 *
143700 *
143800 *
143900 *
144000 *
144100 *
144200 *
144300 *
144400 *
144500 *
144600 *
144700 *
144800 *
144900 *
145000 *
145100 *
145200 *
145300 *
145400 *
145500 *
145600 *
145700 *
145800 *
145900 *
146000 *
146100 *
146200 *
146300 *
146400 *
146500 *
146600 *
146700 *
146800 *
146900 *
147000 *
147100 *
147200 *
147300 *
147400 *
147500 *
147600 *
147700 *
147800 *
147900 *
148000 *
148100 *
148200 *
148300 *
148400 *
148500 *
148600 *
148700 *
148800 *
148900 *
149000 *
149100 *
149200 *
149300 *
149400 *
149500 *
149600 *
149700 *
149800 *
149900 *
150000 *
150100 *
150200 *
150300 *
150400 *
150500 *
150600 *
150700 *
150800 *
150900 *
151000 *
151100 *
151200 *
151300 *
151400 *
151500 *
151600 *
151700 *
151800 *
151900 *
152000 *
152100 *
152200 *
152300 *
152400 *
152500 *
152600 *
152700 *
152800 *
152900 *
153000 *
153100 *
153200 *
153300 *
153400 *
153500 *
153600 *
153700 *
153800 *
153900 *
154000 *
154100 *
154200 *
154300 *
154400 *
154500 *
154600 *
154700 *
154800 *
154900 *
155000 *
155100 *
155200 *
155300 *
155400 *
155500 *
155600 *
155700 *
155800 *
155900 *
156000 *
156100 *
156200 *
156300 *
156400 *
156500 *
156600 *
156700 *
156800 *
156900 *
157000 *
157100 *
157200 *
157300 *
157400 *
157500 *
157600 *
157700 *
157800 *
157900 *
158000 *
158100 *
158200 *
158300 *
158400 *
158500 *
158600 *
158700 *
158800 *
158900 *
159000 *
159100 *
159200 *
159300 *
159400 *
159500 *
159600 *
159700 *
159800 *
159900 *
160000 *
160100 *
160200 *
160300 *
160400 *
160500 *
160600 *
160700 *
160800 *
160900 *
161000 *
161100 *
161200 *
161300 *
161400 *
161500 *
161600 *
161700 *
161800 *
161900 *
162000 *
162100 *
162200 *
162300 *
162400 *
162500 *
162600 *
162700 *
162800 *
162900 *
163000 *
163100 *
163200 *
163300 *
163400 *
163500 *
163600 *
163700 *
163800 *
163900 *
164000 *
164100 *
164200 *
164300 *
164400 *
164500 *
164600 *
164700 *
164800 *
164900 *
165000 *
165100 *
165200 *
165300 *
165400 *
165500 *
165600 *
165700 *
165800 *
165900 *
166000 *
166100 *
166200 *
166300 *
166400 *
166500 *
166600 *
166700 *
166800 *
166900 *
167000 *
167100 *
167200 *
167300 *
167400 *
167500 *
167600 *
167700 *
167800 *
167900 *
168000 *
168100 *
168200 *
168300 *
168400 *
168500 *
168600 *
168700 *
168800 *
168900 *
169000 *
169100 *
169200 *
169300 *
169400 *
169500 *
169600 *
169700 *
169800 *
169900 *
170000 *
170100 *
170200 *
170300 *
170400 *
170500 *
170600 *
170700 *
170800 *
170900 *
171000 *
171100 *
171200 *
171300 *
171400 *
171500 *
171600 *
171700 *
171800 *
171900 *
172000 *
172100 *
172200 *
172300 *
172400 *
172500 *
172600 *
172700 *
172800 *
172900 *
173000 *
173100 *
173200 *
173300 *
173400 *
173500 *
173600 *
173700 *
173800 *
173900 *
174000 *
174100 *
174200 *
174300 *
174400 *
174500 *
174600 *
174700 *
174800 *
174900 *
175000 *
175100 *
175200 *
175300 *
175400 *
175500 *
175600 *
175700 *
175800 *
175900 *
176000 *
176100 *
176200 *
176300 *
176400 *
176500 *
176600 *
176700 *
176800 *
176900 *
177000 *
177100 *
177200 *
177300 *
177400 *
177500 *
177600 *
177700 *
177800 *
177900 *
178000 *
178100 *
178200 *
178300 *
178400 *
178500 *
178600 *
178700 *
178800 *
178900 *
179000 *
179100 *
179200 *
179300 *
179400 *
179500 *
179600 *
179700 *
179800 *
179900 *
180000 *
180100 *
180200 *
180300 *
180400 *
180500 *
180600 *
180700 *
180800 *
180900 *
181000 *
181100 *
181200 *
181300 *
181400 *
181500 *
181600 *
181700 *
181800 *
181900 *
182000 *
182100 *
182200 *
182300 *
182400 *
182500 *
182600 *
182700 *
182800 *
182900 *
183000 *
183100 *
183200 *
183300 *
183400 *
183500 *
183600 *
183700 *
183800 *
183900 *
184000 *
184100 *
184200 *
184300 *
184400 *
184500 *
184600 *
184700 *
184800 *
184900 *
185000 *
185100 *
185200 *
185300 *
185400 *
185500 *
185600 *
185700 *
185800 *
185900 *
186000 *
186100 *
186200 *
186300 *
186400 *
186500 *
186600 *
186700 *
186800 *
186900 *
187000 *
187100 *
187200 *
187300 *
187400 *
187500 *
187600 *
187700 *
187800 *
187900 *
188000 *
188100 *
188200 *
188300 *
188400 *
188500 *
188600 *
188700 *
188800 *
188900 *
189000 *
189100 *
189200 *
189300 *
189400 *
189500 *
189600 *
189700 *
189800 *
189900 *
190000 *
190100 *
190200 *
190300 *
190400 *
190500 *
190600 *
190700 *
190800 *
190900 *
191000 *
191100 *
191200 *
191300 *
191400 *
191500 *
191600 *
191700 *
191800 *
191900 *
192000 *
192100 *
192200 *
192300 *
192400 *
192500 *
192600 *
192700 *
192800 *
192900 *
193000 *
193100 *
193200 *
193300 *
193400 *
193500 *
193600 *
193700 *
193800 *
193900 *
194000 *
194100 *
194200 *
194300 *
194400 *
194500 *
194600 *
194700 *
194800 *
194900 *
195000 *
195100 *
195200 *
195300 *
195400 *
195500 *
195600 *
195700 *
195800 *
195900 *
196000 *
196100 *
196200 *
196300 *
196400 *
196500 *
196600 *
196700 *
196800 *
196900 *
197000 *
197100 *
197200 *
197300 *
197400 *
197500 *
197600 *
197700 *
197800 *
197900 *
198000 *
198100 *
198200 *
198300 *
198400 *
198500 *
198600 *
198700 *
198800 *
198900 *
199000 *
199100 *
199200 *
199300 *
199400 *
199500 *
199600 *
199700 *
199800 *
199900 *
200000 *

```

```

131800 ML:= TABPERFIL*HOUR,IA?
131900 IF NL = 0 AND MC = 0
132000 THEN BEGIN
132100   QST:= 0?
132200   FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL NSLCTIONS
132300     DO QST:= * + MGIA*CP*(TSNGIA-TLREF)
132400     TMED:= (QST/(NSLCTIONS*MGIA*CP))*TLREF?
132500     FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL NSLCTIONS
132600       DO TSNGIA:= TMED?
132700     END?
132800
132900   ICI:= TSNGNSECTIONS?
133000   WRITE(REN,*,ICI)?
133100   Z CALCULO DA ENERGIA GANHA E PERDIDA PELO TANQUE
133200   Z =====
133300   QIL:= QST:= TM:= 0? OR:= UTP:= 0?
133400   FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL NSECTIONS
133500     DO BEGIN
133600       UTP:= * + UGGIE?
133700       QIL:= * + USGIA*QI*(TSNGIA-TAMB)? X (WH)
133800       QST:= * + MGIA*CP*(TSNGIA-TLREF)/3600? X (WHR)
133900       IF FLGIA NEG 0 THEN OR:= * + ML*CP*(TSNGIA-TLP)*DELTAML/3600?
134000       IK:= * + MGIA*TSNGIA?
134100     END?
134200
134300     UTP:= * + USG + UST?
134400     IM:= TM/VOLUME?
134500     QIL:= * + USI*AT*(TSNGIA-TAMB) + USR*AT*(TSNGNSECTIONS-TAMB)?
134600     QU:= ML*CP*(TSNGIA-TLREF)*DELTAML/3600?
134700     SELECT:= ((VOLI*QZ)/SELECT)*(SMP*TIME)*(1/3600)? X (WHR)
134800     QLP:= QIL? QUP:= QU? CEP:= SELECT?
134900     QIP:= QU? CEP:= SELECT?
135000
135100     WRITE(IMP1,FZ,HOUR,TAMB,TSNGIA,TSNG2A,TSNG3A,TSNG4A,TSNG5A,QST,
135200     SELECT,QU,QIL,QR)?
135300
135400   Z CARREGA ARRAYS PARA PLOTTER
135500
135600   CRDYCPJ:=*IA:= HP?
135700   XCRDYCPJ*DIEMPOA:= SELECT?
135800   XCRDYCPJ*2*DIEMPOA:= QU?
135900   XCRDYCPJ*3*DIEMPOA:= QIL?
136000   XCRDYCPJ*4*DIEMPOA:= OR?
136100   XCRDYCPJ*5*DIEMPOA:= SELECT?
136200   CRDYCPJ:= TSNGIA?
136300   CRDYCPJ*DIEMPOA:= TCO?
136400   CRDYCPJ*2*DIEMPOA:= TSNGNSECTIONS?
136500   CRDYCPJ*3*DIEMPOA:= TLR?
136600   ABSXCPJA:=HOUR?
136700   IF BOOPWER
136800     THEN BEGIN
136900     ABSX2CPJ1:=*IA:= HOUR*(SMP*TIME MOD 3600)/3600?
137000     CRDY2CPJ1A:= (VOLI*2)/RELECT?
137100     END
137200   ELSE BEGIN
137300     ABSX2CPJ1:= *IA:= HOUR*(SMP*TIME MOD 3600)/3600?
137400     CRDY2CPJ1A:= 0?
137500     END?
137600   END LASTIME
137700   ELSE IF HOUR NEG 0 THEN PLOTGRAFICUS?

```

00131800
00131900
00132000
00132100
00132200
00132300
00132400
00132500
00132600
00132700
00132800
00132900
00133000
00133100
00133200
00133300
00133400
00133500
00133600
00133700
00133800
00133900
00134000
00134100
00134200
00134300
00134400
00134500
00134600
00134700
00134800
00134900
00135000
00135100
00135200
00135300
00135400
00135500
00135600
00135700
00135800
00135900
00136000
00136100
00136200
00136300
00136400
00136500
00136600
00136700
00136800
00136900
00137000
00137100
00137200
00137300
00137400
00137500
00137600
00137700


```
143800 THEN BEGIN
143900   LASTREC:= -1;
144000   WRITE(ARGSYSTEMGLASTREC:**1A,/,ACP);
144100   WRITE(ARGSYSTEMGLASTREC:**1A,FF2,DIASIM,TAP,HP,FRP,UCP,ICP,UTP,
144200     TM,CIP,CEP);
144300   WRITE(REM,/,LASTREC);
144400   END
144500 ELSE BEGIN
144600   ARGSYSTEM.OPEN:= TRUE; LASTREC:= ARGSYSTEM.LASTRECORD;
144700   WRITE(ARGSYSTEMGLASTREC:**1A,FF2,DIASIM,TAP,HP,FRP,UCP,ICP,UTP,TM,
144800     CIP,CEP);
144900   END;
145000 PCOTERMINO:= TRUE;
145100 TANKSIMULATION(CHORAP,TAP,ILRP,IFOP,UP,MLP,IFIP,BCOTERMINO);
145200 LCC(ARGSYSTEM);
145300 FIM: IF NOT BOOTERMINO THEN WRITE(REM,/<"DIA P/ SIMULACAO INEXISTENTE">);
145400 PLOT(Q,0,999);
145500 END PROGRAM.
```

```
00143800
00143900
00144000
00144100
00144200
00144300
00144400
00144500
00144600
00144700
00144800
00144900
00145000
00145100
00145200
00145300
00145400
00145500
```


00005800
00005900
00006000
00006100
00006200
00006300
00006400
00006500
00006600
00006700
00006800
00006900
00007000
00007100
00007200
00007300
00007400
00007500
00007600
00007700
00007800
00007900
00008000
00008100
00008200
00008300
00008400

```

5800      SMUC:= * + UC?
5900      SMIC:= * + IC?
6000      SMUT:= * + UT?
6100      SMIT:= * + IT?
6200      SMCI:= * + CI?
6300      SMCE:= * + CE?
6400      END?
6500      MIAMB:= SMIAMB/PI?
6600      MHI:= SMHI/PI?
6700      MFR:= SMFR/PI?
6800      MIC:= SMUC/PI?
6900      MTC:= SMTC/PI?
7000      MUT:= SMUT/PI?
7100      MII:= SMII/PI?
7200      MCI:= SMCI/PI?
7300      MCE:= SMCE/PI?
7400      TC:= (MII+MIC)/2? TE:= MIAMB*(MIAMB+MIC)/2?
7500      X1:= (MHI/MCI)*AC? X2:= 24*(MIC-MIAMB)/MCI?
7600      X3:= 24*(MII-MIAMB)/MCI?
7700      F:= (MCI-MCE)/MCI?
7800      WRITE(DATALSN)/,DIA,X1,X2,X3,F?
7900      IT:= **PI?
8000      WRITE(IMP,LINE,DIA,MIAMB,MHI,MFR,MIC,MTC,MUT,MTI,MCT,MCE,
8100      F*100)?
8200      END OF WHILE?
8300      LCCK(DATALSN)?
8400      END OF PROGRAM.

```

```

100 $SET AUTOBIND
200 $BIND= FROM ROTINAS/PLOTIER1/LS1/, (CORBAT)GRAF
300 $USE RA FOR /CURTI1/
400 $USE RE FOR /GRACO/
500 $USE NS FOR /GRACA/
600 $USE NI FOR /GRACU/
700 $USE TE FOR /TITUL/
800 BEGIN
900 FILE
1000 ARGCATACKIND=DISK,TITLE="DATA,PKT/LSN ",PYUSE=IN,
1100 FILETYPE=7),
1200 ARGEXP(KIND=DISK,TITLE="SIMULA/DATA/EXPERIM ",FILETYPE=7),
1300 IMP(KIND=PRINTER), REM(KIND=REMOTE);
1400 *
1500 INTEGER M,P,IN,MAY,II,I,J,J,DIA,NFIT; REAL AI,SI,SFII,AFII,AC;
1600 REAL ARRAY XI(1:20),I:100A,YI(1:100A),E91:10A,BFIT(1:10A);
1700 *
1800 FCRWAT
1900 F1(//,"PARAMETROS DA REGRESSAO"),
2000 F2(CX28,/, "E(",II,")=" ,F10.5),
2100 F3(//,X21,"ANALISE DE VARIANCIA",//,64(" ")/,X2,"C.V.",X10,
2200 "G.L.",X9,"S.O.",X9,"O.N.",X10,"F",//,64(" ")/,"REGRESSAO",X6,
2300 I4,X5,F11-4,X2,F11-4,X5,F6-2,//,"RESIDUO",X8,I4,X5,F11-4,X2,F11-4,//,
2400 "-TOTAL",X10,I4,X5,F11-4,X7,"-",//),
2500 F4(//,"COEFICIENTE DE DETERMINACAO (R**2): ",F4.2);
2600 REAL SREG, SORES, SGTOT, VAR;
2700 *
2800 * VARIAVEIS GLOBAIS PARA UTILIZACAO DAS ROTINAS DE PLOTTER
2900 INTEGER NUMPT, NUMPT1, NUMPT2, NUMGRAFICO, YK;
3000 REAL ARRAY
3100 ORDX(0:300A, ABSX(0:300A, ORCY(0:300A, ABSX(150:300A);
3200 *
3300 INTEGER ARRAY
3400 NS(1:50A,
3500 NI(1:50A;
3600 ARRAY
3700 RA(1:30A,
3800 RE(1:30A;
3900 *
4000 ALPHA ARRAY
4100 TEXT(X(0:10A,
4200 IE(0:29A,
4300 TEXT(Y(0:10A;
4400 *
4500 PROCEDURE GRAFIC(NUMPT,ORDX,ORDY,TEXTX,TEXTY);
4600 * =====
4700 INTEGER NUMPT;
4800 ARRAY ORDX, ORDY(A;
4900 ALPHA ARRAY TEXTX,TEXTY(A;
5000 EXTERNAL;
5100 *
5200 PROCEDURE CURVA(NUMP,XV,YV, TX, TY);
5300 INTEGER NUMP;
5400 ARRAY XV,YV(A;
5500 ALPHA ARRAY TX, TY(A;
5600 EXTERNAL;
5700 *

```

```

5800 7  PROCEDURE PLOT(X,Y,IPENA);
5900  VALUE X, Y, IPENA;
6000  REAL X, Y;
6100  INTEGER IPENA;
6200  EXTERNAL;
6300  X
6400  Z
6500  PROCEDURE TRACAGRAFICO;
6600  BEGIN
6700  PEAL X,Y,IT,CT,CE;
6800  IJ:= NUMPTI+1; NUMPT2:= J+1;
6900  WHILE NOT REAR(CARGEEXP)/DIA,IT,CT,CE)
7000  DO BEGIN
7100  IJ:= *+1;
7200  ABSX(IJ)-IA:= (IT/CT)*AC;
7300  ORDY(IJ)-IA:= (CT-CE)/CT;
7400  ABSXIGJ:=*+IA:= DIA;
7500  ORDYIGJ:= (CT-CE)/CT;
7600  Z WRITE(IMP,*/DIA,ABSXIGJ,ORDYIGJ);
7700  END;
7800  NUMPT:= IJ-NUMPTI-1; Z WRITE(IMP,*/IJ,NUMPT,J);
7900  FOR IJ:= 1 STEP 1 UNTIL M
8000  DO BEGIN
8100  Y:= B(IA*XIGJ,IJA + B(2)*XIG2,IJA + B(3)*XIG3,IJA);
8200  X:= XIGJ,IJA/AC;
8300  ABSY(IJ)+NUMPTI+NUMPTIA:= X;
8400  ORDY(IJ)+NUMPTI+NUMPTIA:= Y; Z WRITE(REP,*/IJ+NUMPTI+NUMPTI);
8500  Z WRITE(IMP,*/X,Y);
8600  END;
8700  RECI7A:= 5; REPLACE TE90A BY "PONTUS SIMULADOS";
8800  REPLACE TE95A BY "PONTUS EXPERIMENTAIS";
8900  REPLACE TE910A BY "CORRELACAO PONTOS SIMULADOS";
9000  RECI8A:= 1; REPLACE TEXTDYG0A BY "AT/CT";
9100  RECI8A:= 1; REPLACE TEXTDYG0A BY "FRACAO SOLAR - FR";
9200  RECI8A:= 3;
9300  RECI8A:= 2;
9400  NI91A:= NUMPTI+1; NI92A:= NUMPTI; NI93A:= M;
9500  NS91A:= 29;
9600  NS92A:= 30; NS93A:= 0;
9700  GRAFIC(NUMPT,ABSX,ORDY,TEXTDYG,TEXTDYG);
9800  RECI7A:= 5; RECI8A:= 1;
9900  REPLACE TEXTDYG0A BY " DIA";
10000  REPLACE TEXTDYG0A BY " FRACAO SOLAR";
10100  RECI8A:= 2;
10200  NI91A:= NUMPTI; NI92A:= NUMPTI; NI93A:= 0;
10300  NS91A:= 0; NS92A:= 32; NS93A:= 0;
10400  REPLACE TE90A BY "PONTO SIMULADO";
10500  REPLACE TE95A BY "PONTO EXPERIMENTAL";
10600  GRAFIC(NUMPT,ABSX1,ORDY1,TEXTDYG1,TEXTDYG1);
10700  Z
10800  FLOTIO(0,999);
10900  END OF PROCEDURE TRACAGRAFICO;
11000  PEAL PROCEDURE SIMUL(CN,A,X,EPS,INDIG,NRC);
11100  VALUE N,EPS,INDIG,NRC;
11200  INTEGER N,NRC,INDIG;
11300  REAL EPS;
11400  AFRAY AC:=*+3; X5:=X;
11500  BEGIN
11600  . LABEL RETURN;
11700

```

```

00005900
0000590C
00006000
00006100
00006200
00006300
00006400
00006500
00006600
00006700
00006800
00006900
00007000
00007100
00007200
00007300
00007400
00007500
00007600
00007700
00007800
00007900
00008000
00008100
00008200
00008300
00008400
00008500
00008600
00008700
00008800
00008900
00009000
00009100
00009200
00009300
00009400
00009500
00009600
00009700
00009800
00009900
00010000
00010100
00010200
00010300
00010400
00010500
00010600
00010700
00010800
00010900
00011000
00011100
00011200
00011300
00011400
00011500
00011600
00011700

```

```

11800 BOLEAN BOO;
11900 INTEGER MAX,K,KMI,I,J,ISCAN,JSCAN,IRONK,JCOLK,IROXI,JCOLI,INTCH,
12000 NM,I,PI;
12100 REAL DETER,PIVOT,AI,JCK,JTEMP;
12200 ARRAY IROKQI:50A,JCOLQI:50A,JORGQI:50A,YI:50A;
12300 MAX:= N;
12400 IF INDIC > 0 THEN MAX:= N + 1;
12500 IF N > 50
12600 THEN BEGIN
12700   SIMUL:= 0;
12800   WRITC(IMP,<"NUMERO DE COGNITAS MUITO GRANDE">);
12900   GO RETORNA;
13000   END;
13100
13200 DETER:= 1;
13300 FOR K:= 1 STEP 1 UNTIL N
13400   DO BEGIN
13500     KMI:= K-1;
13600     PIVOT:= 0;
13700     FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
13800       DO FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL N
13900         DO IF K = 1
14000           THEN IF ABS(AQI,J) < ABS(PIVOT)
14100             THEN
14200               ELSE BEGIN
14300                 PIVOT:= AQI,J;
14400                 IROKKA:= I;
14500                 JCOLKA:= J;
14600                 END
14700               ELSE BEGIN
14800                 BOO:= FALSE;
14900                 FOR JSCAN:= 1 STEP 1 UNTIL KMI
15000                   DO FOR JSCAN:= 1 STEP 1 UNTIL KMI
15100                     DO IF I=IROKQI(JSCAN)
15200                       THEN BEGIN
15300                         JSCAN:=KMI+1;
15400                         IROKKA:=KMI+1;
15500                         BOO:= TRUE;
15600                         END
15700                       ELSE IF J=JCOLQI(JSCAN)
15800                         THEN BEGIN
15900                           JSCAN:= KMI+1;
16000                           IROKKA:= KMI+1;
16100                           BOO:= TRUE;
16200                           END
16300                         ELSE;
16400                         IF BOO THEN
16500                           ELSE IF ABS(AQI,J) < ABS(PIVOT)
16600                             THEN
16700                               ELSE BEGIN
16800                                 PIVOT:= AQI,J;
16900                                 IROKKA:= I;
17000                                 JCOLKA:= J;
17100                                 END;
17200                               END;
17300                             IF ABS(PIVOT) < EPS
17400                               THEN BEGIN
17500                                 SIMUL:= 0;
17600                                 GO RETORNA;
17700                                 END;

```

```

00011800
00011900
00012000
00012100
00012200
00012300
00012400
00012500
00012600
00012700
00012800
00012900
00013000
00013100
00013200
00013300
00013400
00013500
00013600
00013700
00013800
00013900
00014000
00014100
00014200
00014300
00014400
00014500
00014600
00014700
00014800
00014900
00015000
00015100
00015200
00015300
00015400
00015500
00015600
00015700
00015800
00015900
00016000
00016100
00016200
00016300
00016400
00016500
00016600
00016700
00016800
00016900
00017000
00017100
00017200
00017300
00017400
00017500
00017600
00017700

```

```

17800  IRONK:= IROWK*Z
17900  JCCLK:= JCCLK*Z
18000  DETER:= DETER*PIVOT
18100  FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL MAX
18200  DO ASIROMK,JA:= ASIROMK,JA/PIVOT
18300  ASIROMK,JCCLK:= 1/PIVOT
18400  FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
18500  DO BEGIN
18600  AIJCK:= ASI,JCCLK*Z
18700  IF I NEG IROWK
18800  THEN BEGIN
19000  ASI,JCCLK:= -AIJCK/PIVOT
19100  FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL MAX
19200  DO IF NEG JCCLK
19300  THEN ASI,JA:= ASI,JA-AIJCK*ASIROMK,JA
19400  ELSE
19500  END
19600  ELSE
19700  END
19800  END
19900  END
20000  FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
20100  DO BEGIN
20200  IROWI:= IROWK*Z
20300  JCCLK:= JCCLK*Z
20400  JORDGIA:= JCCLK
20500  IF INDIC > 0
20600  THEN XGJCOLIA:= ASIROMI,MAX
20700  ELSE
20800  END
20900  INTCH:= 0
21000  NPI:= N-1
21100  FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL NPI
21200  DO BEGIN
21300  IPI:= I+1
21400  FOR J:= IPI STEP 1 UNTIL N
21500  DO IF JORDGJA < JORDGIA
21600  THEN BEGIN
21700  JTEMP:= JORDGJA
21800  JORDGJA:= JORDGIA
21900  JORDGIA:= JTEMP
22000  INTCH:= INTCH + 1
22100  END
22200  ELSE
22300  END
22400  IF (INTCH MOD 2)=1
22500  THEN DETER:= -1*DETER
22600  SIMUL:= DETER
22700  RETURN
22800  END OF PROCEDURE SIMUL
22900  Z
23000  Z
23100  Z
23200  REAL PROCEDURE REGR(M,X,Y,N,A,B)
23300  VALUE M,N
23400  INTEGER M,N
23500  REAL A
23600  AFRAY XG**X,YG**Y,BG**Z
23700  BEGIN

```

17800

17900

18000

18100

18200

18300

18400

18500

18600

18700

18800

18900

19000

19100

19200

19300

19400

19500

19600

19700

19800

19900

20000

20100

20200

20300

20400

20500

20600

20700

20800

20900

21000

21100

21200

21300

21400

21500

21600

21700

21800

21900

22000

22100

22200

22300

22400

22500

22600

22700

22800

22900

23000

23100

23200

23300

23400

23500

23600

23700

00017800

00017900

00018000

00018100

00018200

00018300

00018400

00018500

00018600

00018700

00018800

00018900

00019000

00019100

00019200

00019300

00019400

00019500

00019600

00019700

00019800

00019900

00020000

00020100

00020200

00020300

00020400

00020500

00020600

00020700

00020800

00020900

00021000

00021100

00021200

00021300

00021400

00021500

00021600

00021700

00021800

00021900

00022000

00022100

00022200

00022300

00022400

00022500

00022600

00022700

00022800

00022900

00023000

00023100

00023200

00023300

00023400

00023500

00023600

00023700

```

23800 REAL EPS,NTWC,SY,SVY,DUM,S,CYY,DET,TEMP,DENON;
23900
24000 AFRAY SXGI=207, SXSGI=1C,1:10A, SYXJ=10A, CYXGI=10A, CCI=11,1:11A;
24100 INTEGER NPI,API,FM,IPJ,I,J,K;
24200
24300 NTWC:= 2*N;
24400 NPI:= N+1;
24500 SY:= 0.0;
24600 SYY:= 0.0;
24700 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
24800 DO BEGIN
24900   API:= N+1;
25000   SVGI:= C.0;
25100   SXMPIA:= 0.0;
25200   SYXGI:= C.0;
25300   END;
25400 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL M
25500 DO BEGIN
25600   SY:= SY+YGI;
25700   SYY:= SYY+YGI**2;
25800   DUM:= 1.0;
25900   FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL N
26000   DO BEGIN
26100     DUM:= 1;
26200     DUM:= DUM*XGJ,IA;
26300     SXGJA:= SXGJA+DUM;
26400     SYXGJA:= SYXGJA+Y,IA*DJM;
26500     END;
26600   FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL K
26700   DO FOR M:= 1 STEP 1 UNTIL N
26800     DO SXGJ,KA:=.*+XGJ,IA * XGJ,IA;
26900   END;
27000 FM:= M;
27100 CYY:= SYY/2 -SY*(SV/FM);
27200 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
27300 DO BEGIN
27400   CYXGI:= SYXGI/2 -SY*SXGI/FM;
27500   CCI,APIA:= CYXGI;
27600   FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL N
27700   DO BEGIN
27800     IPJ:= I+J;
27900     CCI,JA:= SXGI,JA;
28000     END;
28100 END;
28200 DET:= SIMUL(N,C,R,EPS,1,1);
28300 SREG:= SREGS; SGTOT:= 0;
28400 IF DET = 0
28500 THEN REGR:= 0
28600 ELSE BEGIN
28700   TEMP:= SY;
28800   DUM:= SY;
28900   FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
29000   DO BEGIN
29100     DUM:= DUM-SGI,IA*SXG,IA;
29200     TEMP:= TEMP-BGI,IA*CYXGI,IA;
29300     SREG:= *+BGI,IA*CYXGI,IA;
29400     SREGS:= TEMP;
29500     END;
29600 SGTOT:= CYY;
29700 A:= DUM/FM;

```

```

00023800
00023900
00024000
00024100
00024200
00024300
00024400
00024500
00024600
00024700
00024800
00024900
00025000
00025100
00025200
00025300
00025400
00025500
00025600
00025700
00025800
00025900
00026000
00026100
00026200
00026300
00026400
00026500
00026600
00026700
00026800
00026900
00027000
00027100
00027200
00027300
00027400
00027500
00027600
00027700
00027800
00027900
00028000
00028100
00028200
00028300
00028400
00028500
00028600
00028700
00028800
00028900
00029000
00029100
00029200
00029300
00029400
00029500
00029600
00029700

```

```

29800 IF A < 0-C0CC1 THEN TEMP:= ABS(TEMP);
29900 DENOM:=M-N;
30000 S:=SQR(TEMP/DENOM);
30100 REGR:= S;
30200 VAR:= S^2;
30300 END;
30400 END OF PROCEDURE REGR;
30500 READ(ARQDATA,/*M,MIN,MAX);
30600 READ(ARQDATA,/*AC);
30700 WRITE(REM,/*M,MIN,MAX,AC);
30800 NUNPTI:= J:= -1;
30900 FOR II:= 1 STEP 1 UNTIL M
31000 DO BEGIN
31100 READ(ARQDATA,/*DIA,XI91,IIA,XI92,IIA,XI93,IIA,YI91IIA);
31200 WRITE(CIMP,/*XI91,IIA,AC,YI91IIA);
31300 NUNPTI:= ++I;
31400 ABSXNUMPTIA:= XI91,IIA;
31500 ORDYNUNPTIA:= YI91IIA;
31600 ABSXI9J:= ++I:= DIA;
31700 ORDYI9JA:= YI91IIA;
31800 END OF FOR;
31900 SFI:= 99999;
32000 FOR II:= MIN STEP 1 UNTIL MAX
32100 DO BEGIN
32200 S1:= REGR(M,XI,YI,II,AI,B);
32300 IF S1 < SFI
32400 THEN BEGIN
32500 SFI:= S1;
32600 AFI:= AI;
32700 NFI:= II;
32800 FOR IJ:= 1 STEP 1 UNTIL II
32900 DO BEGIN
33000 DC BFI9IJA:= B9IJA;
33100 END;
33200 IF S1 NEQ 0
33300 THEN BEGIN
33400 WRITE(CIMP,F1);
33500 FOR IJ:= 1 STEP 1 UNTIL II DO
33600 WRITE(CIMP,F2,IJ,B9IJA); END
33700 ELSE WRITE(CIMP,/*MATRIX SINGULAR*);
33800 VAR:= VAR**2;
33900 WRITE(CIMP,F3,II,SREG,SOREG/II,(SOREG/II)/VAR,M-II,SORES,VAR,M,SQTOT);
34000 WRITE(CIMP,F4,SOREG/SQTOT);
34100 SREG:= SORES:= SQTOT:= 0;
34200 END;
34300 TRACAGRAPHIC;
END OF PROGRAM.

```

```

00029800
00029900
00030000
00030100
00030200
00030300
00030400
00030500
00030600
00030700
00030800
00030900
00031000
00031100
00031200
00031300
00031400
00031500
00031600
00031700
00031800
00031900
00032000
00032100
00032200
00032300
00032400
00032500
00032600
00032700
00032800
00032900
00033000
00033100
00033200
00033300
00033400
00033500
00033600
00033700
00033800
00033900
00034000
00034100
00034200
00034300

```

```

100      SET AUTOBIND
200      $BIND= FROM RCTINAS/PLOTTER1051/=, (ORBAT)GRAF
300      FUSE RA FOR /CURTI/
400      FUSE RE FOR /GRACO/
500      FUSE NS FOR /GRACM/
600      FUSE NI FOR /GRACU/
700      FUSE TE FOR /TITUL/
800      BEGIN
900      FILE
1000     ARCDATA(KIND=DISK,TITLE="DATA/PKT/LSN",PYUSE=IN,
1100     FILETYPE=7),
1200     ARCEXP(KIND=DISK,TITLE="SIMULA/DATA/EXPERIM",FILETYPE=7),
1300     IYP(KIND=PRINTER),REN(KIND=RLNOTE);
1400
1500     INTEGER M,MIN,MAX,II,IJ,J,DIA,NFIT; REAL AL,S1,SFIT,AFIT,AC;
1600     REAL ARRAY XAS1:26,1:100A,YIS:100A,BG1:10A,BFITC1:10A;
1700
1800     FORMAT
1900     F1(//,"PARAMETROS DA REGRESSAO"),
2000     F2(X2B//,"BG",I1,")",F10(5),
2100     F3(//X21,"ANALISE DE VARIANCIA",//64(("-"))//X2,"C.V.",X10,
2200     "G.L.",X9,"S.O.",X9,"O.M.",X10,"F",//64(("-"))//,"REGRESSAO",X6,
2300     I4,X5,F11.4,X2,F11.4,X5,F11.4,X5,F11.4,X5,F11.4,X2,F11.4,/,/,
2400     "TOTAL",X10,I4,X5,F11.4,X5,F11.4,X5,F11.4,/,/,
2500     F4(//,"COEFICIENTE DE DETERMINACAO (R**2):",F4.2);
2600     REAL SOREQ, SONES, SC10T, VAR;
2700
2800     VARIAVEIS GLOBAIS PARA UTILIZACAO DAS ROTINAS DE PLOTTER
2900     INTEGER NUMPT, NUMPI, NUMPT2, NUMGRAFICO,YNS
3000     REAL ARRAY ORDY50:300A, ABSX50:300A, ORDY150:300A, ABSX150:300A;
3100
3200     INTEGER ARRAY
3300     NS51:50A,
3400     NI51:50A;
3500     ARRAY
3600     RAS1:30A,
3700     RES1:30A;
3800
3900     ALPHA ARRAY
4000     TEXTDXXC:10A,
4100     TEGU:29A,
4200     TEXTDY50:10A;
4300
4400
4500     PROCEDURE GRAFI(NUMPI,ORDX,ORDY,ILXIX,TEXTY);
4600     =====
4700     INTEGER NUMPI;
4800     ARRAY ORDX, ORDY*A;
4900     ALPHA ARRAY TEXTX,TEXTY*A;
5000     EXTERNAL;
5100
5200     PROCEDURE CURVA(NUMP,XV,YV,IX,TY);
5300     INTEGER NUMP;
5400     ARRAY XV,YV*A;
5500     ALPHA ARRAY IX, TY*A;
5600     EXTERNAL;
5700

```



```

5800
5900
6000
6100
6200
6300
6400
6500
6600
6700
6800
6900
7000
7100
7200
7300
7400
7500
7600
7700
7800
7900
8000
8100
8200
8300
8400
8500
8600
8700
8800
8900
9000
9100
9200
9300
9400
9500
9600
9700
9800
9900
10000
10100
10200
10300
10400
10500
10600
10700
10800
10900
11000
11100
11200
11300
11400
11500
11600
11700

PROCEDURE PLOT(X,Y,IPEN);
VALUE X, Y, IPEN;
REAL X, Y;
INTEGER IPEN;
EXTERNAL;
PROCEDURE TRACAGRAFICO;
BEGIN
REAL X,Y,II,CI,CE;
IJ:= NUMPTI+1; NUMPT2:= J+1;
WHILE NOT READ(CRCEXP,/,DIA,II,CI,CE)
DO BEGIN
IJ:= +1;
ABS(X-IJ-1);:= (CI/CI)*AC;
OPCY(IJ-1);:= (CI-CE)/CI;
ABS(X-IJ);:=+IA:= DIA;
ORDY(IJ);:= (CI-CE)/CI;
WRITE(IMP,/,DIA,ABS(X-IJ),ORDY(IJ));
END;
NUMPT:= IJ-NUMPTI-1; % WRITE(IMP,/,IJ,NUMPT,J);
FOR IJ:= 1 STEP 1 UNTIL N
DO BEGIN
Y:= B0IA*X101,IJX + B02A*X102,IJX + B03A*X103,IJX;
X:= X101,IJX/AC;
ABS(X-IJ+NUMPT+NUMPTI);:= X;
OPCY(IJ+NUMPT+NUMPTI);:= Y; % WRITE(IMP,/,IJ+NUMPT+NUMPTI);
WRITE(IMP,/,X,Y);
END;
REPTA:= 5; REPLACE TEGGA BY "PONTUS SIMULADOS";
REPLACE TEGSB BY "PONTUS EXPERIMENTAIS";
REPLACE TEGGA BY "CORRELACAO PONTOS SIMULADOS";
REPTA:= 1; REPLACE TEXTD00A BY "IT/CT";
REPTA:= 1; REPLACE TEXTD00A BY "FRACAO SOLAR - FR";
REPTA:= RA01A:= 1;
REPTA:= RA02A:= 1;
NI01A:= NUMPTI+1; NI02A:= NUMPT; NI03A:= N;
NS01A:= 29;
NS02A:= 30; NS03A:= 0;
GRAF(NUMPT,ABSX,ORDY,TEXTD,TEXTD);
REPTA:= 5; REPTA:= 1;
REPLACE TEXTD00A BY " DIA ";
REPLACE TEXTD00A BY " FRACAO SOLAR";
REPTA:= RA01A:= 2;
NI01A:= NUMPT2; NI02A:= NUMPT; NI03A:= 0;
NS01A:= 0; NS02A:= 32; NS03A:= 0;
REPLACE TEG02 BY "PONTO SIMULADO";
REPLACE TEG03 BY "PONTO EXPERIMENTAL";
GRAF(NUMPT,ABSX1,ORDY1,TEXTD1,TEXTD1);
PLD(0,0,999);
END OF PROCEDURE TRACAGRAFICO;
REAL PROCEDURE SIMUL(N,A,X,EPS,INDIC,NRC);
VALUE N, EPS, INDIC, NRC;
INTEGER N, NRC, INDIC;
REAL EPS;
ARRAY AS**X X0**X;
BEGIN
LABEL RETURN;
11700

```

```

00005800
00005900
00006000
00006100
00006200
00006300
00006400
00006500
00006600
00006700
00006800
00006900
00007000
00007100
00007200
00007300
00007400
00007500
00007600
00007700
00007800
00007900
00008000
00008100
00008200
00008300
00008400
00008500
00008600
00008700
00008800
00008900
00009000
00009100
00009200
00009300
00009400
00009500
00009600
00009700
00009800
00009900
00010000
00010100
00010200
00010300
00010400
00010500
00010600
00010700
00010800
00010900
00011000
00011100
00011200
00011300
00011400
00011500
00011600
00011700

```

```

11800      EOCLEAN BOO;
11900      INTEGER MAX,K,KMI,I,J,ISCAN,JSCAN,IRONK,JCOLK,IRONI,JCOLI,INTCH,
12000      KMI,PI1;
12100      REAL DETER,PIVOT,A1JK,JTEMP;
12200      ARRAY IRONK1:50A,JCOLK1:50A,JORDC1:50A,YC1:50A;
12300      MAX:= N;
12400      IF INDIC > 0 THEN MAX:= N + 1;
12500      IF N > 50
12600      THEN BEGIN
12700          SIMUL:= 0;
12800          WRITE(IMP, <"NUMERO DE COGNITAS, MUITO GRANDE">);
12900          GO RETURNA;
13000      END;
13100
13200      DETER:= 1;
13300      FOR K:= 1 STEP 1 UNTIL N
13400      DO BEGIN
13500          KMI:= K-1;
13600          PIVOT:= 0;
13700          FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
13800          DO FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL N
13900          DO IF K = 1
14000          THEN IF ABS(A(I,J)) < ABS(PIVOT)
14100          THEN
14200          ELSE BEGIN
14300              PIVOT:= A(I,J);
14400              IRONKKA:= I;
14500              JCOLKKA:= J;
14600          END
14700          ELSE BEGIN
14800              BOO:= FALSE;
14900              FOR ISCAN:= 1 STEP 1 UNTIL KMI
15000              DO FOR JSCAN:= 1 STEP 1 UNTIL KMI
15100              DO IF I=IRONKJSCAN
15200              THEN BEGIN
15300                  JSCAN:=KMI+1;
15400                  ISCAN:=KMI+1;
15500                  BOO:= TRUE;
15600              END
15700              ELSE IF J=JCOLKJSCAN
15800              THEN BEGIN
15900                  JSCAN:= KMI+1;
16000                  ISCAN:= KMI+1;
16100                  BOO:= TRUE;
16200              END
16300              ELSE
16400              IF BOO THEN
16500              ELSE IF ABS(A(I,J)) < ABS(PIVOT)
16600              THEN
16700              ELSE BEGIN
16800                  PIVOT:= A(I,J);
16900                  IRONKMI:= I;
17000                  JCOLSKA:= J;
17100              END;
17200          END;
17300      IF ABS(PIVOT) < EPS
17400      THEN BEGIN
17500          SIMUL:= 0;
17600          GO RETURNA;
17700      END;

```

```

00011900
00011900
00012000
00012100
00012200
00012300
00012400
00012500
00012600
00012700
00012800
00012900
00013000
00013100
00013200
00013300
00013400
00013500
00013600
00013700
00013800
00013900
00014000
00014100
00014200
00014300
00014400
00014500
00014600
00014700
00014800
00014900
00015000
00015100
00015200
00015300
00015400
00015500
00015600
00015700
00015800
00015900
00016000
00016100
00016200
00016300
00016400
00016500
00016600
00016700
00016800
00016900
00017000
00017100
00017200
00017300
00017400
00017500
00017600
00017700

```

```

17800 IROWK:= IROWK+1
17900 JCOLK:=JCOLK+1
18000 DETER:= DETER+PIVOT
18100 FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL MAX
18200 DO ASIRONK*JA:= ASIRONK*JA/PIVOT
18300 ASIRONK*JCOLK:= 1/PIVOT
18400 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
18500 DO BEGIN
18600 AIJCK:= ASI,JCOLK+1
18700 IF I NEQ IROWK
18800 THEN BEGIN
18900 ASI,JCOLK:= -AIJCK/PIVOT
19000 FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL MAX
19100 DO IF NEG JCOLK
19200 THEN ASI*JA:=ASI*JA-AIJCK*ASIRONK*JA
19300 ELSE
19400 END
19500 END
19600 ELSE
19700 END
19800
19900
20000 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
20100 DO BEGIN
20200 IROWI:= IROWI+1
20300 JCOLI:= JCOLK+1
20400 JORDIRONK:= JCOLI
20500 IF INDIC > C
20600 THEN XJCOLI:= ASIRONI*MAX
20700 ELSE
20800 END
20900 INICH:= 0
21000 NPI:= N-1
21100 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL NPI
21200 DO BEGIN
21300 IPI:= I+1
21400 FOR J:= IPI STEP 1 UNTIL N
21500 DO IF JORDIJA < JORDIJA
21600 THEN BEGIN
21700 JTEMP:= JORDIJA
21800 JORDIJA:= JORDIJA
21900 JORDIJA:= JTEMP
22000 INICH:= INICH + 1
22100 END
22200 ELSE
22300 END
22400 IF (INICH MOD 2)=1
22500 THEN DETER:= -1*DETER
22600 SIMUL:= DETER
22700 PEYONVA:=
22800 END OF PROCEDURE SIMUL
22900 Y
23000 Z
23100 Z
23200 PEAL PROCEDURE REGR(M,X,Y,H,A,B)
23300 VALUE M,A
23400 INTEGER M,N
23500 PEAL A
23600 ARRAY XS**A,YS**A,B**A
23700 BEGIN

```

17800

17900

18000

18100

18200

18300

18400

18500

18600

18700

18800

18900

19000

19100

19200

19300

19400

19500

19600

19700

19800

19900

20000

20100

20200

20300

20400

20500

20600

20700

20800

20900

21000

21100

21200

21300

21400

21500

21600

21700

21800

21900

22000

22100

22200

22300

22400

22500

22600

22700

22800

22900

23000

23100

23200

23300

23400

23500

23600

23700

00017900

00017900

00018000

00018100

00018200

00018300

00018400

00018500

00018600

00018700

00018800

00018900

00019000

00019100

00019200

00019300

00019400

00019500

00019600

00019700

00019800

00019900

00020000

00020100

00020200

00020300

00020400

00020500

00020600

00020700

00020800

00020900

00021000

00021100

00021200

00021300

00021400

00021500

00021600

00021700

00021800

00021900

00022000

00022100

00022200

00022300

00022400

00022500

00022600

00022700

00022800

00022900

00023000

00023100

00023200

00023300

00023400

00023500

00023600

00023700

```

23800 PEAL EPS,NTWD,SY,SY,DUM,S,CYY,DET,TEMP,DEADM;
23900 7
24000 ARRAY SXCI:2GA, SXGCI:10,1:10A, SYX,1:10A, CYXCI:10A, CGI:11,1:11A;
24100 INTEGER NPI,NPI,FM,IPJ,I,J,K;
24200 X
24300 NTWD:= 2*N7;
24400 NPI:= N+1;
24500 SY:= 0.0;
24600 SYX:= 0.0;
24700 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
24800 DO BEGIN
24900 NPI:= N+1;
25000 SXGCI:= 0.0;
25100 SX5NPIA:= 0.0;
25200 SYXGCI:= 0.0;
25300 END;
25400 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL M
25500 DO BEGIN
25600 SY:= SY+ YGIA;
25700 SYX:= SYX+ YGIA**2;
25800 DUM:= 1.0;
25900 FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL N
26000 DO BEGIN
26100 DUM:= 1;
26200 DUM:= DUM*XGJ,IA;
26300 SXGJA:= SYGJA+DUM;
26400 SXGJA:= SYXGJA + YGIA*DUM;
26500 END;
26600 FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL N
26700 DO FOR K:= 1 STEP 1 UNTIL N
26800 DO SXGJ,KX:= * + XGJ,IA * XSK,IA;
26900 END;
27000 FM:= M;
27100 CYY:= SYX;
27200 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
27300 DO BEGIN
27400 CYXGIA:= SYXGIA;
27500 CGI,APIA:= CYXGIA;
27600 FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL N
27700 DO BEGIN
27800 IPJ:= I+J;
27900 CGI,JA:= SXGCI,JA;
28000 END;
28100 END;
28200 DET:= SIMUL(N,C,B,EPS,1,11);
28300 SREG:= SREGS:= SGTOT:= 0;
28400 IF DET = 0
28500 THEN REGR:= 0
28600 ELSE BEGIN
28700 DUM:= SY;
28800 TEMP:= CYY;
28900 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
29000 DO BEGIN
29100 DUM:= DUM-BGIA*SXGIA;
29200 TEMP:= TEMP-BGIA*CYXGIA;
29300 SREG:= *+BGIA*CYXGIA;
29400 SREGS:= TEMP;
29500 END;
29600 SGTOT:= CYY;
29700 A:= DUM/FM;

```

```

00023900
00023900
00024000
00024100
00024200
00024300
00024400
00024500
00024600
00024700
00024800
00024900
00025000
00025100
00025200
00025300
00025400
00025500
00025600
00025700
00025800
00025900
00026000
00026100
00026200
00026300
00026400
00026500
00026600
00026700
00026800
00026900
00027000
00027100
00027200
00027300
00027400
00027500
00027600
00027700
00027800
00027900
00028000
00028100
00028200
00028300
00028400
00028500
00028600
00028700
00028800
00028900
00029000
00029100
00029200
00029300
00029400
00029500
00029600
00029700

```

```

29800 IF A < 0.00001 THEN TEMP:= ABS(TEMP)
29900 DENOM:=M*N;
30000 S:=SQRT(TEMP/DENOM)
30100 REGR:= S;
30200 VAR:= S;
30300 END;
30400 END OF PROCEDURE REGR;
30500 READ(CARDATA,/,M,MIN,MAX);
30600 READ(CARDATA,/,AC);
30700 WRITE(SCREEN,/,M,MIN,MAX,AC);
30800 NUMPI:= J:= -1;
30900 FOR II:= 1 STEP 1 UNTIL M
31000 DO BEGIN
31100 READ(CARDATA,/,DIA,XI1,IIA,XI2,IIA,XI3,IIA,YICI1);
31200 WRITE(IMP,/,XI1,IIA,AC,YICI1);
31300 NUMPI:= *+1;
31400 ABSXNUMPI:= XI1,IIA;
31500 CROYNUMPI:= YICI1;
31600 ABSXIGJ:= *+IA:= DIA;
31700 ORDYIGJ:= YICI1;
31800 END OF FOR;
31900 SFIT:= 99999;
32000 FOR II:= MIN STEP 1 UNTIL MAX
32100 DO BEGIN
32200 SI:= REGR*(XI,VI,II,A,B);
32300 IF SI < SFIT
32400 THEN BEGIN
32500 SFIT:= SI;
32600 AFIT:= A;
32700 MFIT:= II;
32800 FOR IJ:= -1 STEP 1 UNTIL II
32900 DO BFI(IJ)= B(IJ);
33000 END;
33100 IF SI NEG 0
33200 THEN BEGIN
33300 WRITE(IMP,F1);
33400 FOR IJ:= 1 STEP 1 UNTIL II DO
33500 WRITE(IMP,F2,IJ,B(IJ)); END
33600 ELSE WRITE(IMP,*,MATRIX SINGULAR*);
33700 VAR:= VAR*2;
33800 WRITE(IMP,F3,II,SREG,SREG/II,*,SREG/II)/VAR,M-II,SRES,VAR,M,SIGT);
33900 WRITE(IMP,F4,SREG/SIGT);
34000 SREG:= SRES:= SIGT:= 0;
34100 END;
34200 TRACAGRATIC;
34300 END OF PROGRAM.
00029800
00029900
00030000
00030100
00030200
00030300
00030400
00030500
00030600
00030700
00030800
00030900
00031000
00031100
00031200
00031300
00031400
00031500
00031600
00031700
00031800
00031900
00032000
00032100
00032200
00032300
00032400
00032500
00032600
00032700
00032800
00032900
00033000
00033100
00033200
00033300
00033400
00033500
00033600
00033700
00033800
00033900
00034000
00034100
00034200
00034300

```



```

00005800
00005900
00006000
00006100
00006200
00006300
00006400
00006500
00006600
00006700
00006800
00006900
00007000
00007100
00007200
00007300
00007400
00007500
00007600
00007700
00007800
00007900
00008000
00008100
00008200
00008300
00008400

```

```

5800 SMUC:= * + UC;
5900 SMTC:= * + TC;
6000 SMUT:= * + UT;
6100 SMTI:= * + TI;
6200 SMCT:= * + CT;
6300 SMCE:= * + CE;
6400 END;
6500 MTAMB:= SMTAMB/PI;
6600 MHT:= SMHT/PI;
6700 MFR:= SMFR/PI;
6800 MUC:= SMUC/PI;
6900 MTC:= SMTC/PI;
7000 MUT:= SMUT/PI;
7100 MIT:= SMTI/PI;
7200 MCT:= SMCT/PI;
7300 MCE:= SMCE/PI;
7400 TC:= (MT+MTC)/2; TE:= MTAMB+(MUTAMB+MTC)/2;
7500 X1:= (MHT/MCT)*AC; X2:= 24*(MTC-MTAMB)/MCT;
7600 X3:= 24*(MT-MTAMB)/MCT;
7700 F:= (MCT-MCE)/MCT;
7800 WRITE(DATALSN,/,DIA,X1,X2,X3,F);
7900 II:= *PI;
8000 WRITE(IMP,LIMI,DIA,MTAMB,MHT,MFR,MUC,MTC,MUT,MTI,MCT,MCE,
8100 F*100);
8200 END OF WHILE;
8300 LOCK(DATALSN);
8400 END OF PROGRAM.

```

```

100 $SET AUTOBIND
200 $BIND= FROM ROTINAS/PLOTTERIOS1/= (ORBAT)GRAF
300 $USE RA FOR /CURTI/
400 $USE RE FOR /GRACA/
500 $USE NS FOR /GRACA/
600 $USE NI FOR /GRACA/
700 $USE TE FOR /TITUL/
800 $ SET LIST
900 BEGIN
1000 FILE
1100 ARDATAKIND=DISK,ITILE="DATA/PKT/LSN ".MYUSE=IN,
1200 FILETYPE=7,
1300 IP(KIND=PRINTER);
1400
1500 INTEGER M,MIN,MAX,II,IJ,NFIT; REAL A1,S1,SEIT,AFIT;
1600 REAL APMAY M1,Y1;I:100X, E91:40X,SEIT:10A;
1700
1800 FORMAT
1900 FIC//"PARAMETROS DA REGRESSAO",
2000 F2(X2,/,",",I1,")= ",F10,);
2100 F3C//X21,"ANALISE DE VARIACIA",/,64(" "),/,X2,"C.V.",X10,
2200 "CAL.",X3,"S.G.",X9,"Q.M.",X11,F,/,64(" "),/,REGRESSAO",X6,
2300 I4,X5,F11-4,X2,F11-4,X5,F6-2,/,,"RESIDUO",X8,I6,X5,F11-4,X2,F11-4,/,/,
2400 "TOTAL",X10,I4,X5,F11-4,X7,"",/,/,
2500 F4C//,"COEFICIENTE DE DETERMINACAO (R**2): ",F4,);
2600 REAL SUREC, SOTOT, SCRES, VAR;
2700 * VARIAVEIS GLOBAIS PARA UTILIZACAO DAS ROTINAS DE PLOTTER
2800 INTEGER NUMPT, NUMGRAFICO, YN;
2900 REAL ARRAY
3000 ORDYFC:50X, ASSXG0:50A;
3100
3200 INTEGER ARRAY
3300 NSS1:5CA,
3400 NIS1:5CA;
3500 ARRAY
3600 RAS1:30A,
3700 RES1:30A;
3800
3900 ALPHA ARRAY
4000 TEXT(XG0:10X,
4100 TEG0:29X,
4200 TEXT(YG0:10X);
4300
4400 PROCEDURE GRAF(NUMPT,OROX,ORDY,ILKTX,TEXTY);
4500 =====
4600 INTEGER NUMPT;
4700 ARRAY OROX, ORDY,*Z;
4800 ALPHA ARRAY TEXTX,TEXTY,*Z;
4900 EXTERNAL;
5000
5100 PROCEDURE CURVA(NUMPT,XV,YV,IX,IY);
5200 INTEGER NUMPT;
5300 ARRAY XV,*YV,*Z;
5400 ALPHA ARRAY IX, IY,*Z;
5500 EXTERNAL;
5600
5700

```



```

11800 ELSE BEGIN
11900 PIVOT:= ACI*JAJ
12000 IROWKA:= I
12100 JCOLKA:= J
12200 END
12300 ELSE BEGIN
12400 BOO:= FALSE
12500 FOR ISCAN:= 1 STEP 1 UNTIL KMI
12600 DO FOR JSCAN:=1 STEP 1 UNTIL KMI
12700 DO IF I=IROWSCAN
12800 THEN BEGIN
12900 JSCAN:=KMI+1
13000 ISCAN:=KMI+1
13100 BOO:= TRUE
13200 END
13300 ELSE IF J=JCOLSCAN
13400 THEN BEGIN
13500 JSCAN:= KMI+1
13600 ISCAN:= KMI+1
13700 BOO:= TRUE
13800 END
13900 ELSE
14000 BOO:= TRUE
14100 END
14200 IF BOO THEN
14300 ELSE IF ABS(ACI*JAJ)< ABS(PIVOT)
14400 THEN
14500 ELSE BEGIN
14600 PIVOT:= ACI*JAJ
14700 IROWKA:= I
14800 JCOLKA:= J
14900 END
15000 IF ABS(PIVOT) < EPS
15100 THEN BEGIN
15200 SIMUL:= 0
15300 GO REICRMA
15400 END
15500 IROWKA:= IROWKA
15600 JCOLKA:=JCOLKA
15700 DETER:= DETER*PIVOT
15800 FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL MAX
15900 DO AROWKA*JAJ:= AROWKA*JAJ/PIVOT
16000 AROWKA*JCOLKA:= 1/PIVOT
16100 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
16200 DO BEGIN
16300 AIJCK:= ACI*JCOLKA
16400 IF I NEQ IROWK
16500 THEN BEGIN
16600 ACI*JCOLKA:= -AIJCK/PIVOT
16700 FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL MAX
16800 DO IF J NEQ JCOLK
16900 THEN ACI*JAJ:=ACI*JAJ-AIJCK*AROWKA*JAJ
17000 ELSE
17100 END
17200 ELSE
17300 END
17400 END
17500 * FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
17600 DO BEGIN
17700

```

```

00011800
00011900
00012000
00012100
00012200
00012300
00012400
00012500
00012600
00012700
00012800
00012900
00013000
00013100
00013200
00013300
00013400
00013500
00013600
00013700
00013800
00013900
00014000
00014100
00014200
00014300
00014400
00014500
00014600
00014700
00014800
00014900
00015000
00015100
00015200
00015300
00015400
00015500
00015600
00015700
00015800
00015900
00016000
00016100
00016200
00016300
00016400
00016500
00016600
00016700
00016800
00016900
00017000
00017100
00017200
00017300
00017400
00017500
00017600
00017700

```

```

17800 IROWI:= IPDMSIA;
17900 JCOLI:= JCOLSIA;
18000 JORDSIRQIA:= JCOLI;
18100 IF INDIC > 0
18200 THEN X6JCOLIA:= ACSIRQI,MAXA
18300 ELSE;
18400
18500 END;
18600 INTCH:= 0;
18700 NPI:= N-1;
18800 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL NMI
18900 DO BEGIN
19000 IPI:= I+1;
19100 FOR J:= IPI STEP 1 UNTIL N
19200 DO IF JORDSJA < JORDSIA
19300 THEN BEGIN
19400 JTEMP:= JORDSJA;
19500 JORDSJA:= JORDSIA;
19600 JORDSIA:= JTEMP;
19700 INTCH:= INTCH + 1;
19800 END
19900 ELSE;
20000 END;
20100 IF (INTCH MOD 2)=1
20200 THEN DETER:= -1*DETER;
20300 SIMUL:= DETER;
20400 RETURN;
20500 END OF PROCEDURE SIMUL;
20600
20700
20800
20900 REAL PROCEDURE REGR(M,X,Y,A,B);
21000 VALUE M,N;
21100 INTEGER N,N2;
21200 REAL A;
21300 ARRAY X6:= Y6:= B6:=;
21400 BEGIN
21500 REAL EPS,NTHO,SY,SY,CUM,S,CYY,DET,IEMP,DENOM;
21600
21700 ARRAY SX6:=20X, SYX6:=10X, CYX6:=10A, CQ1:=11,1-11X;
21800 INTEGER NPI,NPI,FM,FPJ,I,J;
21900
22000 NTHO:= 2*N;
22100 NPI:= N+1;
22200 SY:= 0.C;
22300 SYI:= 0.0;
22400 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
22500 DO BEGIN
22600 IPI:= N+1;
22700 SY6IA:= 0.C;
22800 SYXPIA:= 0.0;
22900 SYX6IA:= 0.0;
23000 END;
23100 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
23200 DO BEGIN
23300 SY:= SY+ Y6IA;
23400 SYI:= SYI + Y6IA**2;
23500 CUM:= 1.0;
23600 FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL N
23700 DO BEGIN

```

```

00017800
00017900
00018000
00018100
00018200
00018300
00018400
00018500
00018600
00018700
00018800
00018900
00019000
00019100
00019200
00019300
00019400
00019500
00019600
00019700
00019800
00019900
00020000
00020100
00020200
00020300
00020400
00020500
00020600
00020700
00020800
00020900
00021000
00021100
00021200
00021300
00021400
00021500
00021600
00021700
00021800
00021900
00022000
00022100
00022200
00022300
00022400
00022500
00022600
00022700
00022800
00022900
00023000
00023100
00023200
00023300
00023400
00023500
00023600
00023700

```

```

23800 DUM:= DUM*YXIA?
23900 SXGJA:= SXGJA+DLW?
24000 SYXGJA:= SYXGJA + YXIA*DUM?
24100 END?
24200 FOR J:= NPI STEP 1 UNTIL NTKO
24300 DO BEGIN
24400 DUM:= DUM*YXIA?
24500 SXGJA:= SXGJA+DUM?
24600 END?
24700
24800 FM:= M?
24900 CYW:= SYW*SY*(SY/FM)?
25000 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
25100 DO BEGIN
25200 CYXGIA:= SYXGIA+SY*SXGIA/FM?
25300 CGLNPIA:= CYXGIA?
25400 FOR J:= 1 STEP 1 UNTIL N
25500 DO BEGIN
25600 IPJ:= I+J?
25700 CGLJA:= SXGIPJA-SXGIA*SXGJA/FM?
25800 END?
25900
26000 DET:= SIMUL(C,B,EPS,1,II)?
26100 SREG:= SOTOT:= SRES:= 0?
26200 IF DET = 0
26300 THEN REGR:= 0
26400 ELSE BEGIN WRITE(CMP,*/DET)?
26500 DUM:= SY?
26600 TEMP:= CYW?
26700 FOR I:= 1 STEP 1 UNTIL N
26800 DO BEGIN
26900 DUM:= DUM*SGIA*SXGIA?
27000 TEMP:= TEMP-SGIA*CYXGIA?
27100 SREG:= * + SGIA * CYXGIA?
27200 SRES:= TEMP?
27300 END?
27400 SOTOT:= CYW?
27500 A:= DUM/FM?
27600 DENOM:=M*N-1?
27700 S:=SORT(TEMP/DENOM)?
27800 REGR:= S?
27900 END?
28000 FND OF PROCEDURE REGR?
28100 READ(CARDATA,*/M,PIV,MAX)?
28200 FOR II:= 1 STEP 1 UNTIL M
28300 DO BEGIN
28400 READ(CARDATA,*/XISIIA,YISIIA)? WRITE(CMP,*/X,Y)?
28500 END OF FOR?
28600 SFI:= 9999?
28700 FOR II:= MIN STEP 1 UNTIL MAX
28800 DO BEGIN
28900 S1:= REGR*(X1,Y1,II,A1,B)?
29000 VAR:= S1**2?
29100 IF S1 < SFI
29200 THEN BEGIN
29300 SFI:= S1?
29400 AFI:= A1?
29500 BFI:= B1?
29600 FOR IJ:= 1 STEP 1 UNTIL II
29700 DO BFI*GJA:= BGIJA?

```

```

00023800
00023900
00024000
00024100
00024200
00024300
00024400
00024500
00024600
00024700
00024800
00024900
00025000
00025100
00025200
00025300
00025400
00025500
00025600
00025700
00025800
00025900
00026000
00026100
00026200
00026300
00026400
00026500
00026600
00026700
00026800
00026900
00027000
00027100
00027200
00027300
00027400
00027500
00027600
00027700
00027800
00027900
00028000
00028100
00028200
00028300
00028400
00028500
00028600
00028700
00028800
00028900
00029000
00029100
00029200
00029300
00029400
00029500
00029600
00029700

```

```

29800      END;
29900      IF SI NEQ 0
30000      THEN BEGIN
30100          WRITE(IMP,F1); WRITE(IMP, <"A=" ,F7.3>,A1);
30200          FOR IJ:= 1 STEP 1 UNTIL I: DO
30300              WRITE(IMP,F2,IJ,B(IJ,A)); END
30400          ELSE WRITE(IMP, <"MATRIX SINGULAR">);
30500
30600          WRITE(IMP,F3,I1,SOREG,SREG,I1, (SOREG/I1)/VAR,M-II-1,
30700              SRES,VAR,M-1,SOTOT);
30800          WRITE(IMP,F4,SOREG/SOTOT); SOREG:= SRES:= SOTOT:= 0;
30900      END;
31000      TRACAGRATIC;
31100      END OF PROGRAM.

```

```

0002800
0002900
0003000
00030100
00030200
00030300
00030400
00030500
00030600
00030700
00030800
00030900
00031000
00031100

```

APÊNDICE E

EXEMPLOS DE ARQUIVO DE DADOS

100 046.6663.2913.0
200 047.6786.2781.0
300 048.6997.2718.150
400 049.6346.2723.0
500 050.0059.2625.0
600 051.0046.2800.0
700 052.4516.2709.0
800 053.3345.2733.0
900 054.4271.2621.1500
1000 055.2360.2728.0
1100 056.4508.2647.1200
1200 057.4169.2777.1200
1300 058.4596.2647.0
1400 059.1922.2798.0
1500 060.1255.1060.5150
1600 061.6115.2740.3150
1700 062.3590.2750.0
1800 063.5920.2652.0600
1900 064.3337.2576.0
2000 065.4371.2548.0
2100 066.4528.2567.0
2200 067.2337.0772.0
2300 068.9021.2559.3150
2400 069.1959.2779.0
2500 070.2296.2751.3150
2600 071.3380.2613.1050
2700 072.3552.2773.0
2800 073.2354.2926.1650
2900 074.3524.2942.3450
3000 075.1785.3065.2250
3100 076.2211.3172.3150
3200 077.2162.3058.3750
3300 078.4319.2620.3150
3400 079.2725.1035.0
3500 080.2065.3067.3150
3600 081.5939.2797.3450
3700 082.6505.2649.0
3800 083.3505.2701.0
3900 084.1046.2878.0
4000 085.2789.2878.3150
4100 086.6924.2731.3450
4200 087.6788.2585.0
4300 088.6416.2543.0
4400 089.6394.2513.0
4500 090.6728.2492.0
4600 091.5990.2513.0
4700 092.5554.2420.0
4800 093.6737.2359.0
4900 094.5592.2416.0
5000 095.3644.2369.0
5100 096.4758.2569.0
5200 097.5495.2576.0
5300 098.5680.2615.0
5400 099.5736.2638.0
5500 100.6976.2563.0
5600 101.4543.2603.0
5700 102.2863.2662.0

5800 103,1451,0778,1500
5900 104,1445,2789,0
6000 105,2120,2761,3330
6100 106,2714,2775,3400
6200 107,1951,2828,3400
6300 108,2073,2885,3740
6400 109,3523,2775,3400
6500 110,3529,2719,1020
6600 111,6566,2559,1190
6700 112,3803,2741,0
6800 113,4650,2688,0
6900 114,2174,2785,0
7000 115,3963,2701,0
7100 116,4824,2639,0
7200 117,6576,2547,340
7300 118,5314,2101,0
7400 119,2082,2848,0
7500 120,2524,2867,4760
7600 121,5275,2889,3570
7700 122,4583,2858,0

100 046.6563,2913.0
200 047.6786,2781.0
300 048.6097,2718.150
400 049.6346,2723.0
500 054.4271,2621.1500
600 056.4508,2647.1200
700 057.4169,2777.1200
800 062.5990,2750.0
900 063.5920,2652.0600
1000 064.5037,2376.0
1100 065.4471,2548.0
1200 066.5021,2569.3150
1300 069.1959,2779.0
1400 070.3296,2751.1150
1500 071.5880,2613.1050
1600 072.3552,2773.0
1700 073.2954,2526.1650
1800 074.3524,2542.3450
1900 075.1785,2659.2250
2000 076.2211,3172.3150
2100 077.2362,3058.3750
2200 078.4319,2620.3150
2300 080.2065,3067.3150
2400 081.5339,2797.3450
2500 082.6205,2645.0
2600 083.5505,2701.0
2700 084.1646,2878.0
2800 085.2788,2723.3150
2900 086.6024,2731.3450
3000 087.6736,2585.0
3100 088.6416,2543.0
3200 089.6334,2513.0
3300 090.6728,2492.0
3400 091.5990,2513.0
3500 092.6554,2420.0
3600 093.6737,2359.0
3700 094.5952,2414.0
3800 095.3644,2569.0
3900 096.4758,2569.0
4000 097.5495,2576.0
4100 098.5600,2615.0
4200 099.5736,2638.0
4300 100.6376,2563.0
4400 101.4543,2603.0
4500 102.2823,2662.0
4600 106.2714,2775.3400
4700 107.1951,2828.3400
4800 108.2073,2885.3740
4900 109.3523,2775.3400
5000 110.3529,2719.1020
5100 111.6556,2559.1190
5200 112.3803,2741.0
5300 113.4656,2688.0
5400 115.3963,2701.0
5500 116.4824,2639.0

SIMULA/PJ/COLETOR (12/06/88)

11:11 AM TUESDAY, DECEMBER 6, 1988

100	0.25,0.04,0.03,0.0004
200	0.022,0.021,2.90,8,0.10
300	0.056,1.96
400	0.03,4.72,4.0
500	0.46,2.10,3.0,3.0,2.74,3.20
600	0.05,0.90,0.90
700	0.03,3.86,0
800	2675,0,8795,0,0.89

11:11 AM TUESDAY, DECEMBER 6, 1984

SIPULA/PJ/TANK (12/04/88)

100	0.441.0
200	0.001.0.05.0.001
300	47.6.0.343.47.6
400	2.127.9.3

SIMULA/CP/TANK (09/30/88)

11:11 AM TUESDAY, DECEMBER 6, 1988

100 45.0

SIMULA/CP/PROFILE (11/20/88)

11:11 AM TUESDAY, DECEMBER 6, 1988

100	3
200	7*0.05*687.35
300	12*0.05*264.06
400	18*0.05*1948.59

SIPULA/IN/TANK (12/06/88)

11:11 AM TUESDAY, DECEMBER 6, 1988

100 7,55.00,14

APÊNDICE F

GRÁFICOS E RELATÓRIOS
REFERENTES AO PERÍODO SIMULADO PARA VALIDAÇÃO DO MODELO

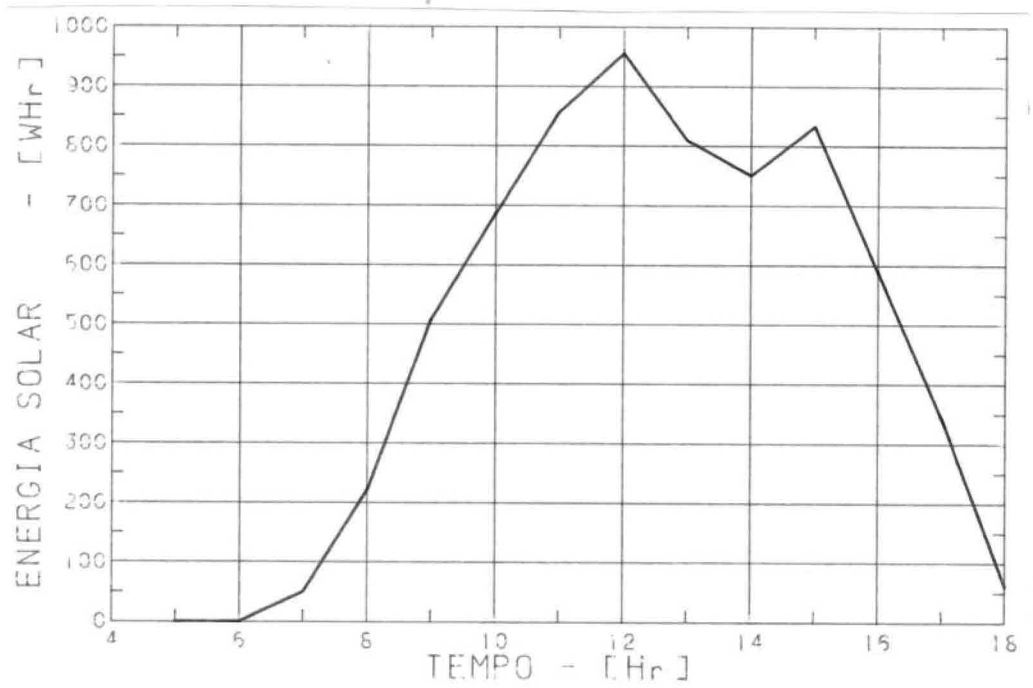


GRÁFICO 46A

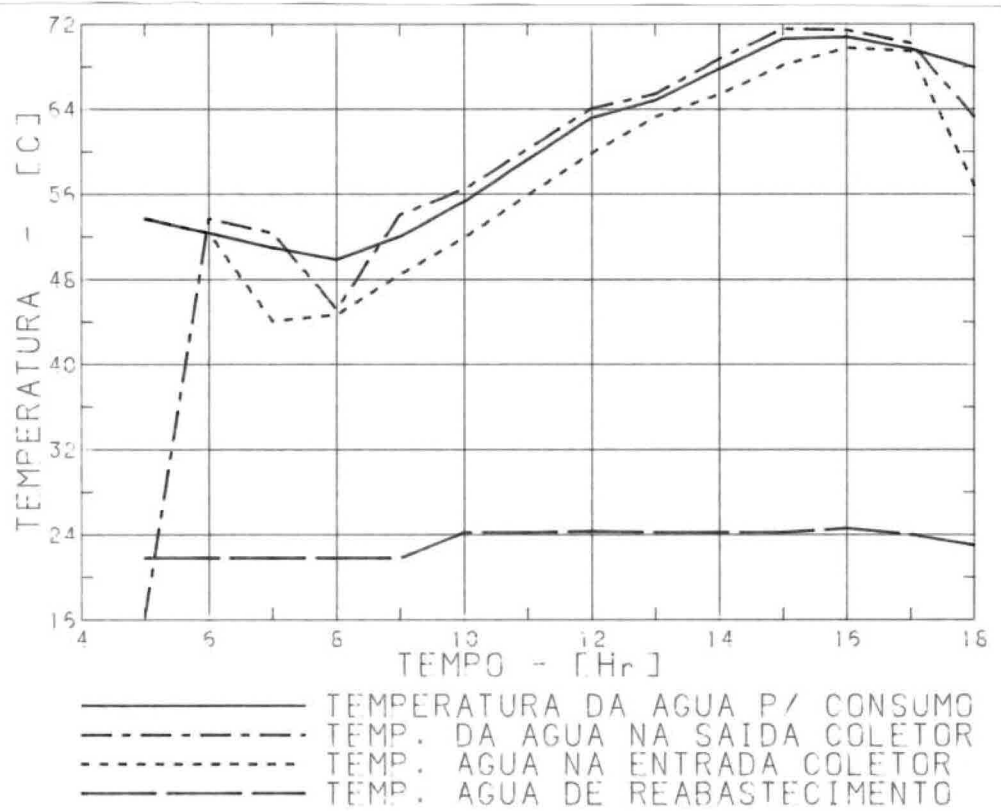


GRÁFICO 46B

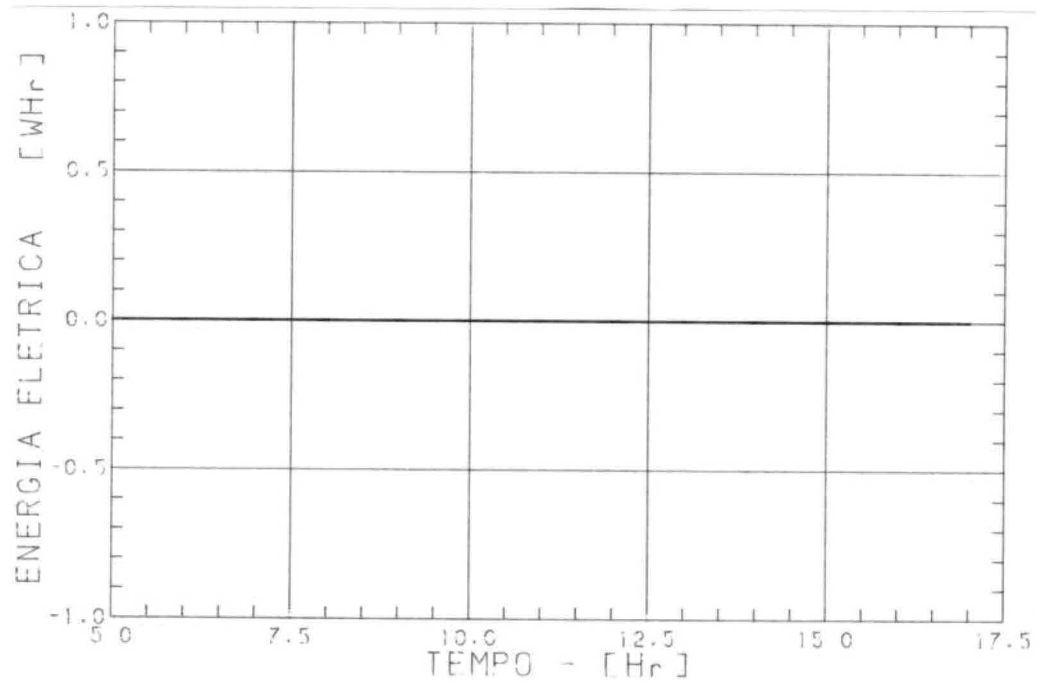


GRÁFICO 46C

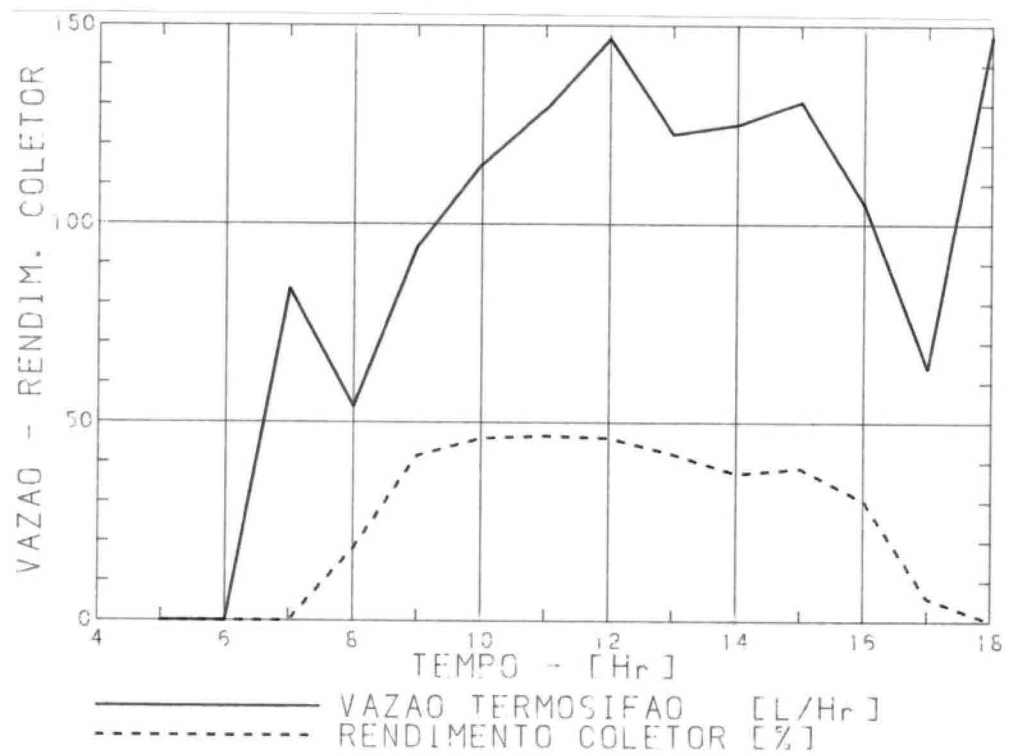


GRÁFICO 46D

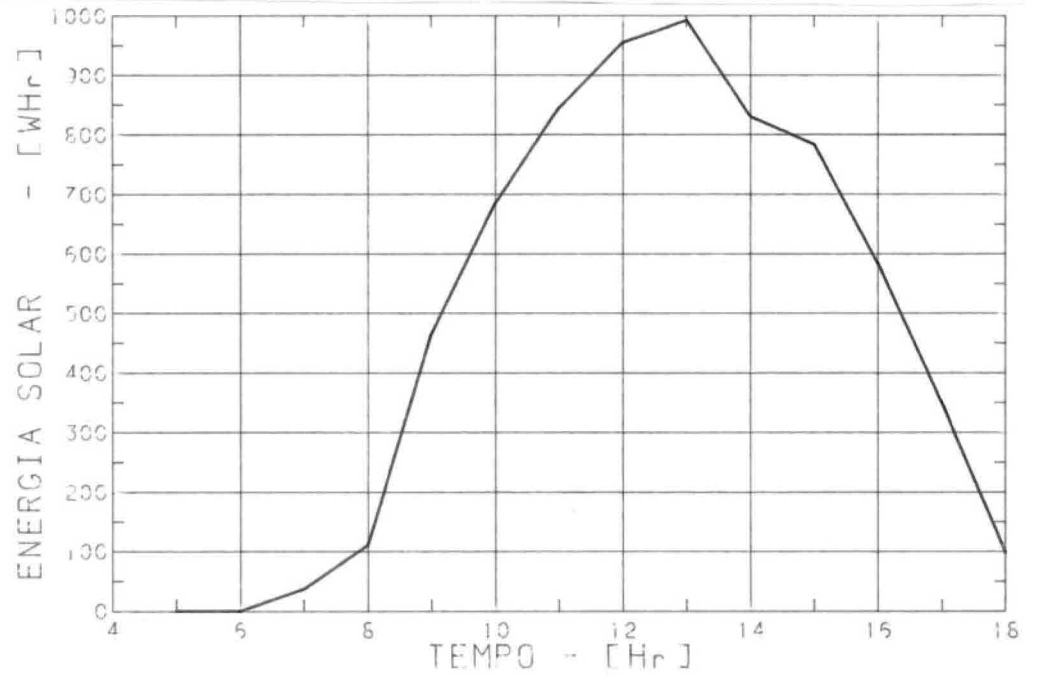


GRÁFICO 47A

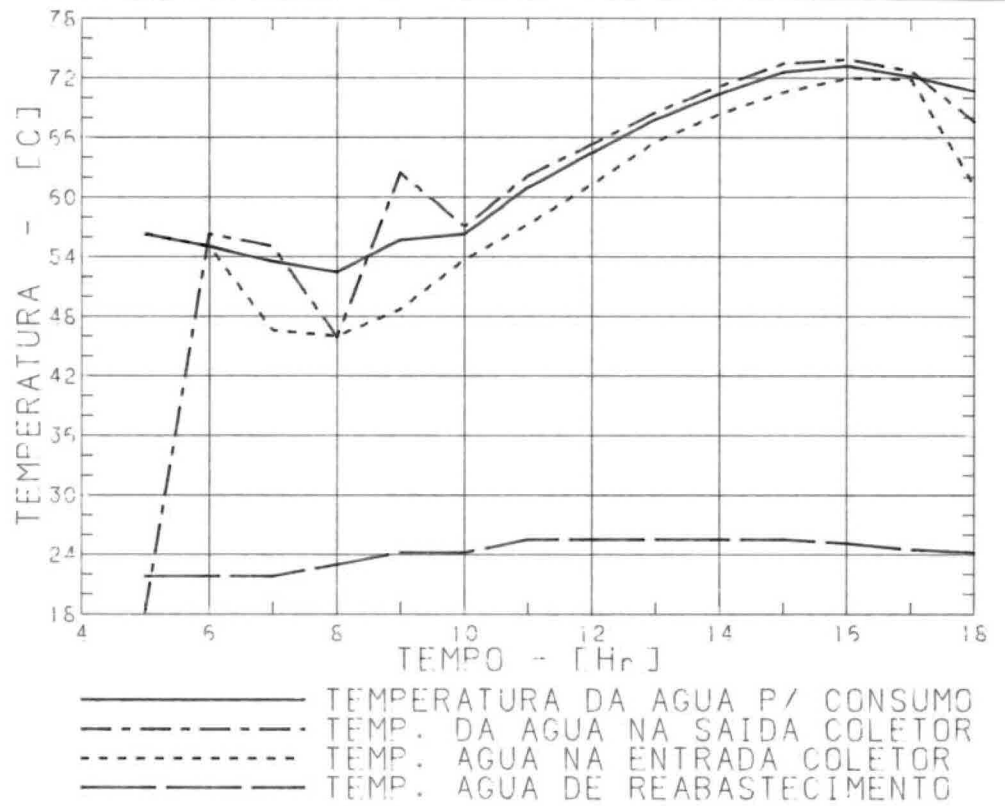


GRÁFICO 47B

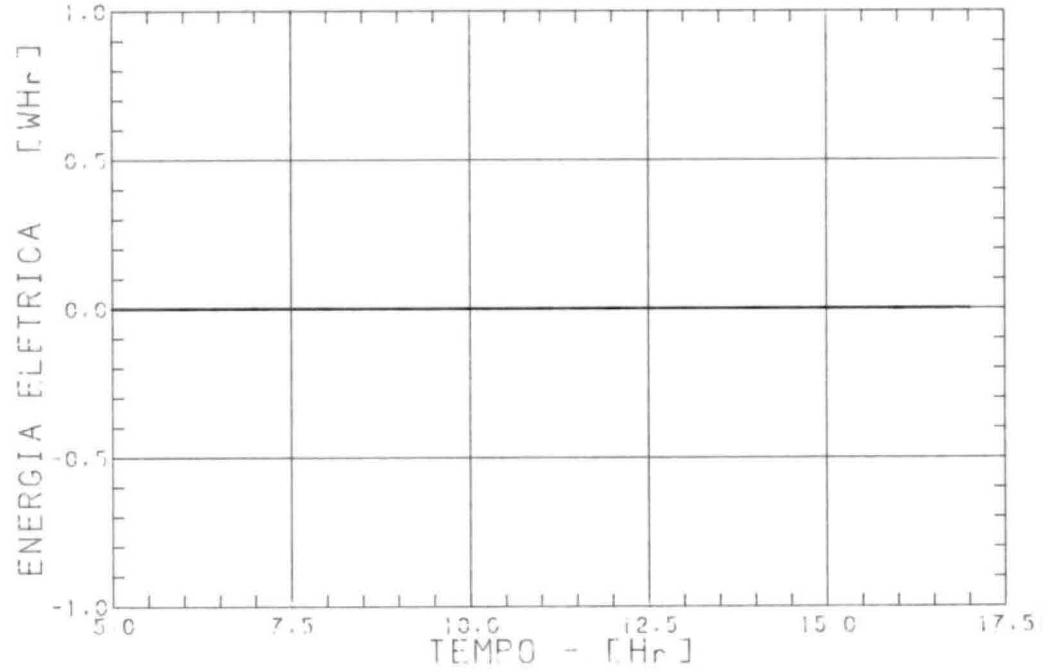


GRÁFICO 47C

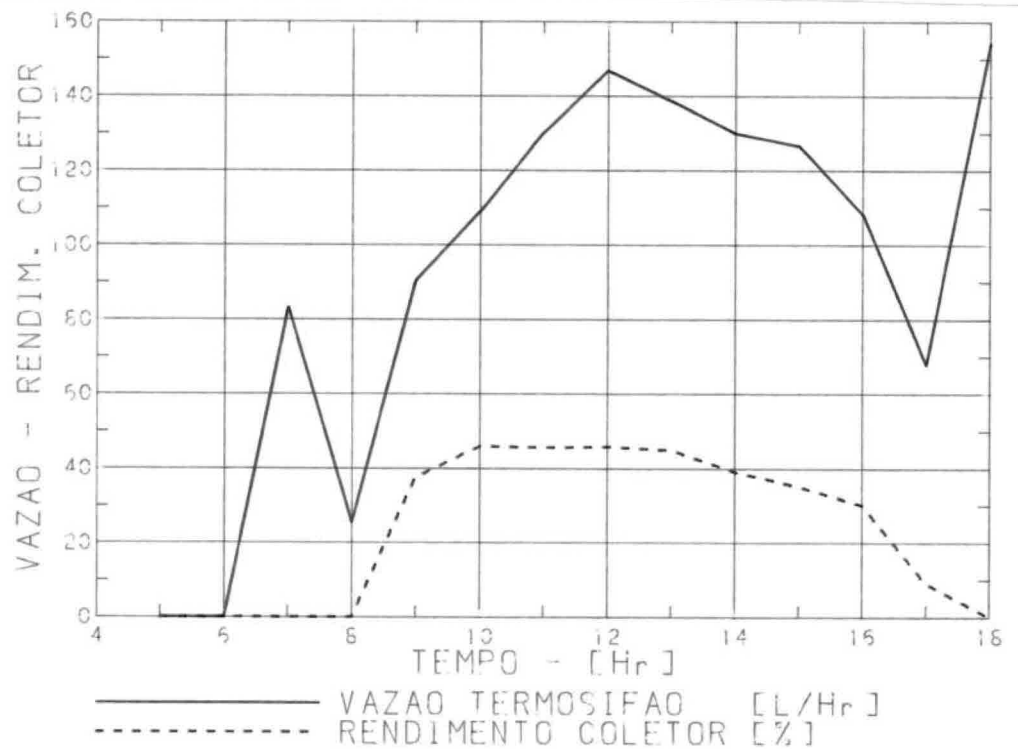


GRÁFICO 47D

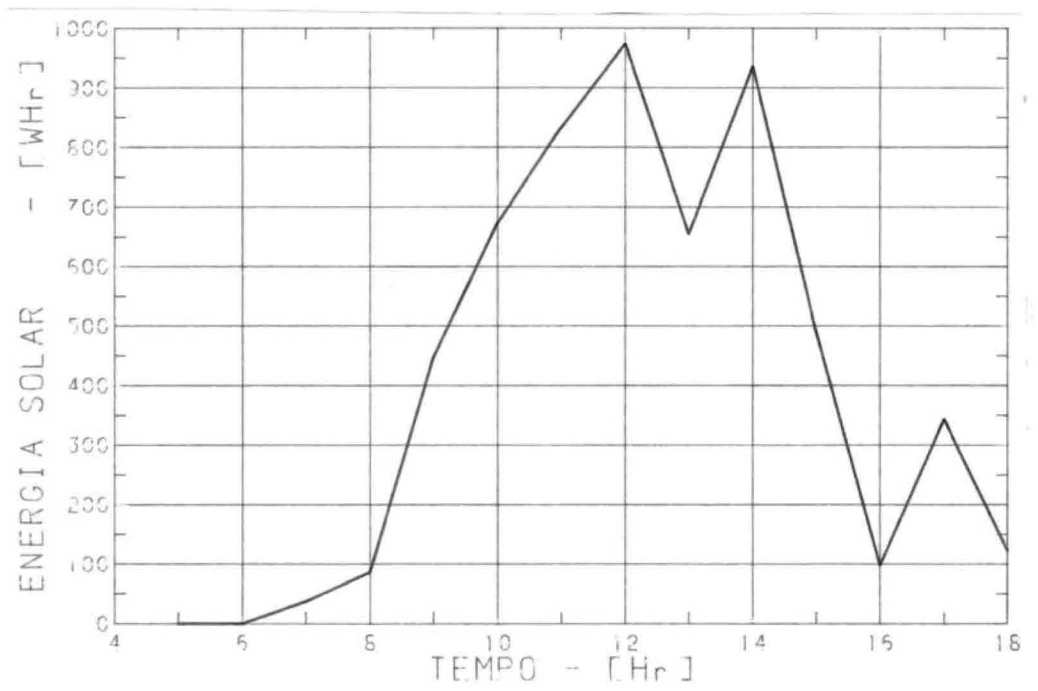


GRÁFICO 48A

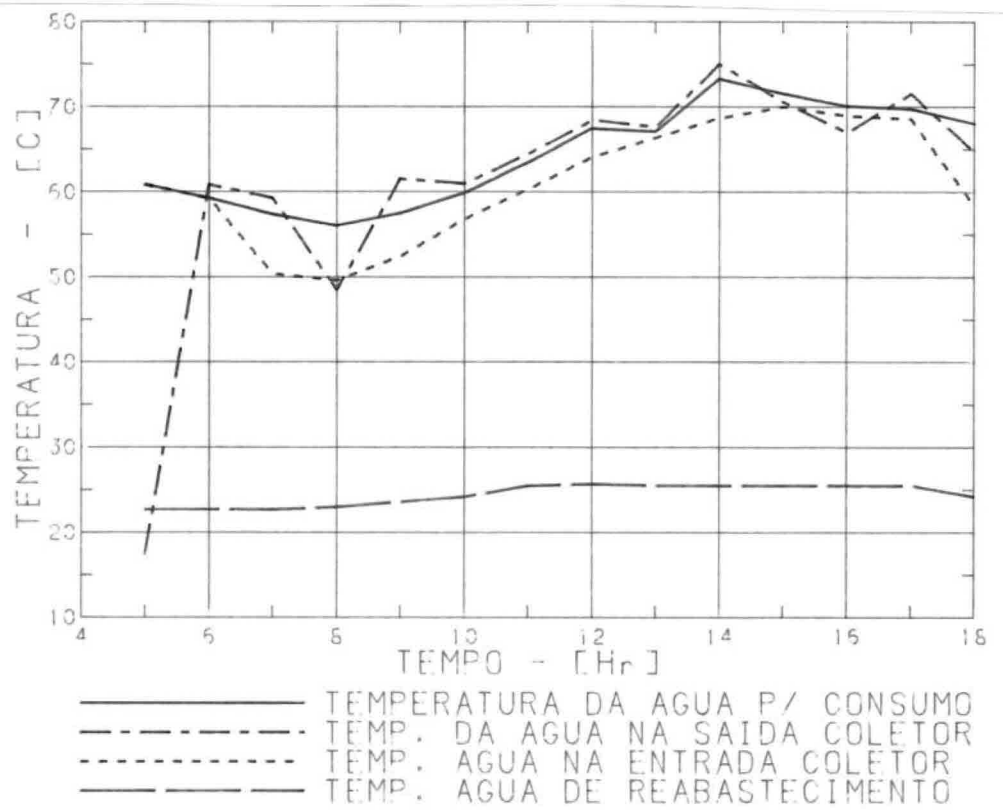


GRÁFICO 48B

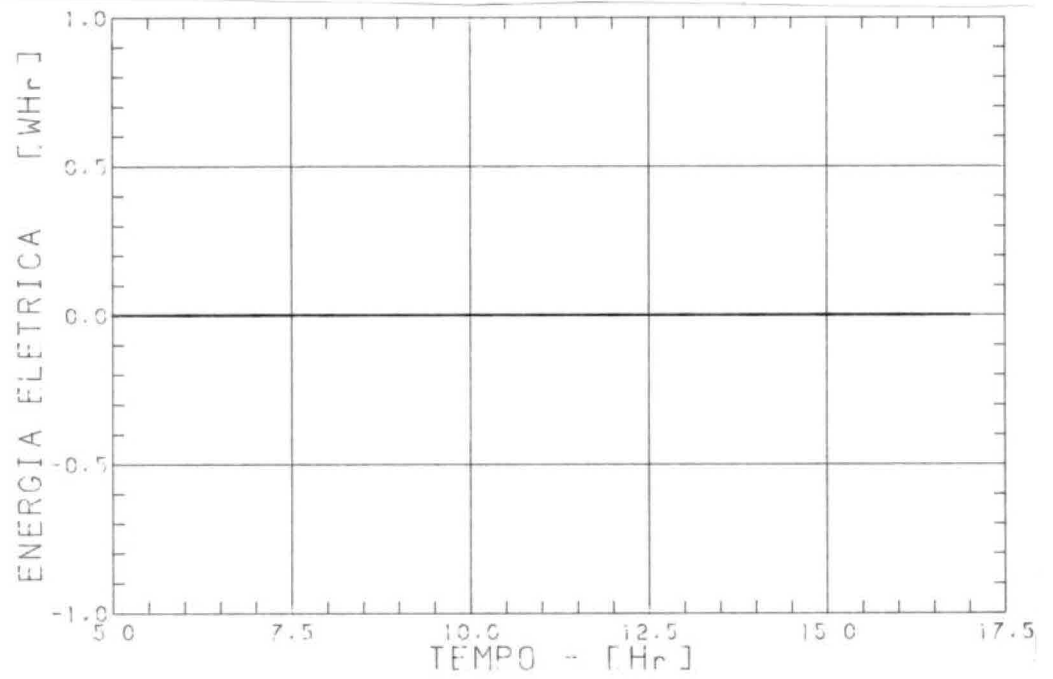


GRÁFICO 48C

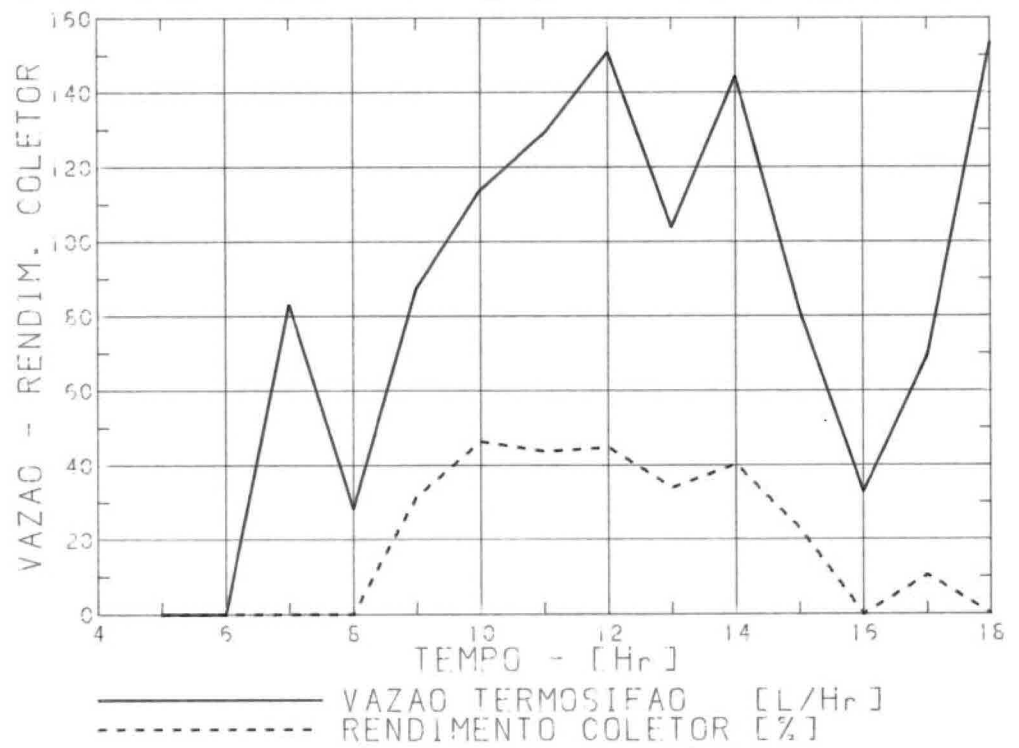


GRÁFICO 48D

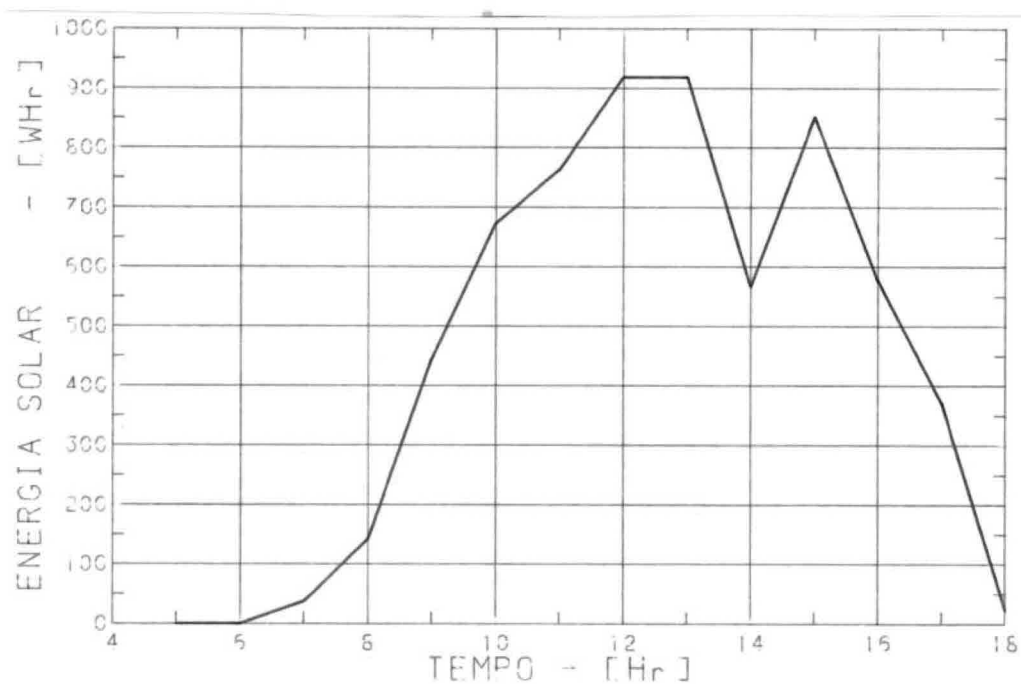


GRÁFICO 49A

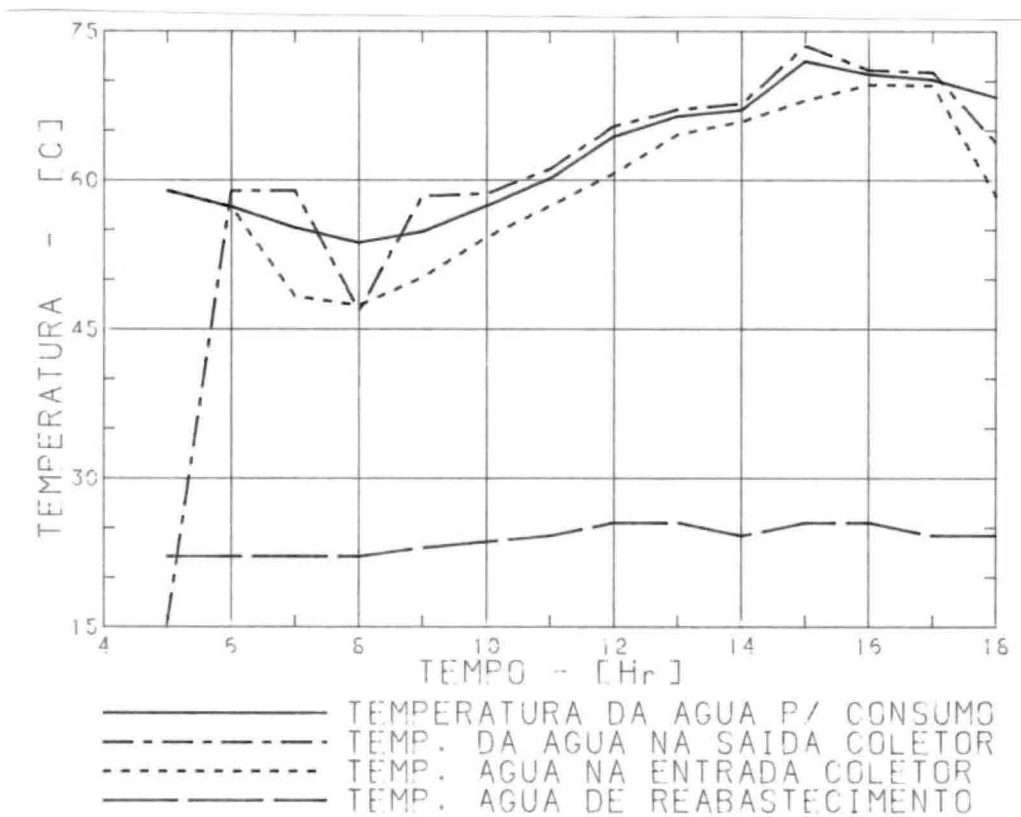


GRÁFICO 49B

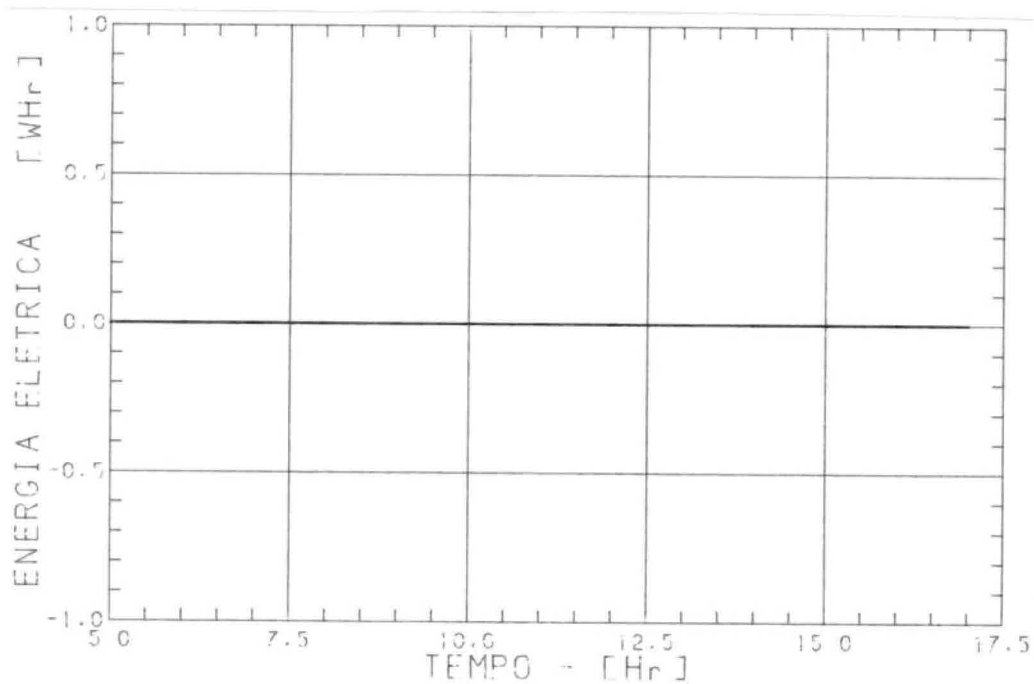


GRÁFICO 49C

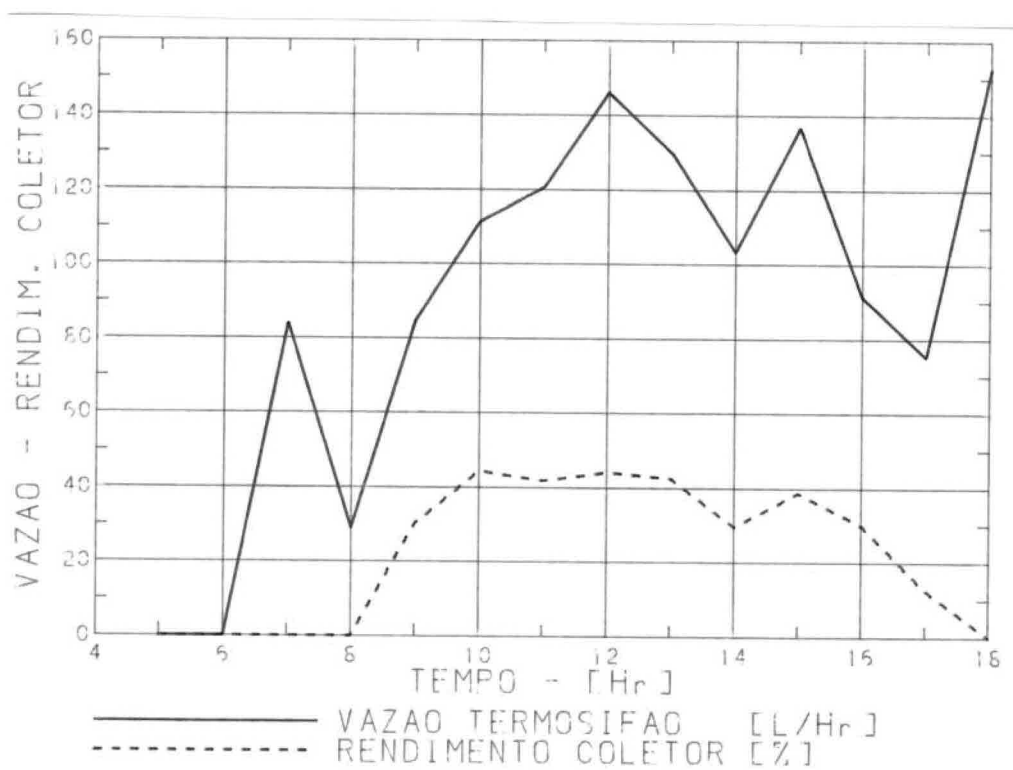


GRÁFICO 49D

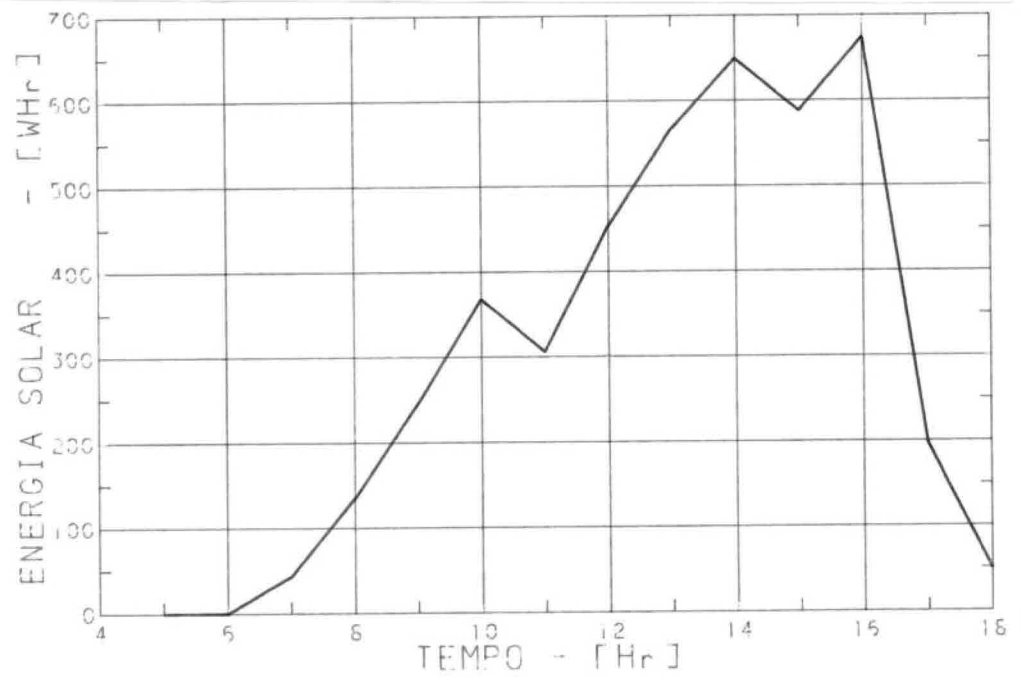


GRÁFICO 54A

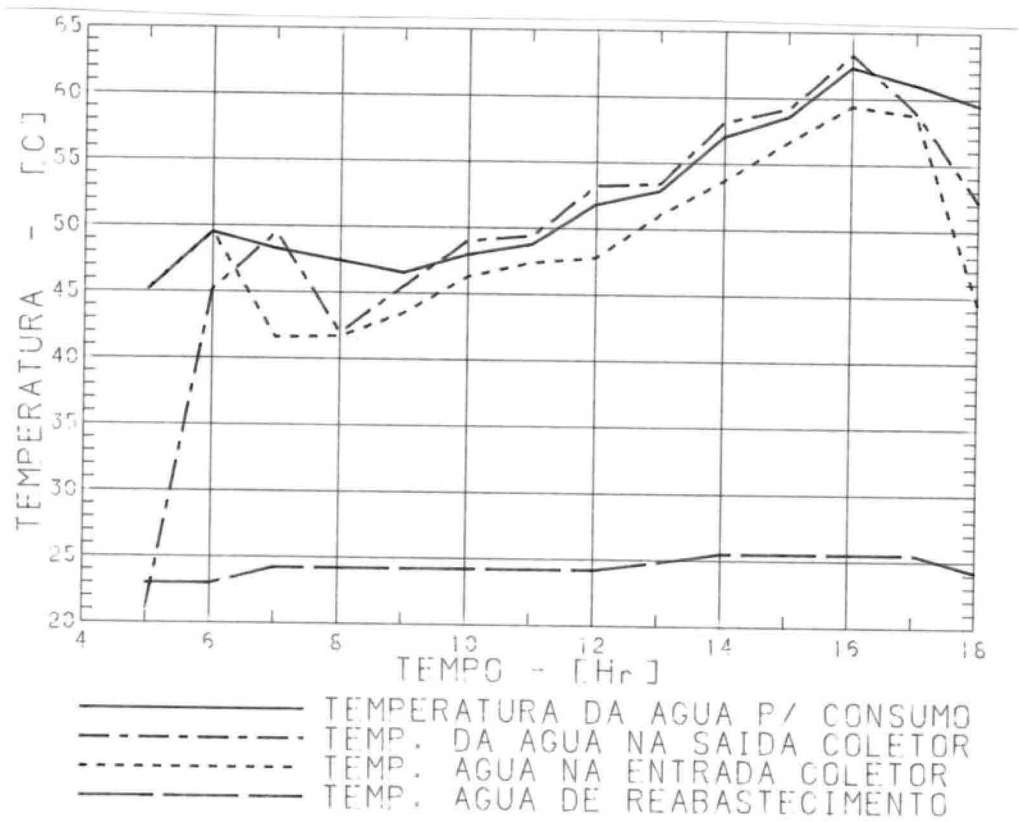


GRÁFICO 54B

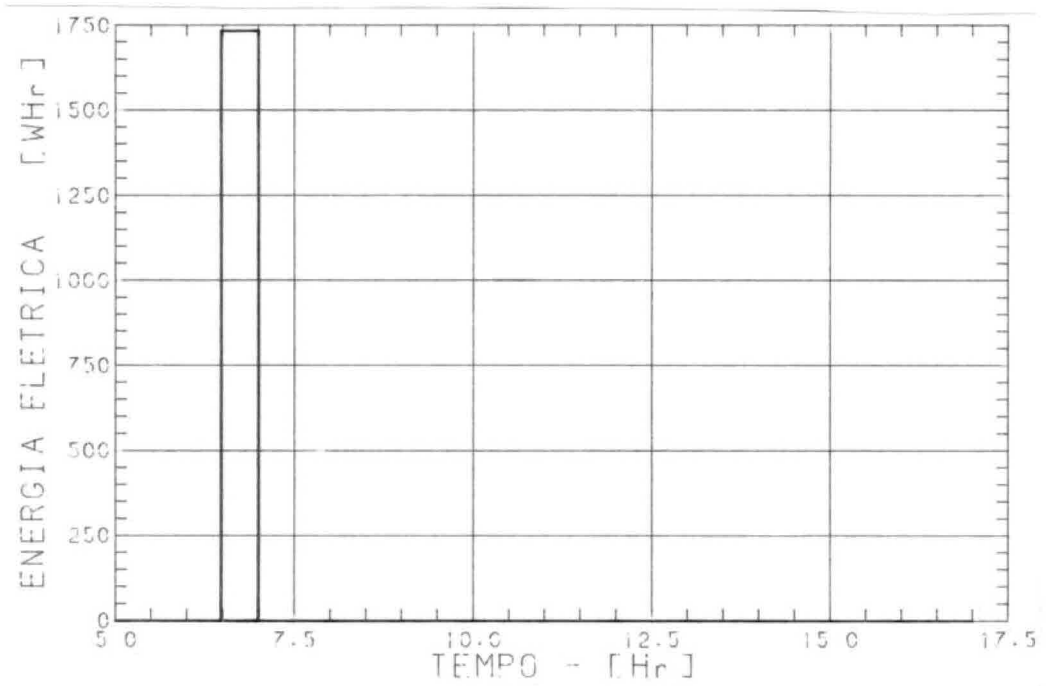


GRÁFICO 54C

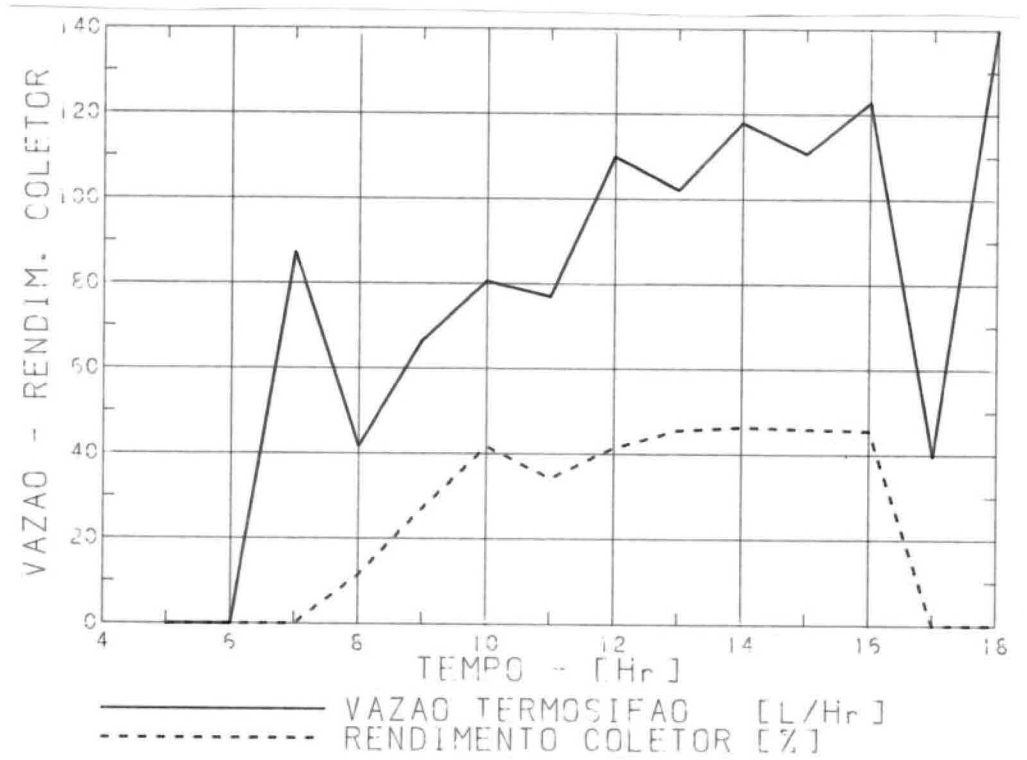


GRÁFICO 54D

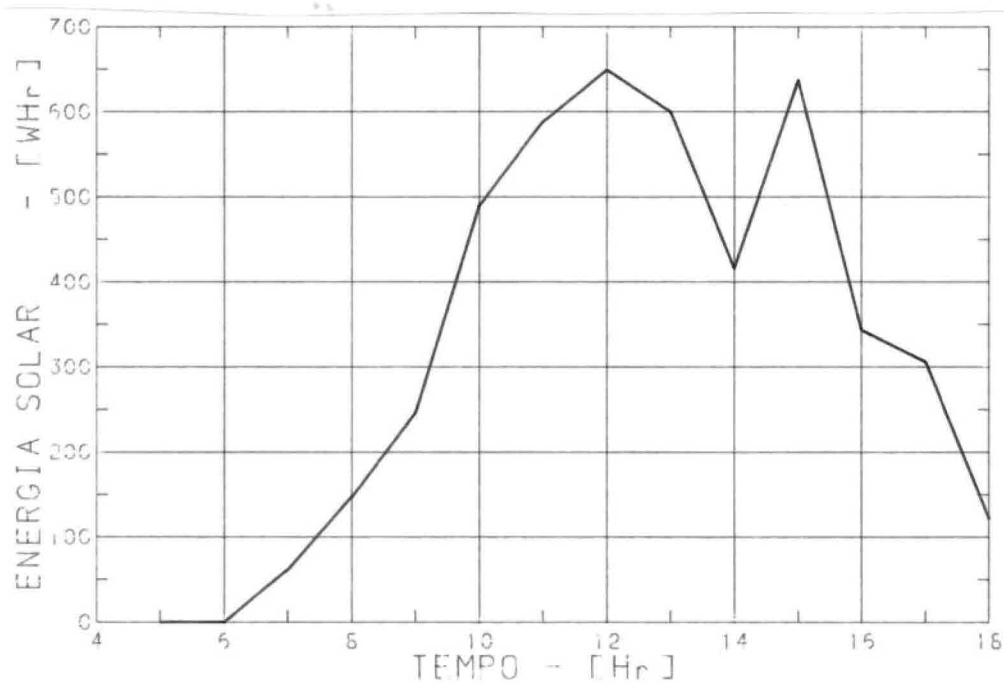


GRÁFICO 56A

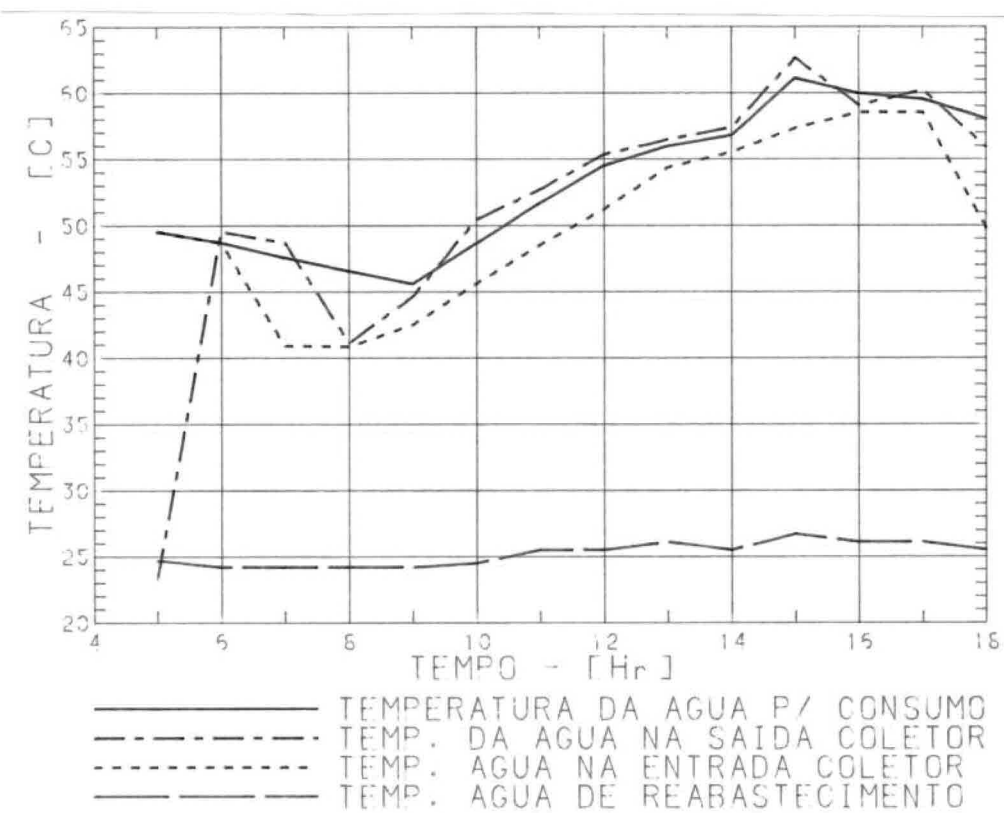


GRÁFICO 56B

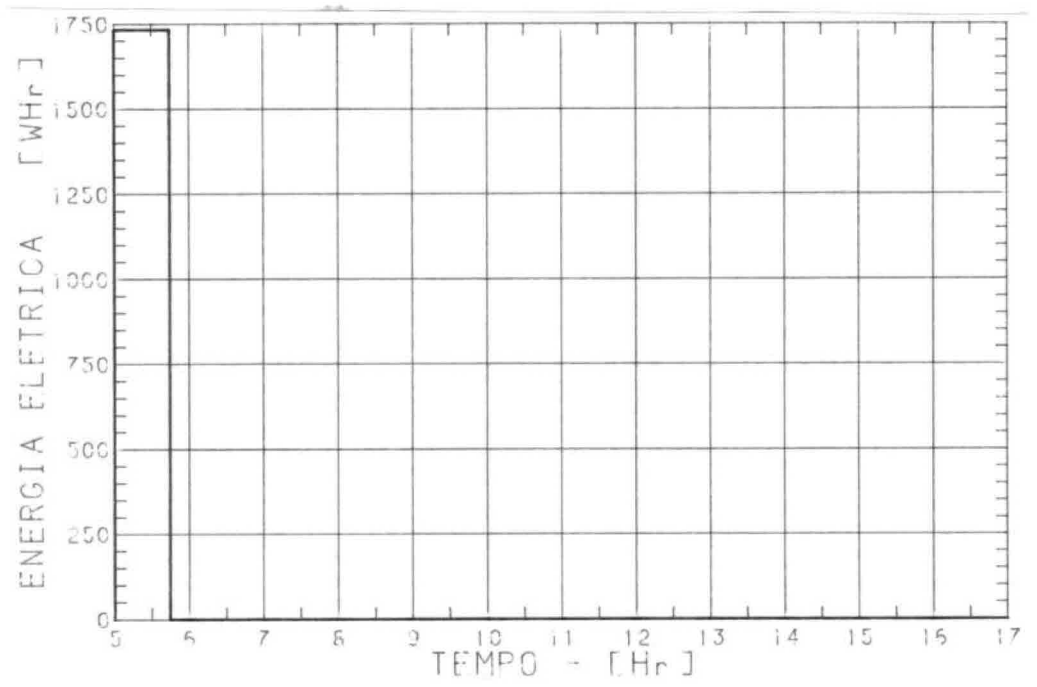


GRÁFICO 56C

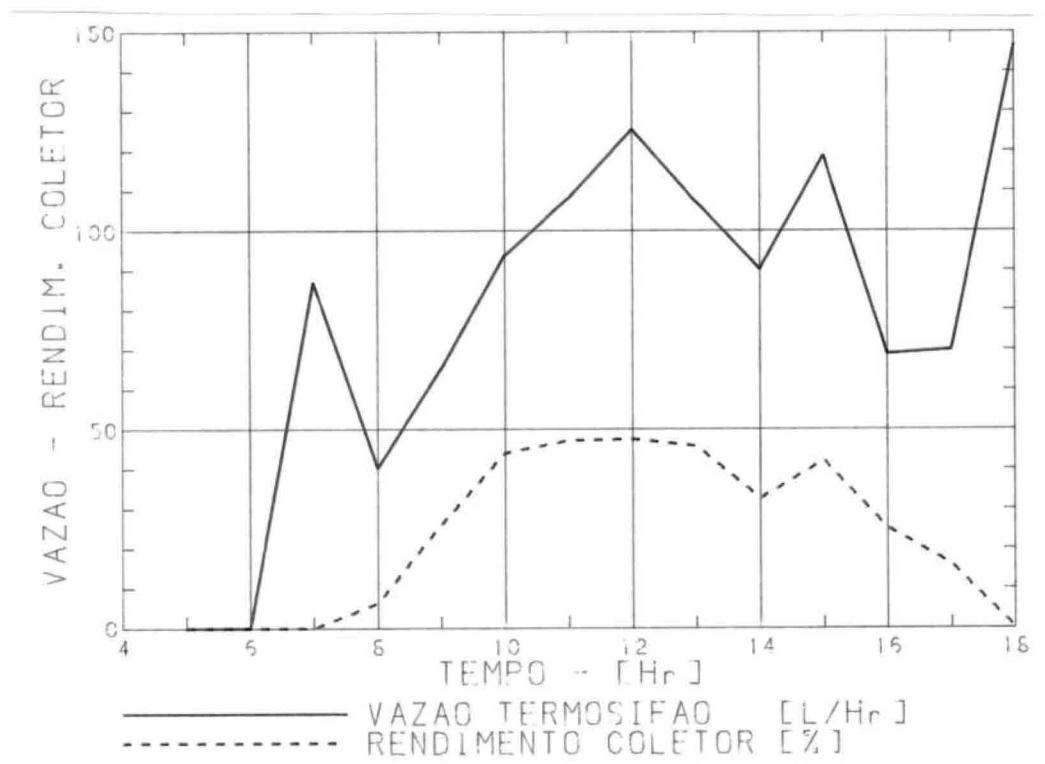


GRÁFICO 56D

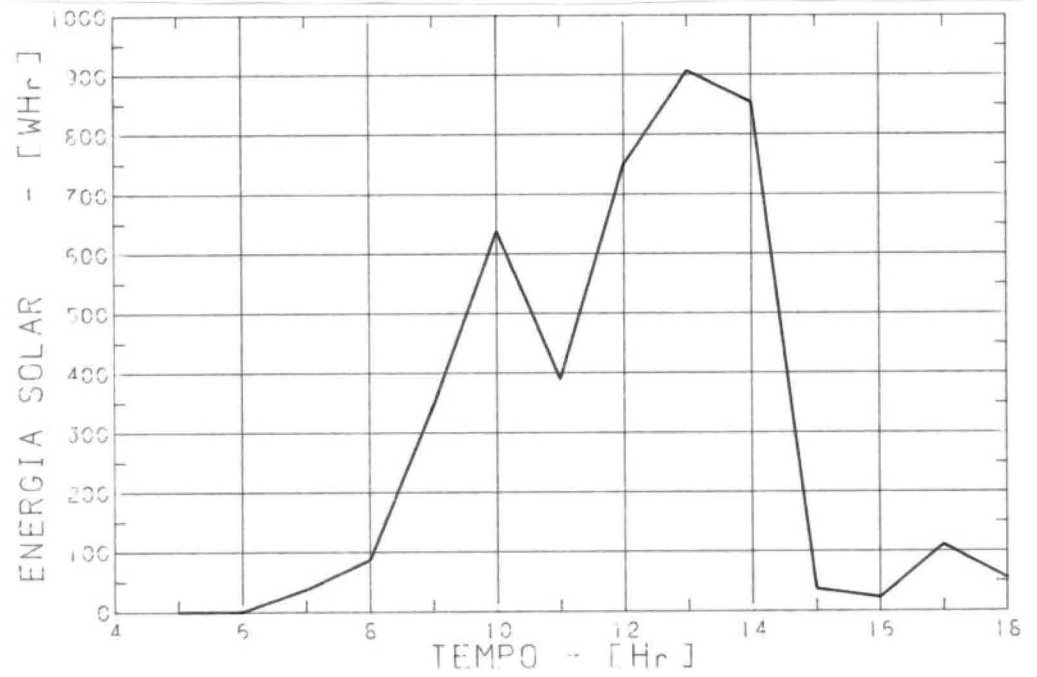


GRÁFICO 57A

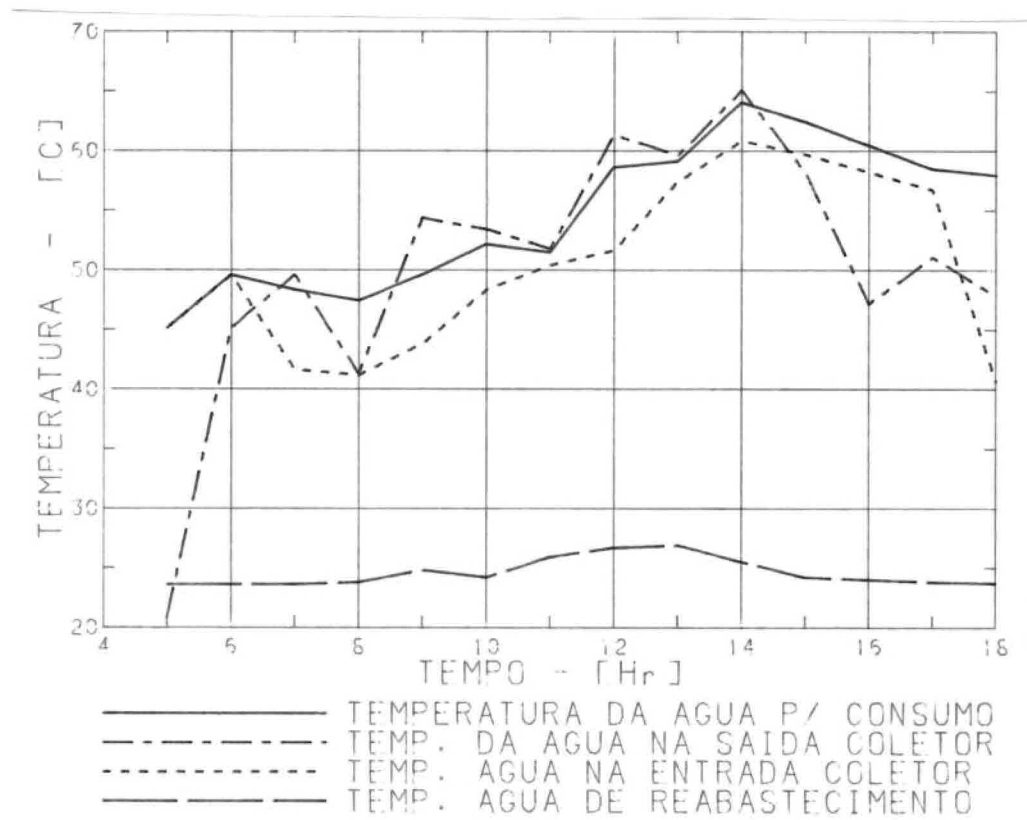


GRÁFICO 57B

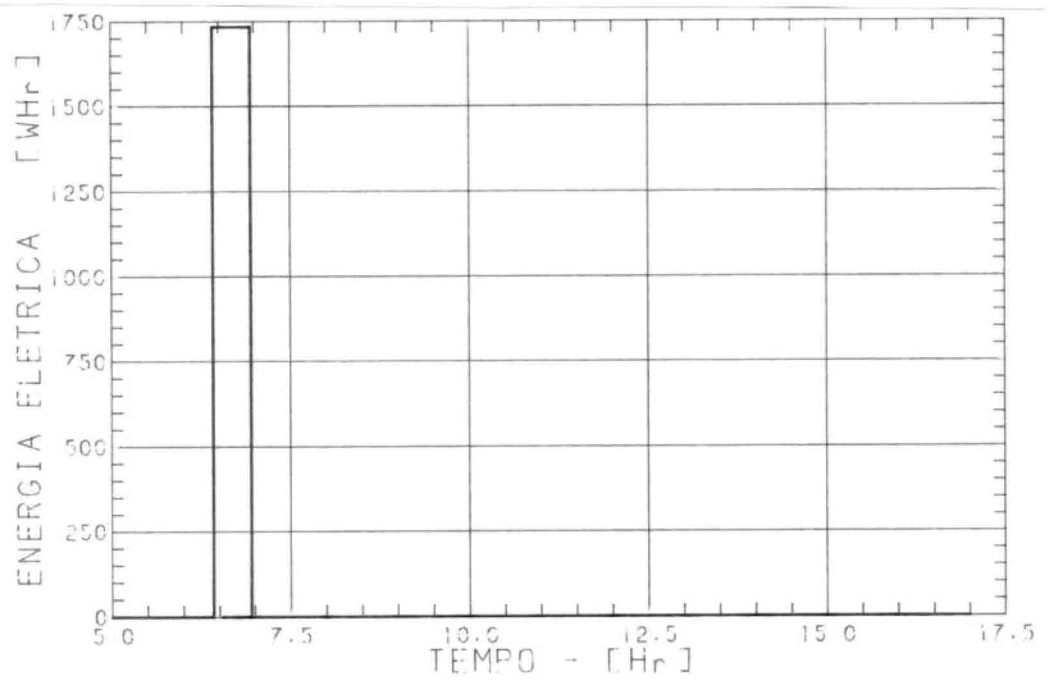


GRÁFICO 57C

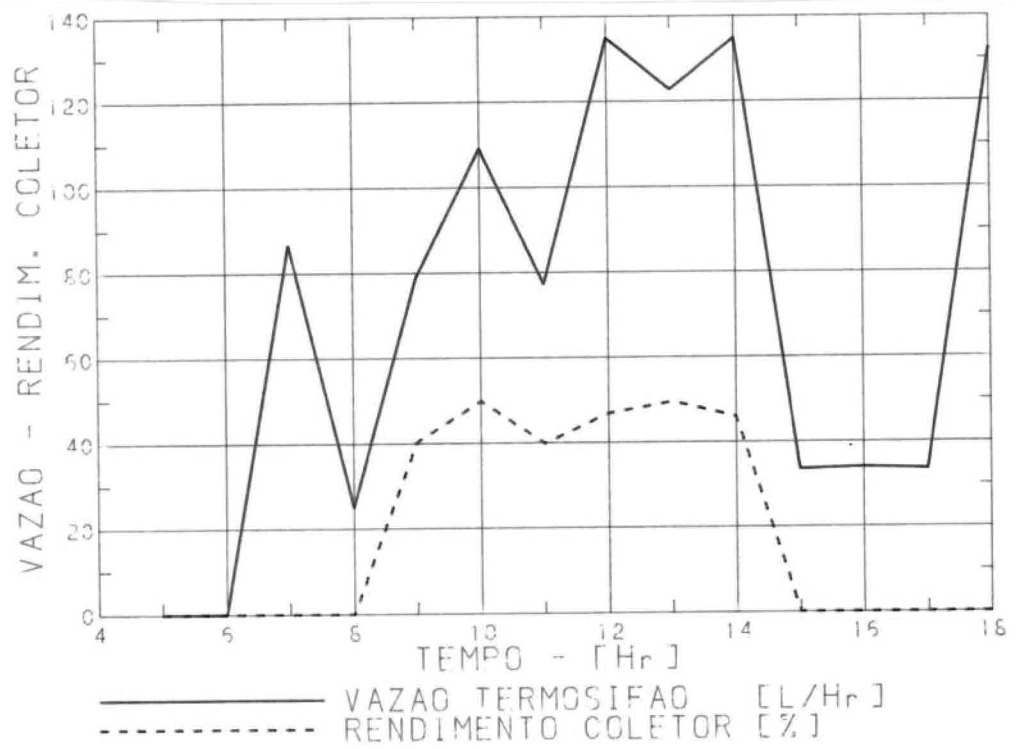


GRÁFICO 57D

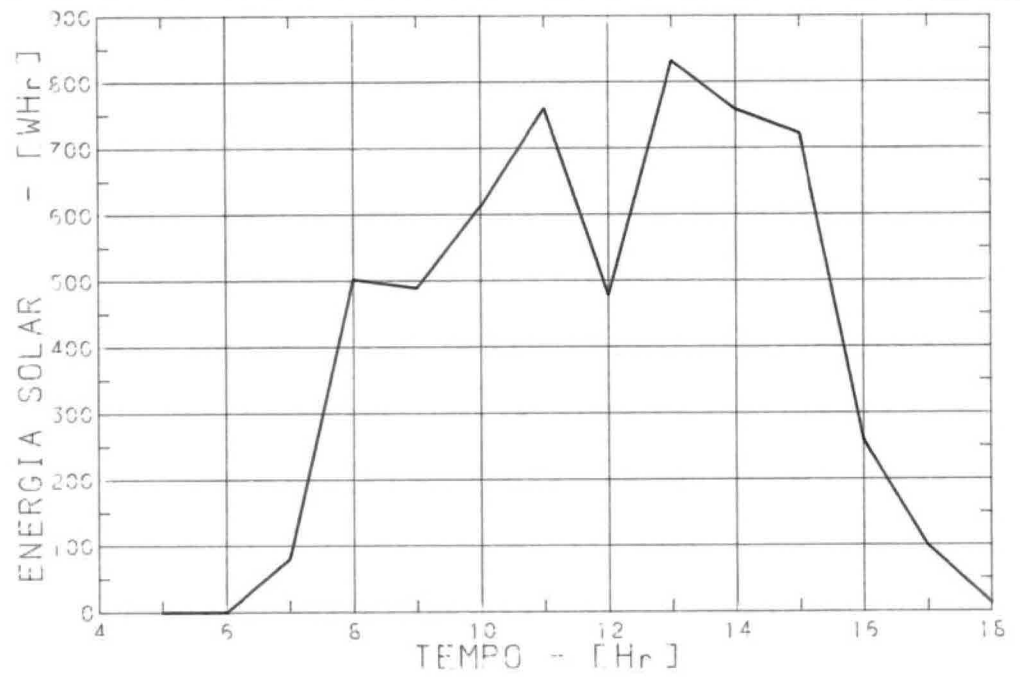


GRÁFICO 62A

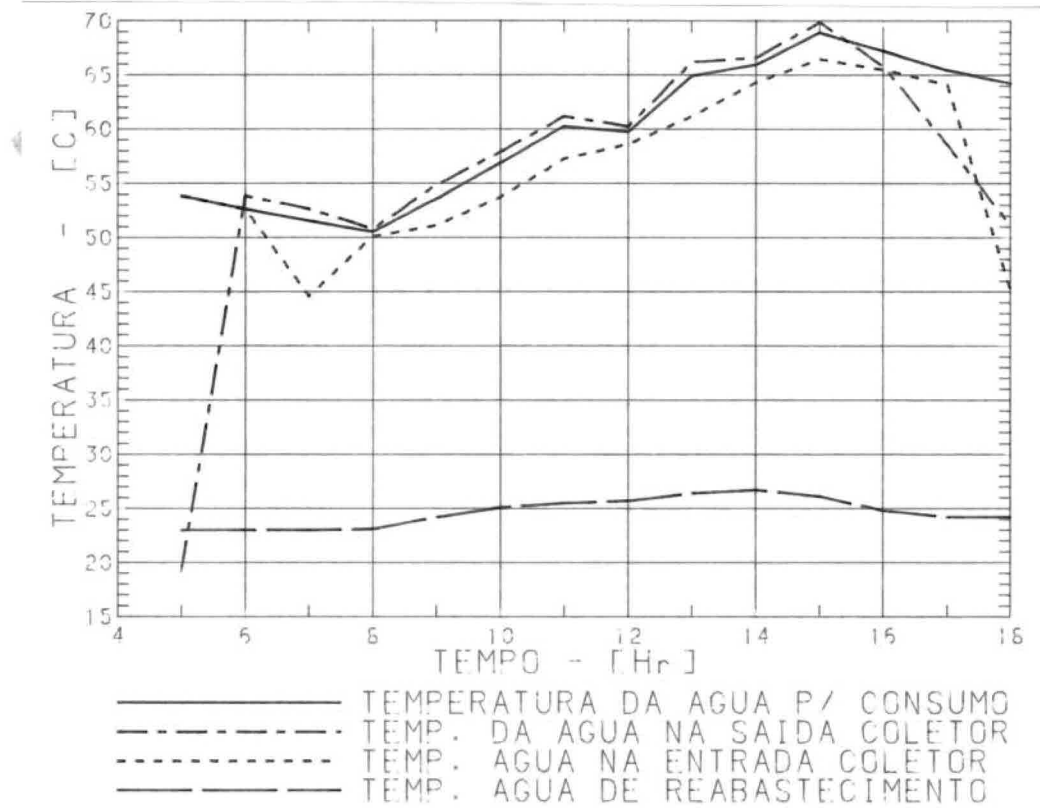


GRÁFICO 62B

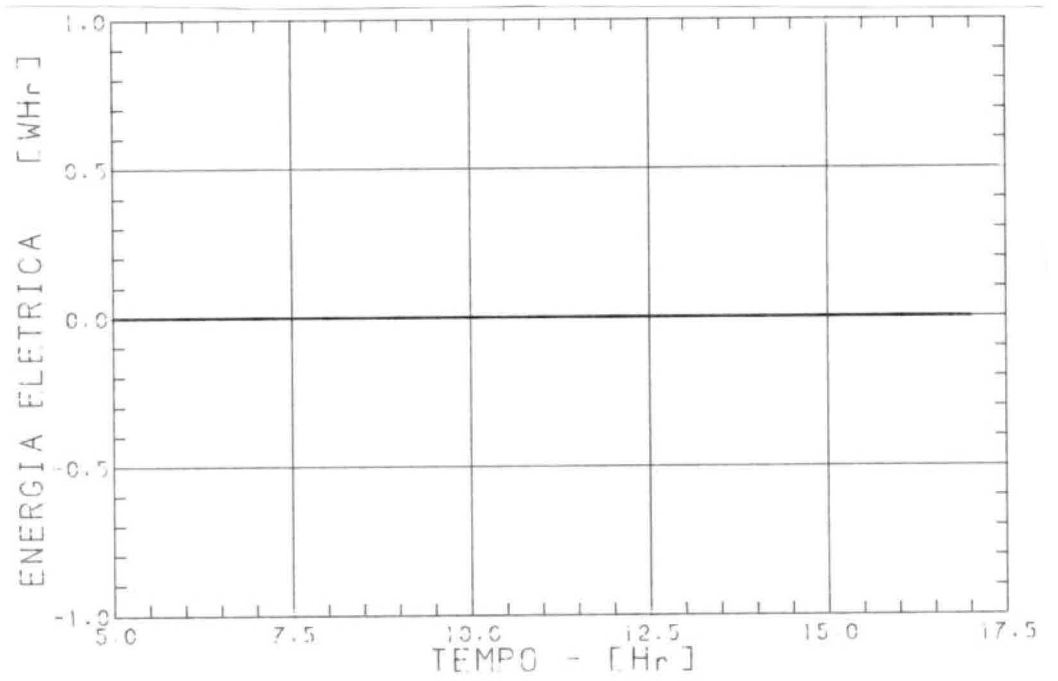


GRÁFICO 62C

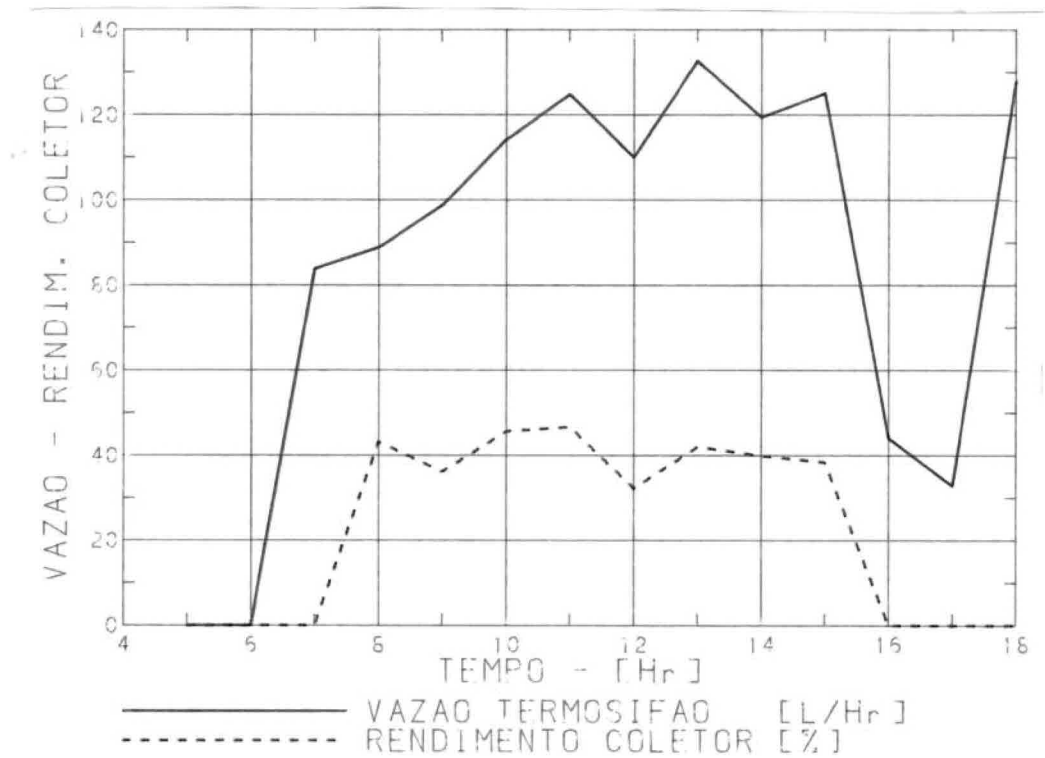


GRÁFICO 62D

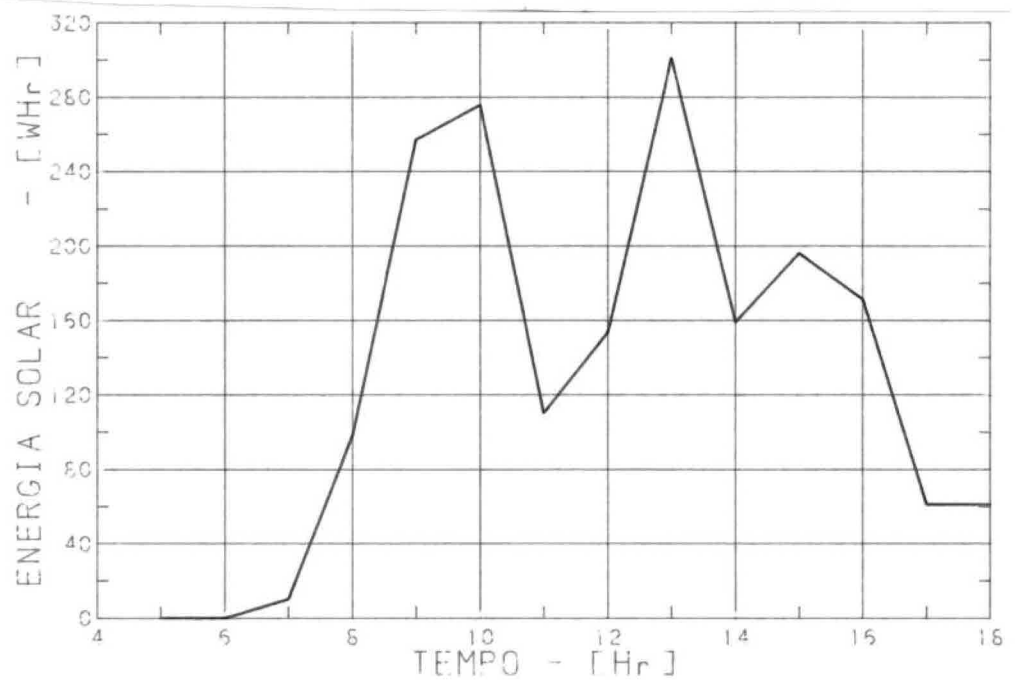


GRÁFICO 75A

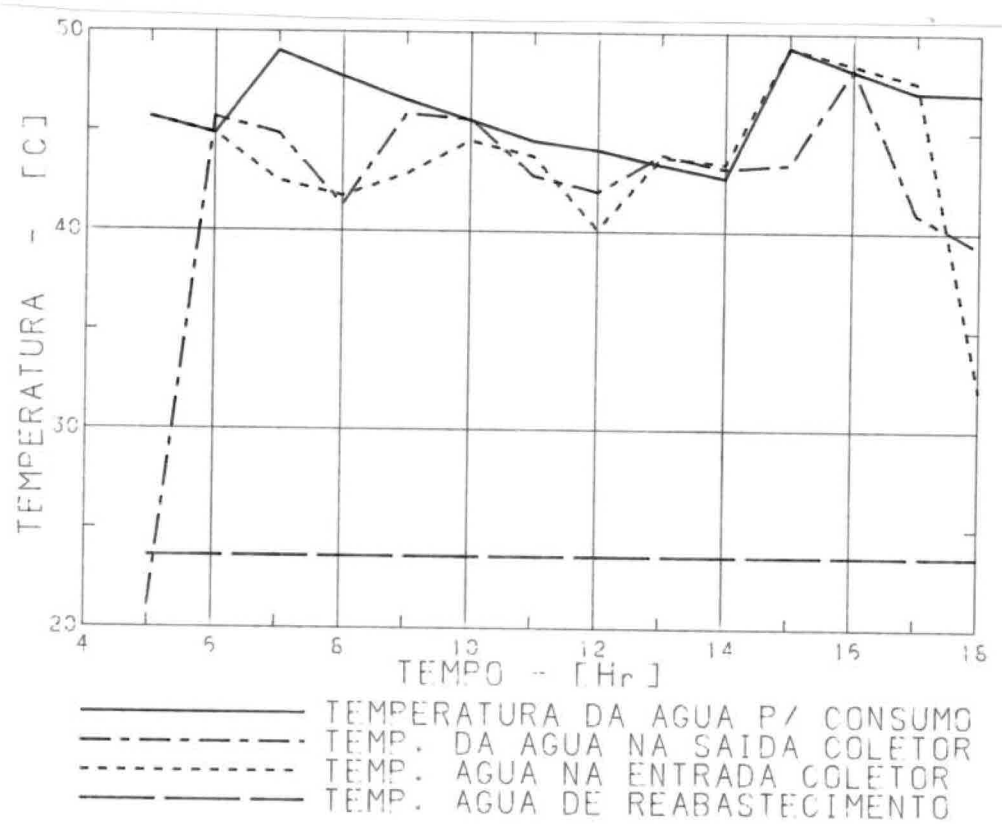


GRÁFICO 75B

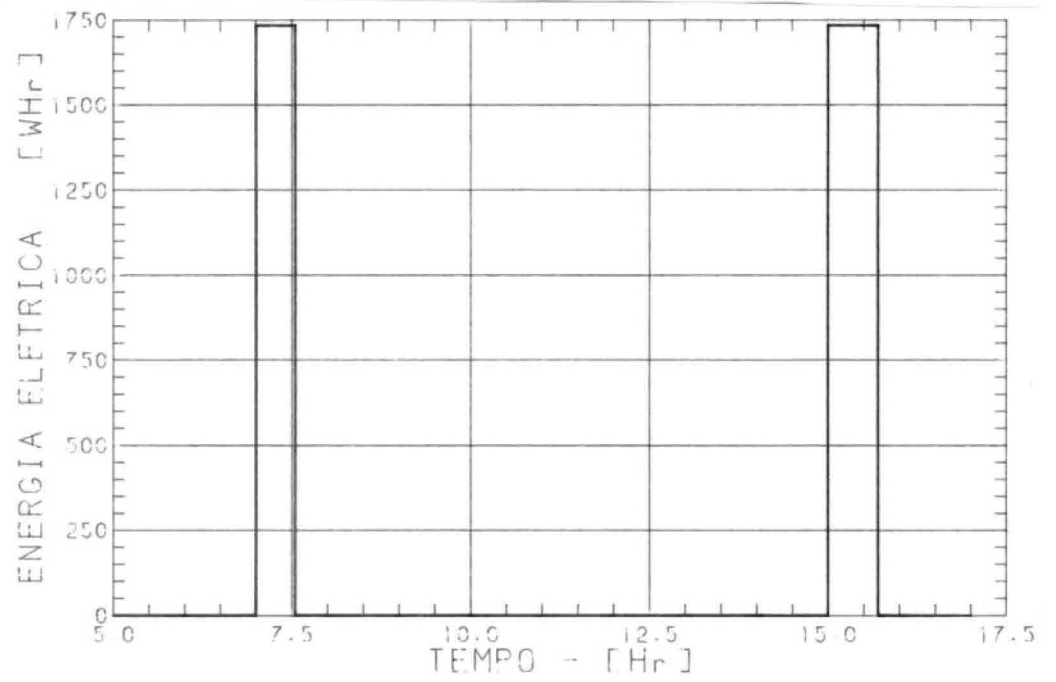


GRÁFICO 75C

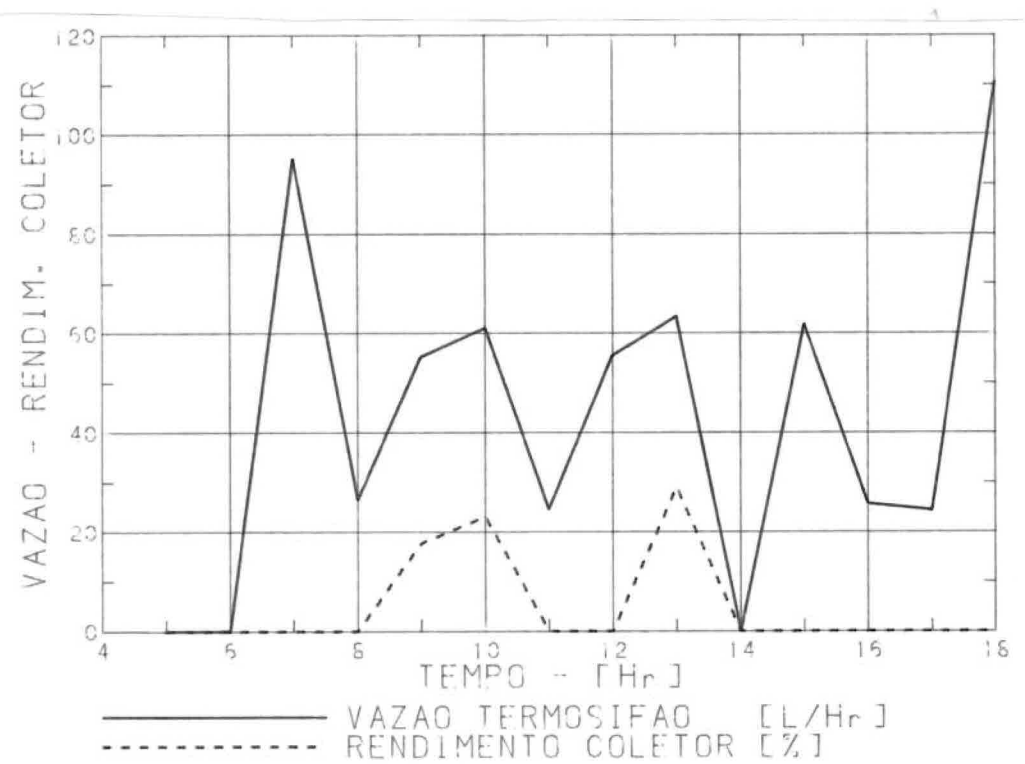


GRÁFICO 75D

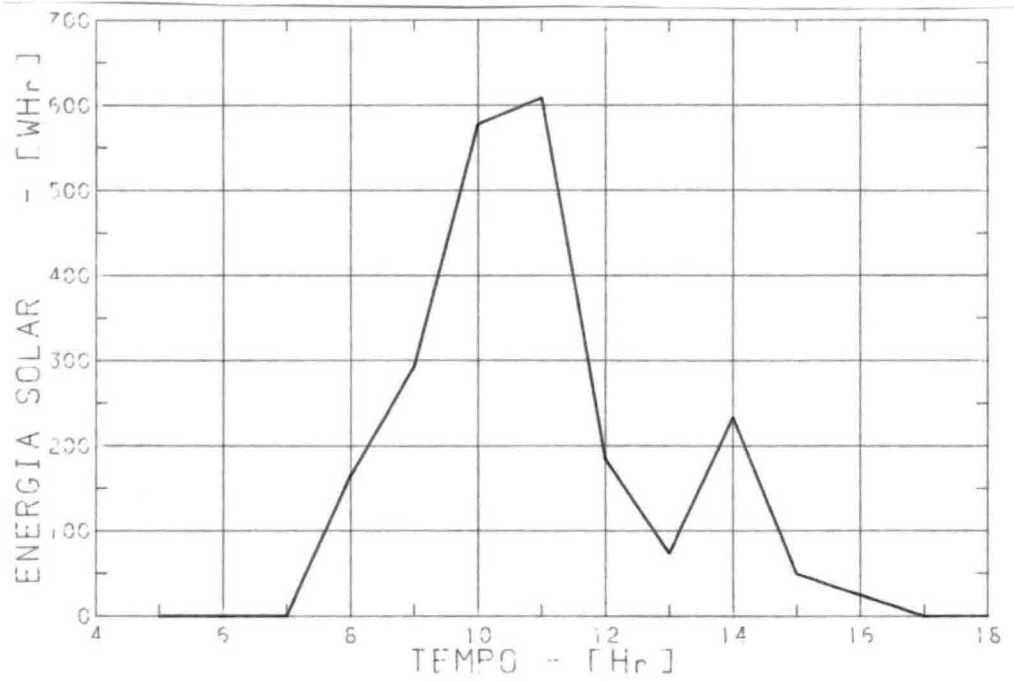


GRÁFICO 76A

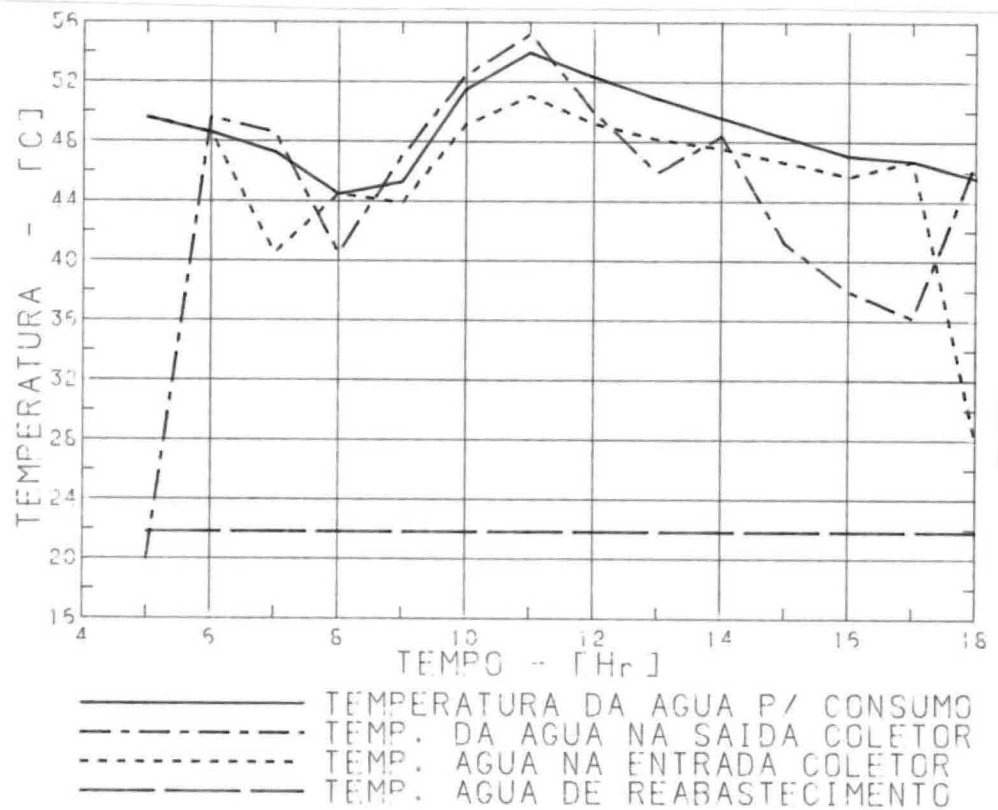


GRÁFICO 76B

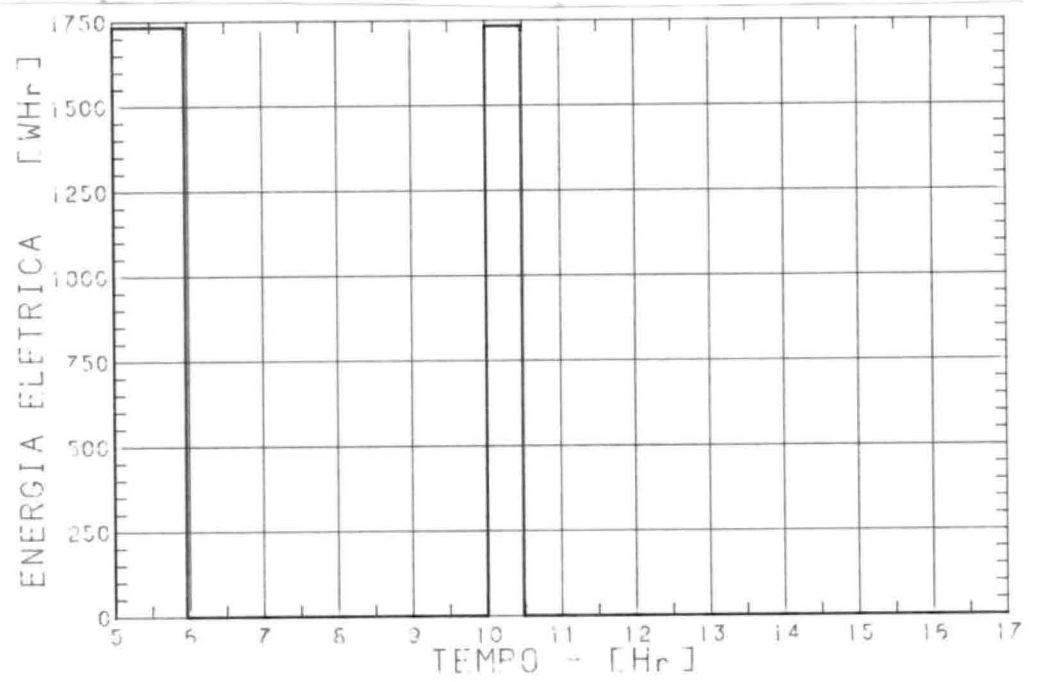


GRÁFICO 76C

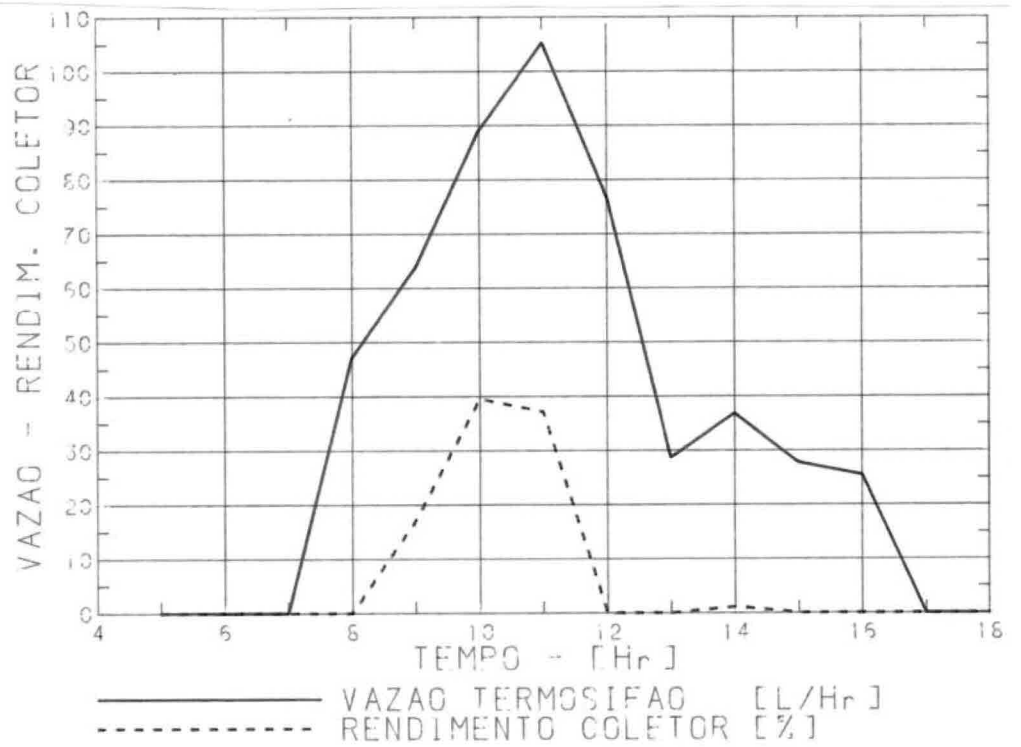


GRÁFICO 76D

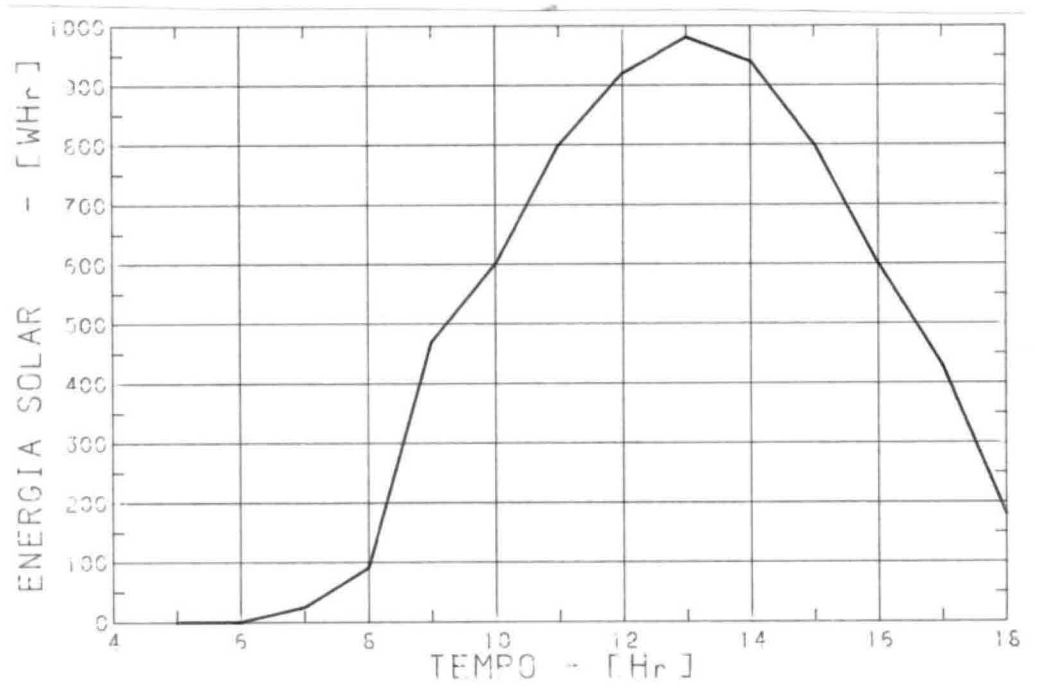


GRÁFICO 87A

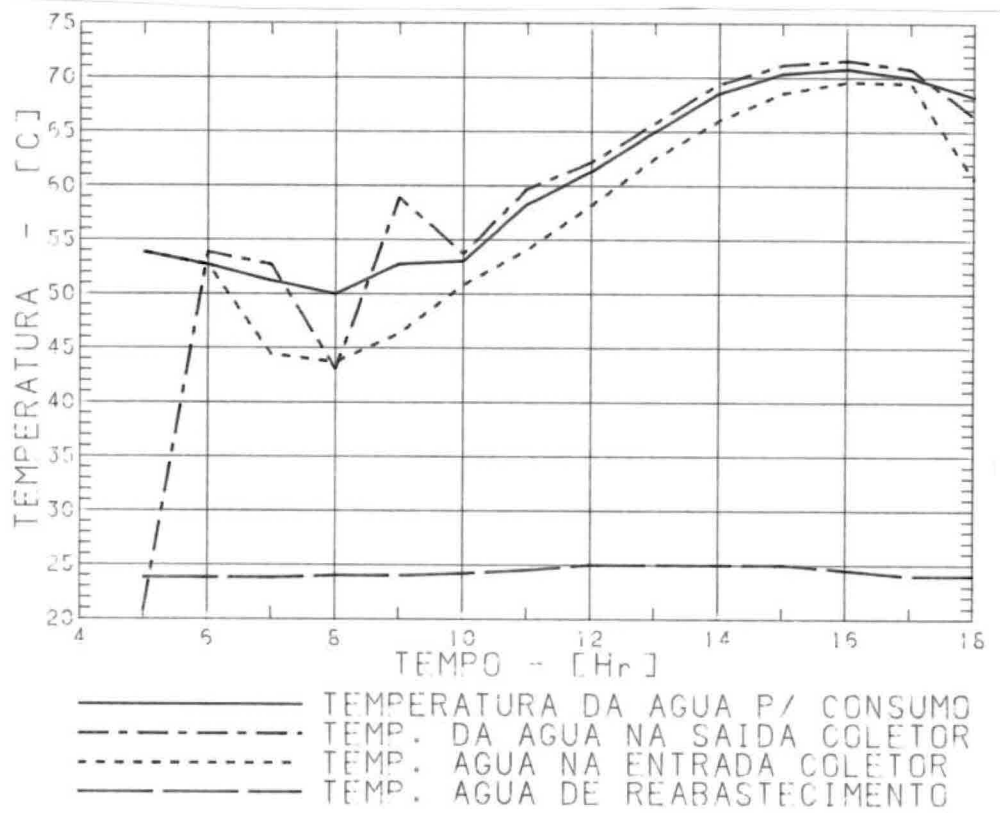


GRÁFICO 87B

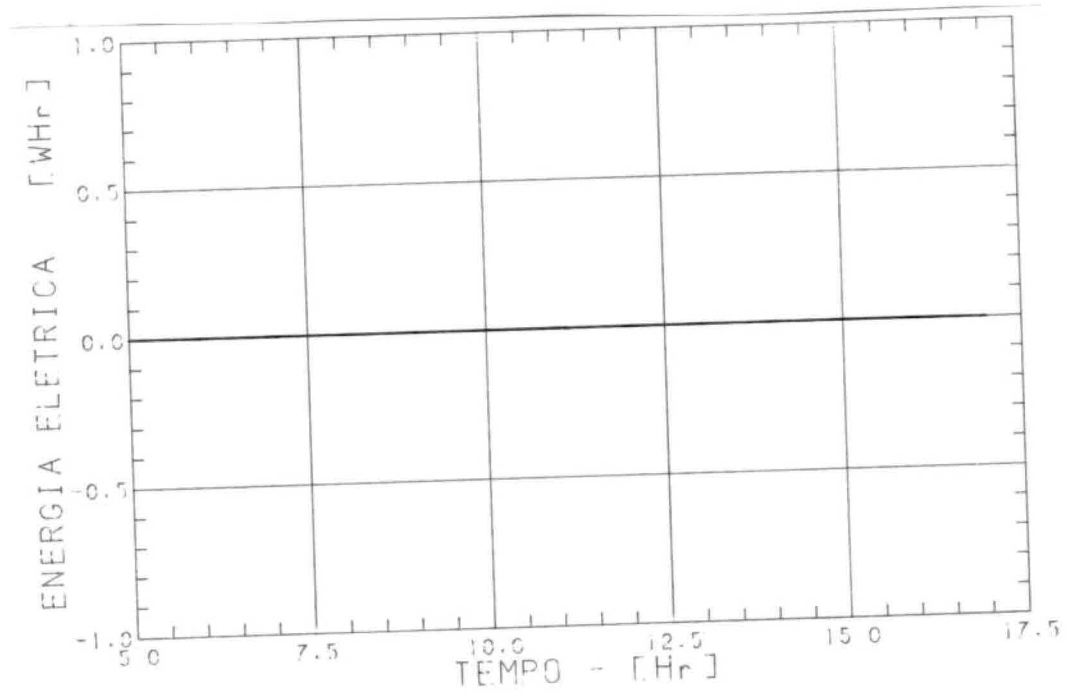


GRÁFICO 87C

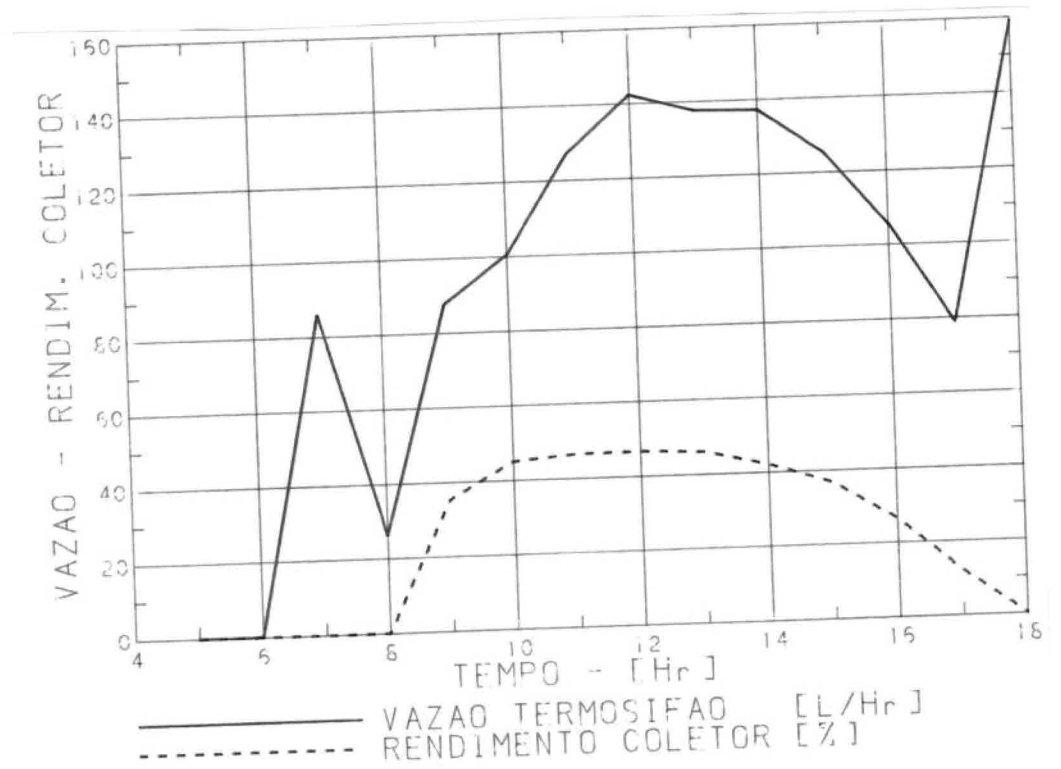


GRÁFICO 87D

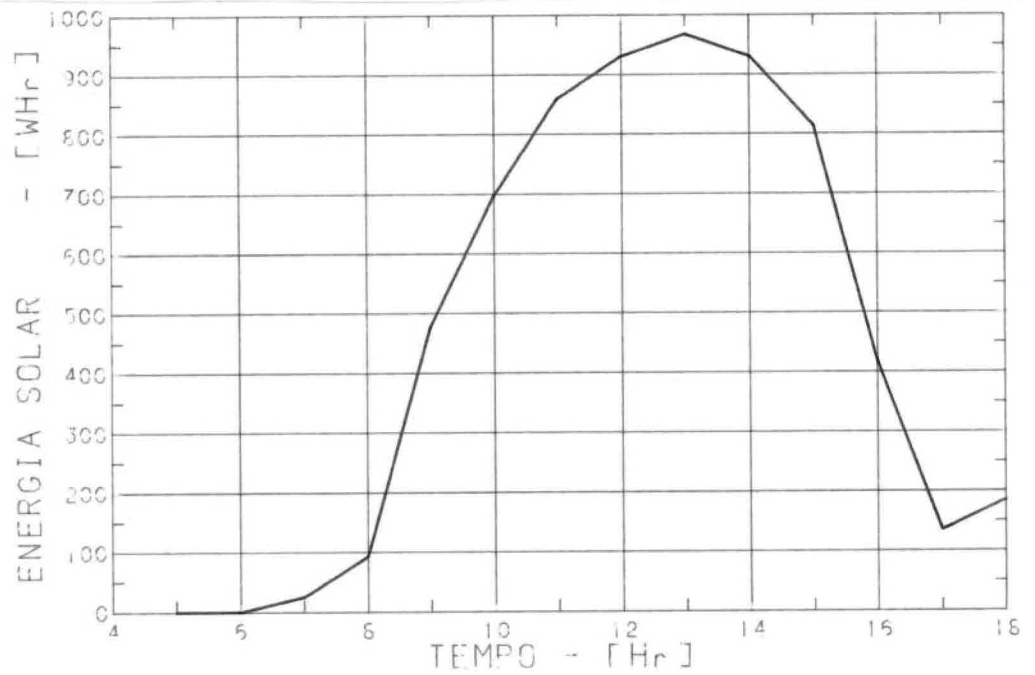


GRÁFICO 88A

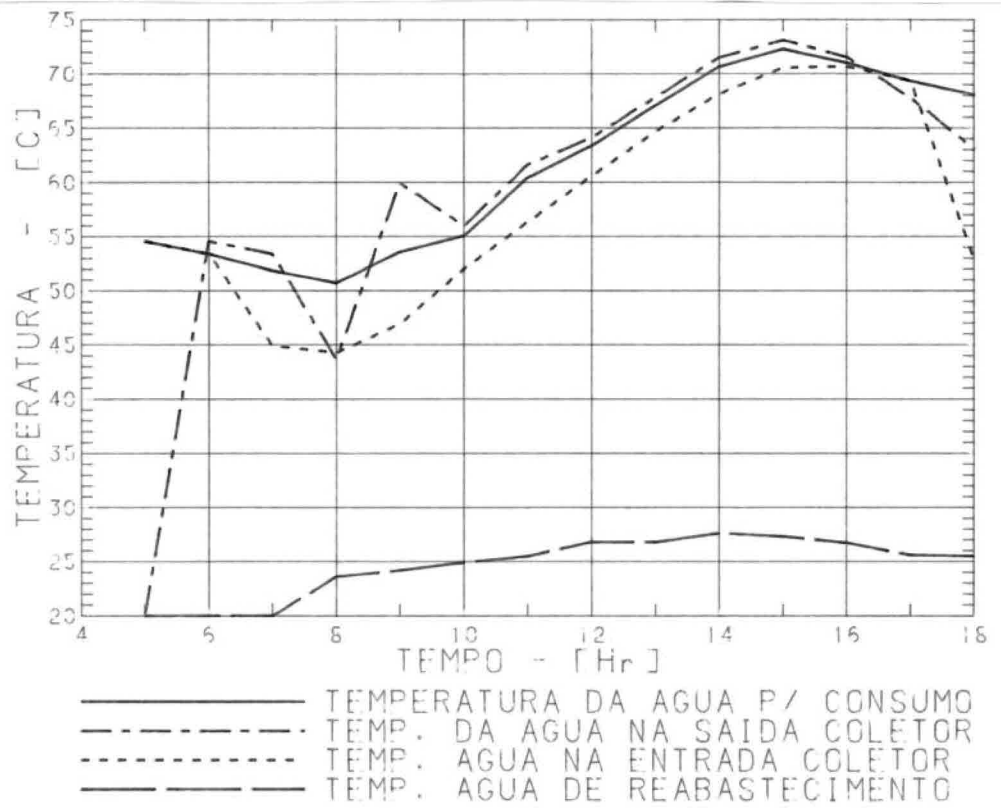


GRÁFICO 88B

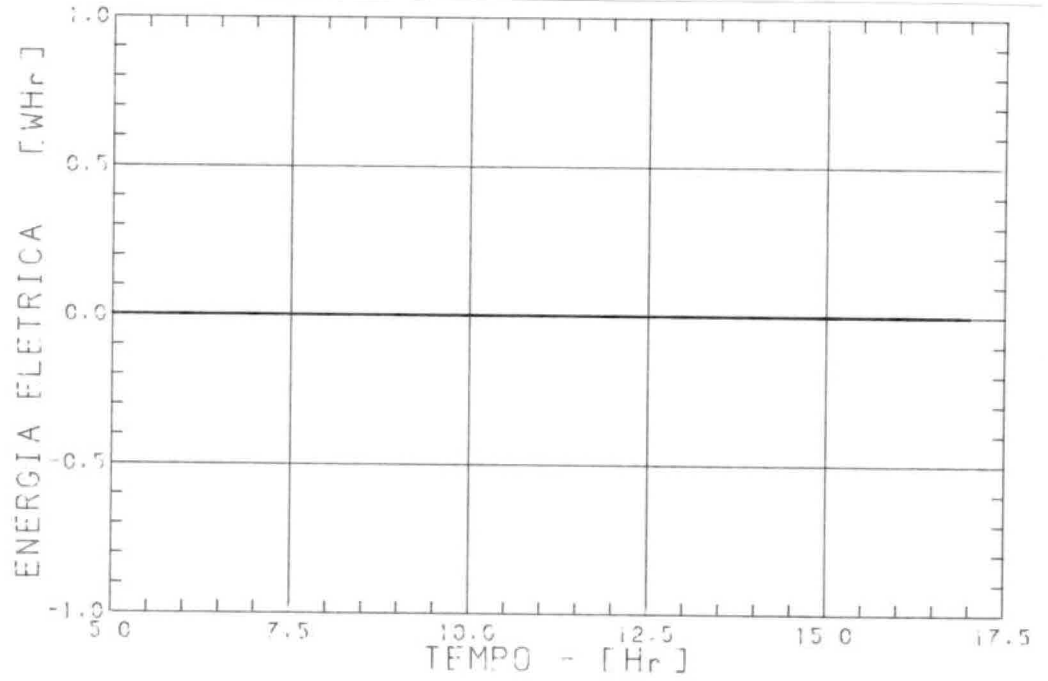


GRÁFICO 88C

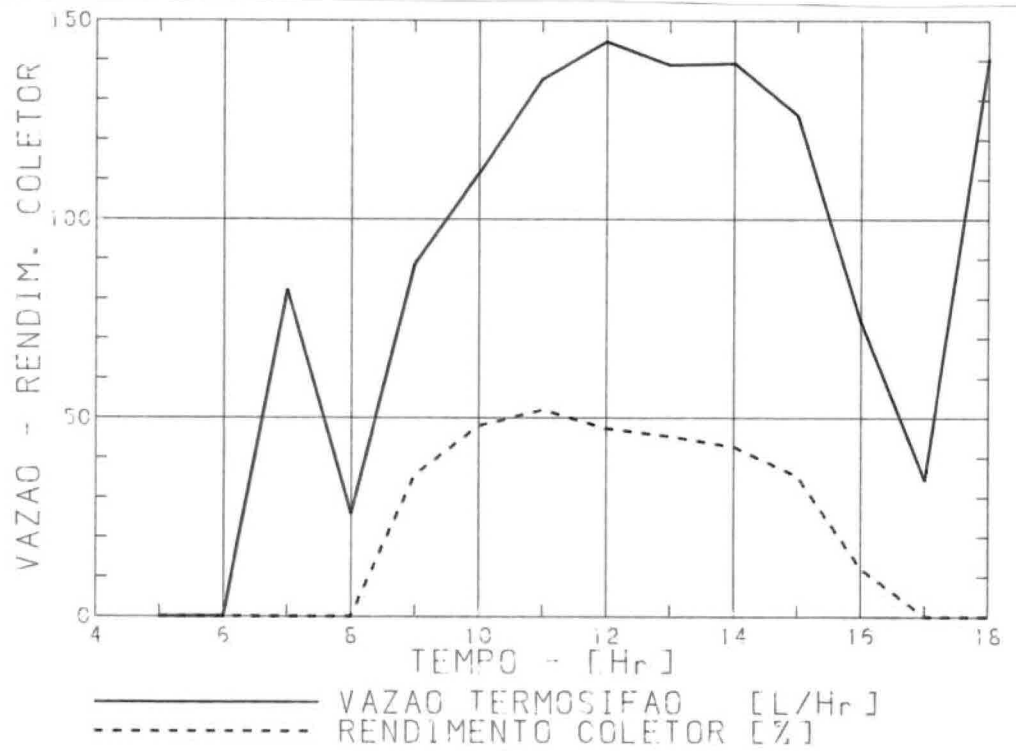


GRÁFICO 88D

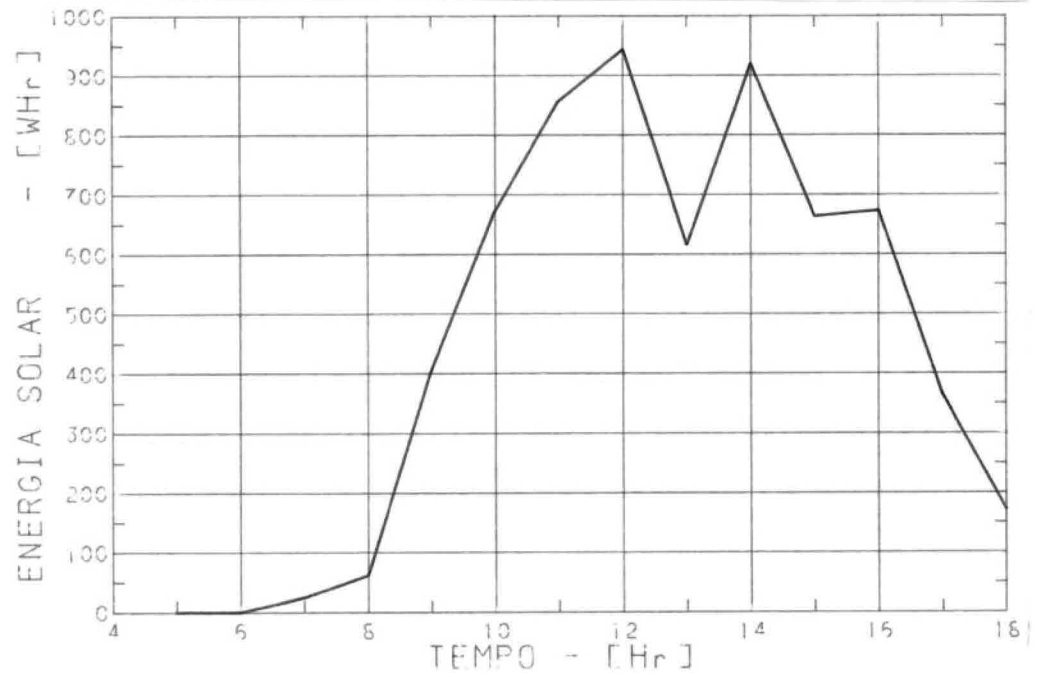


GRÁFICO 89A

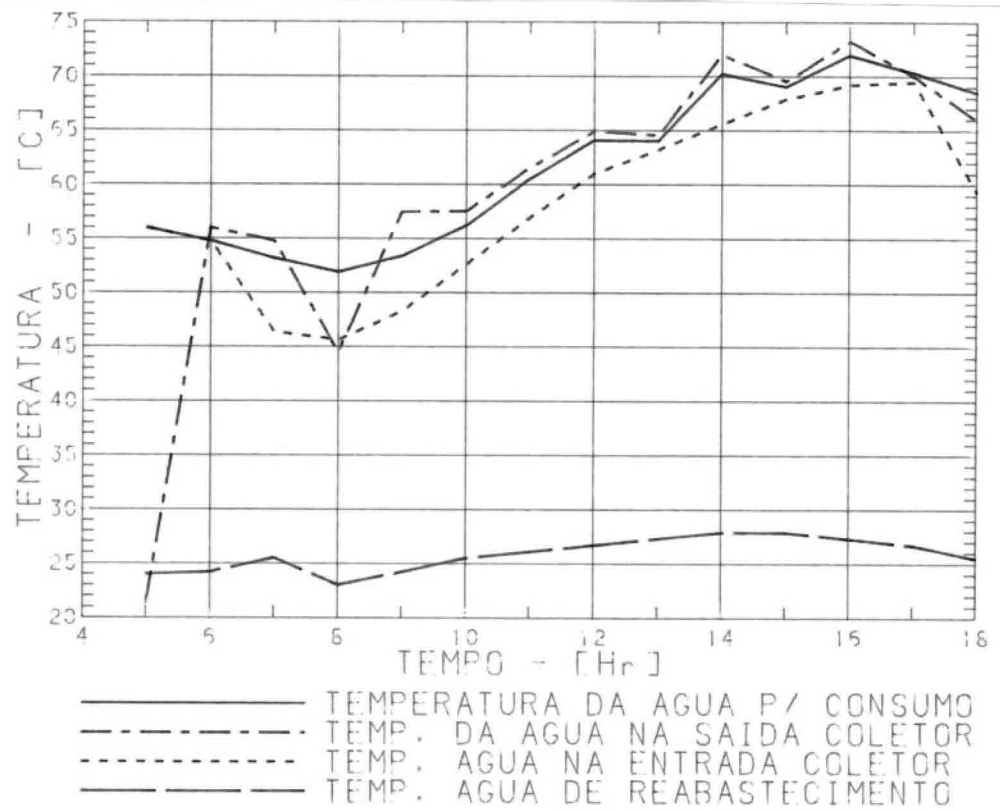


GRÁFICO 89B

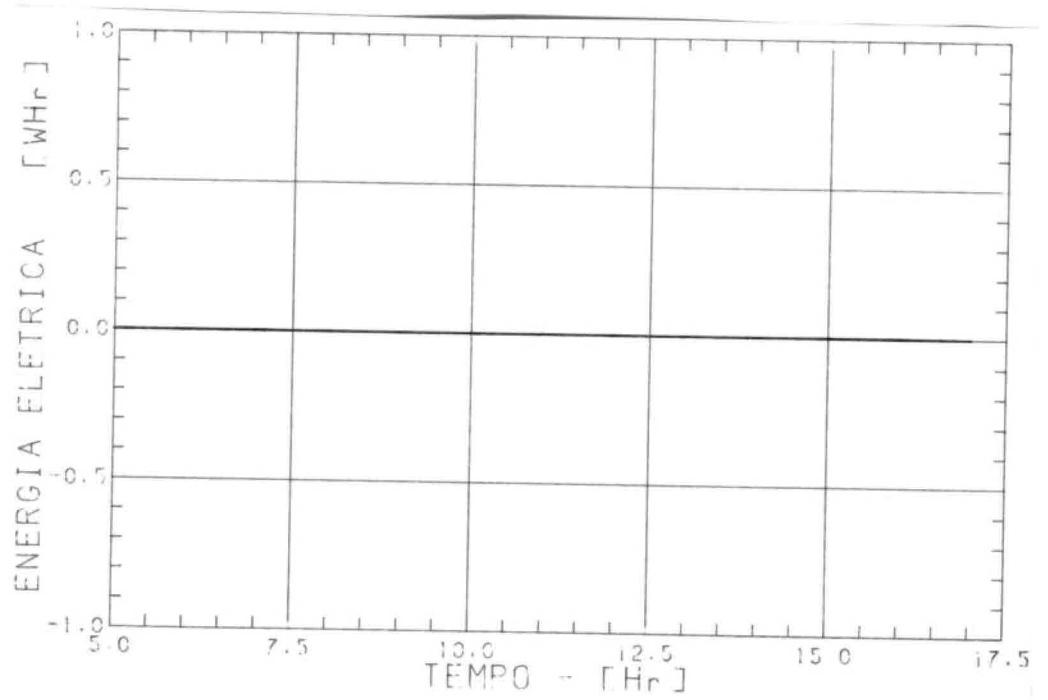


GRÁFICO 89C

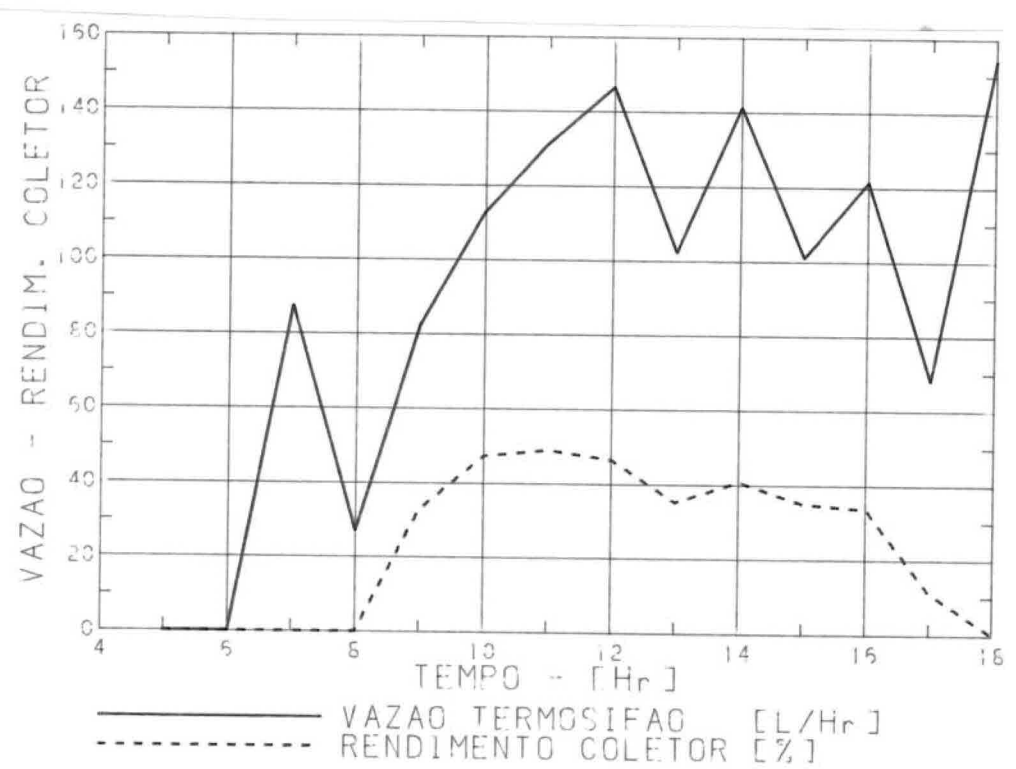


GRÁFICO 89D

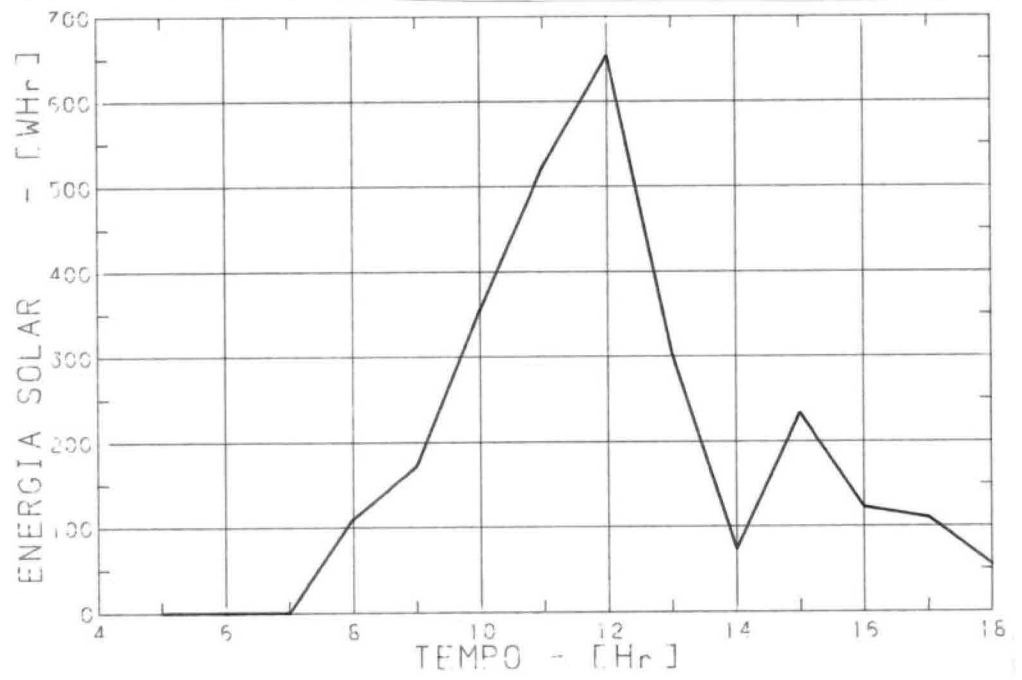


GRÁFICO 106A

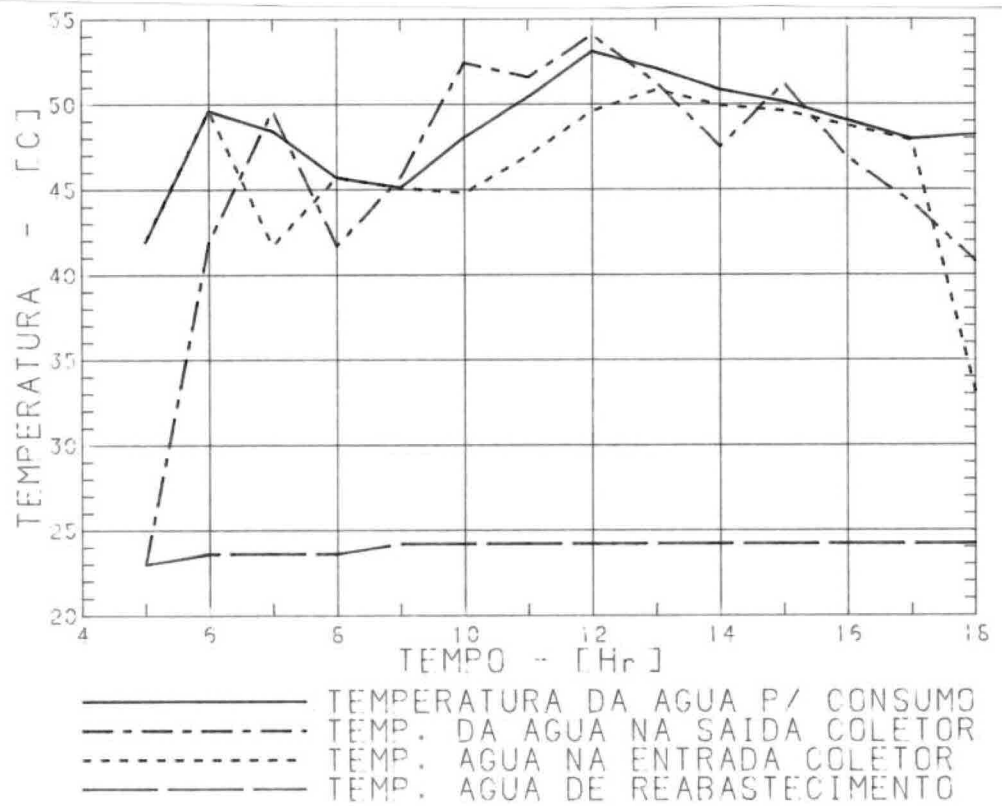


GRÁFICO 106B

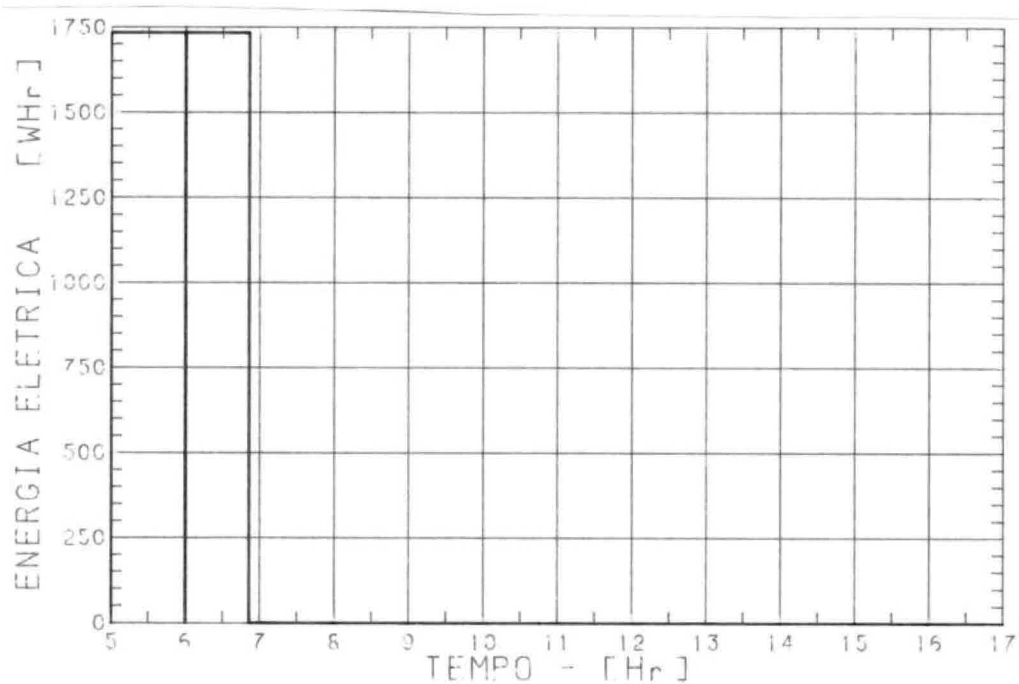


GRÁFICO 106C

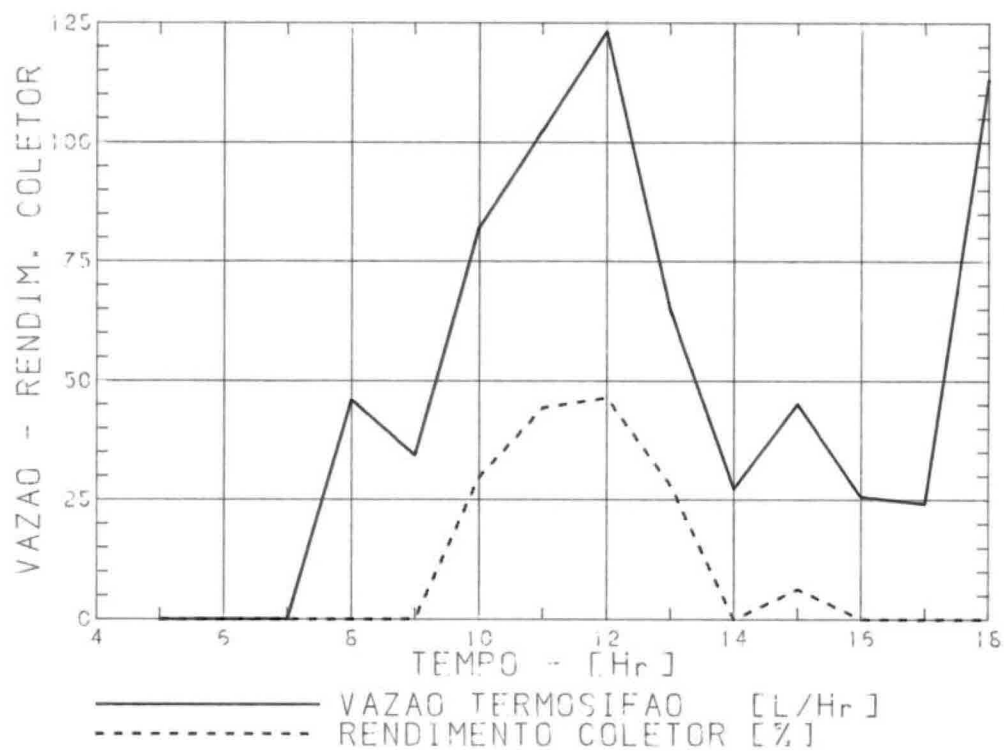


GRÁFICO 106D

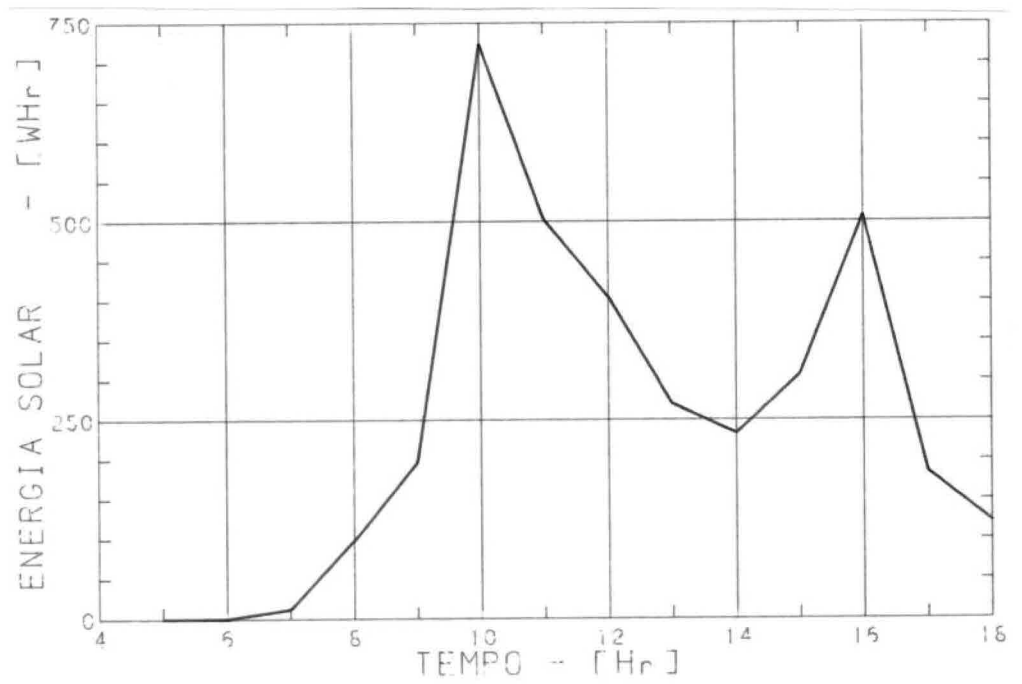


GRÁFICO 110A

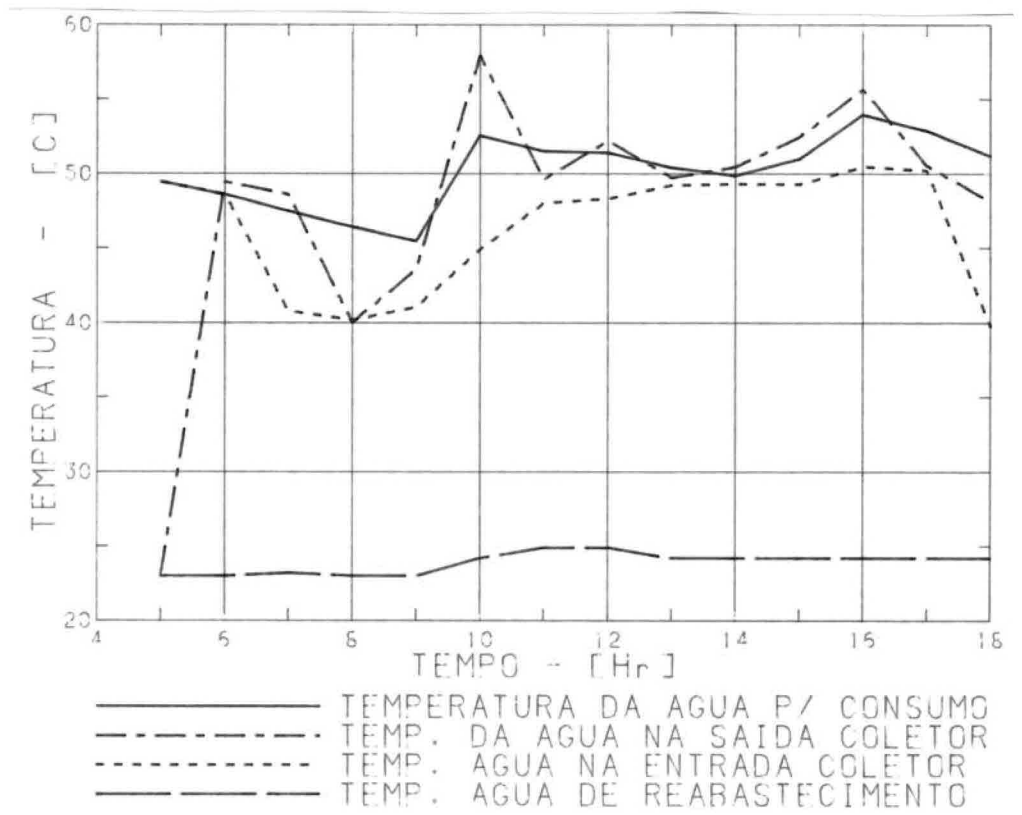


GRÁFICO 110B

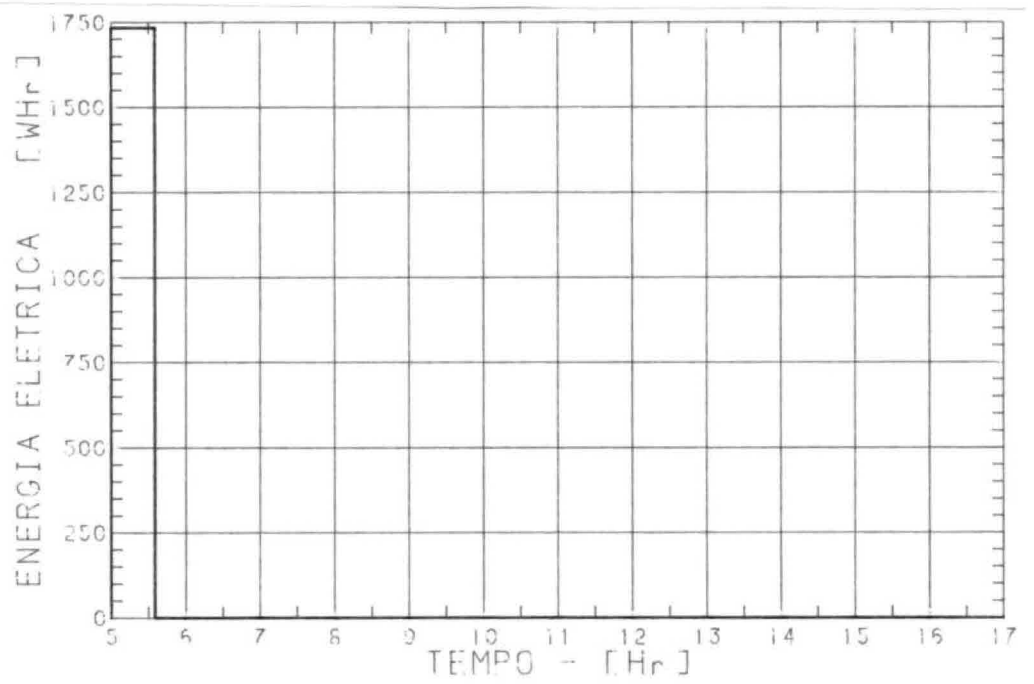


GRÁFICO 110C

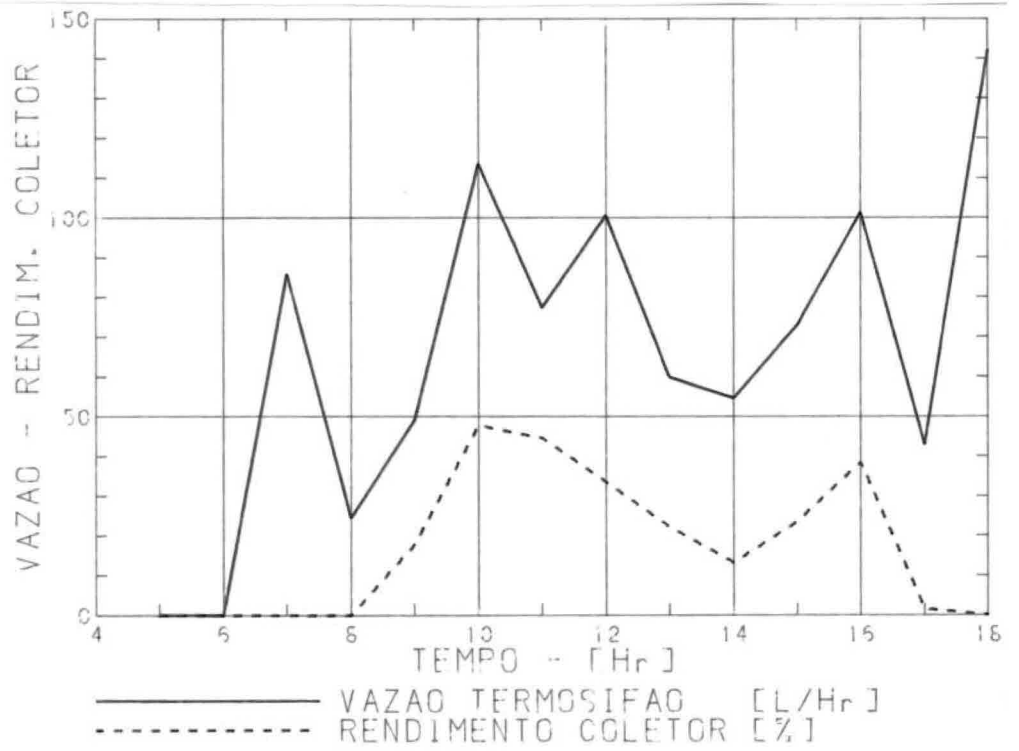


GRÁFICO 110D

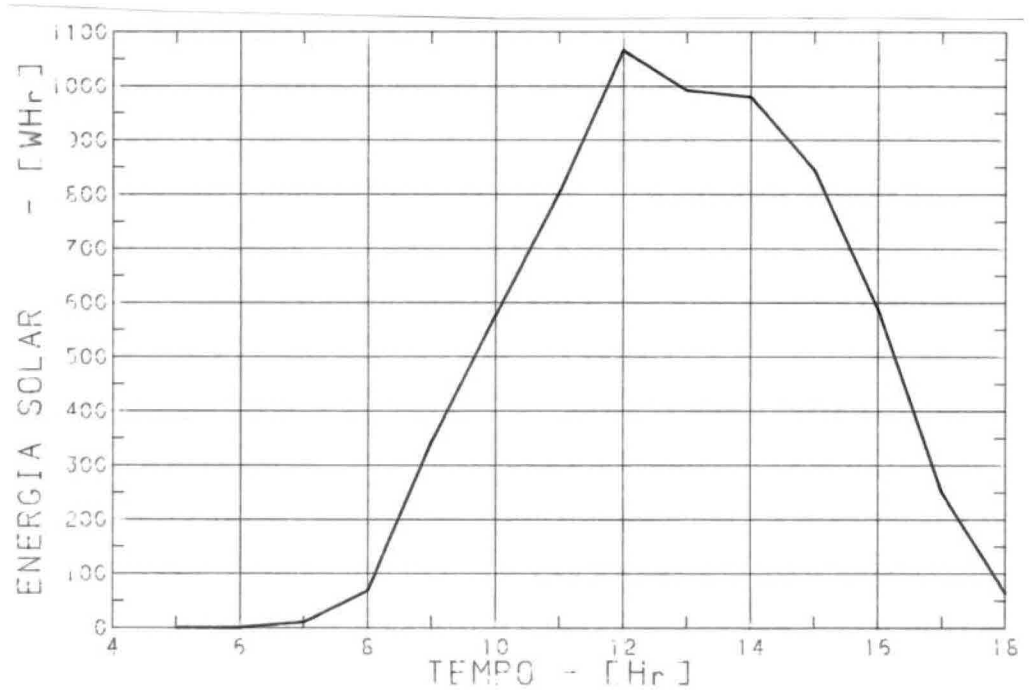


GRÁFICO 111A

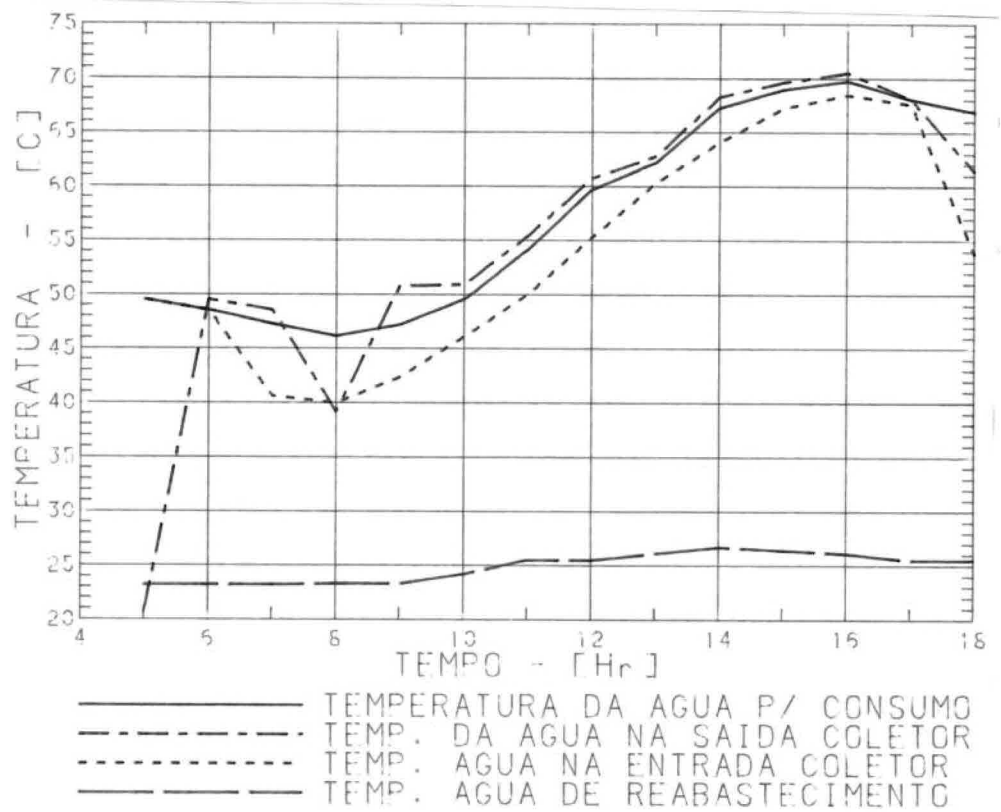


GRÁFICO 111B

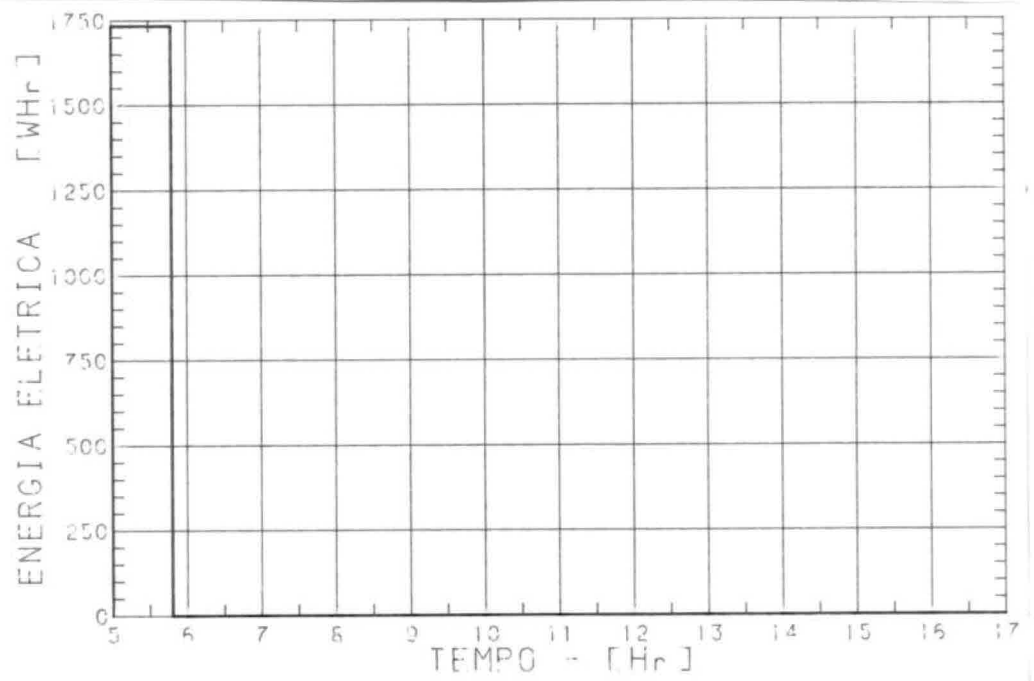


GRÁFICO 111C

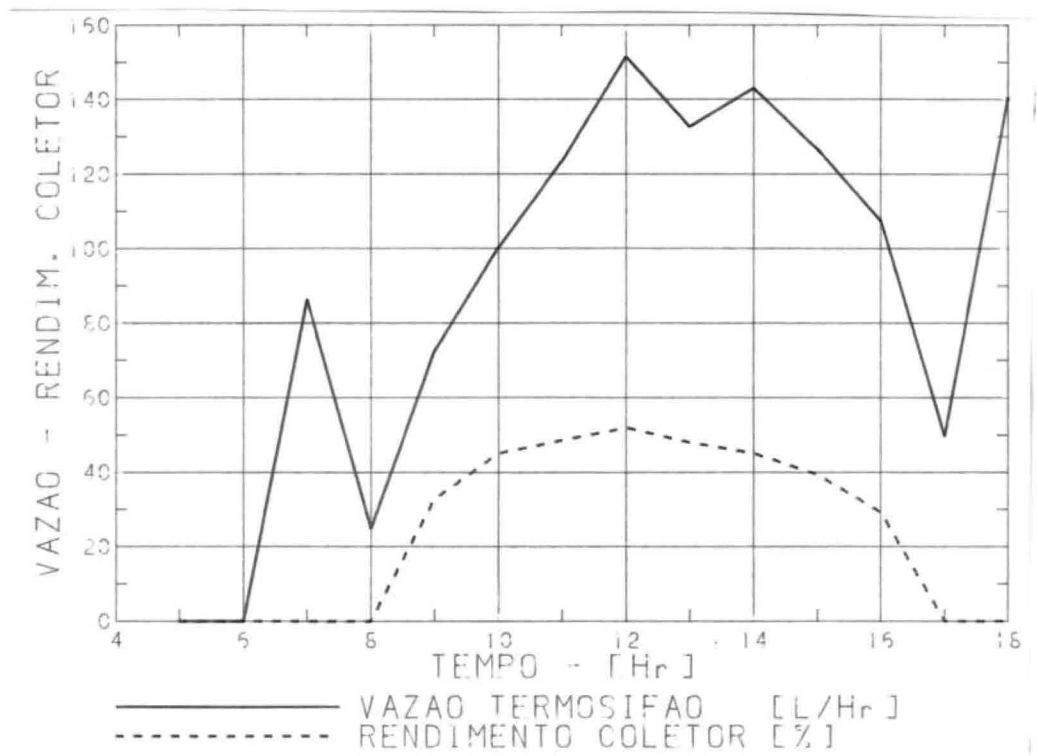


GRÁFICO 111D

SIMULACAO DE SISTEMAS

*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA	HORA	TEMP. AMB. (C)	VELOC VENTO (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/P**2)	FATOR R	RADIACAO PLACA (S) (W/M**2)	COEFICIENTE PERDA (UL) (W/M**2C)	FATOR EFICIENCIA (W/M**2C)	FATOR REMOCAO (MHR)	CALOR UTIL (MHR)	TEMPERATURA SAIDA FLUIDO (C)	RENDIMENTO HORARIO
46	5.0	14.5	0.0	0.00	1.00	0.00	4.92	0.88	0.47	0.00	16.24	0.00
46	6.0	14.5	0.0	0.00	1.00	0.00	5.65	0.86	0.00	0.00	53.70	0.00
46	7.0	21.8	1.0	49.00	1.00	38.09	6.36	0.85	0.00	0.00	52.34	0.00
46	8.0	25.5	1.7	220.40	1.00	171.35	6.47	0.84	0.78	39.90	45.22	18.10
46	9.0	28.5	2.0	508.20	1.00	395.09	6.76	0.84	0.74	211.74	54.08	41.66
46	10.0	30.3	2.2	685.70	1.00	533.09	6.95	0.83	0.78	315.78	56.49	46.05
46	11.0	30.3	2.4	857.10	1.00	666.34	7.14	0.83	0.78	399.97	60.25	46.67
46	12.0	31.5	2.6	955.10	1.00	742.53	7.34	0.83	0.78	440.40	64.10	46.11
46	13.0	32.7	2.2	809.20	1.00	629.10	7.26	0.83	0.79	340.81	65.44	42.12
46	14.0	33.0	2.4	751.00	1.00	593.86	7.42	0.83	0.78	279.18	68.74	37.17
46	15.0	34.2	2.4	832.70	1.00	647.37	7.51	0.82	0.78	320.95	71.55	38.54
46	16.0	37.6	2.2	587.80	1.00	456.98	7.45	0.82	0.78	178.83	71.42	30.42
46	17.0	37.0	2.0	342.90	1.00	266.58	7.35	0.83	0.77	19.93	70.21	5.81
46	18.0	31.5	1.4	61.20	1.00	47.58	7.03	0.83	0.75	0.00	63.30	0.00

*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA	HORA	AMB. (C)	VELOC (M/S)	VENTO (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/M**2)	FATOR R	RADIACAO PLACA (S) (W/M**2)	COEFICIENTE PERDA (UL) (W/M**2C)	FATOR EFICIENCIA	FATOR RENDOCAD	UTIL (MHR)	TEMPERATURA SAIDA FLUIDO (C)	RENDIMENTO HORARIO
46	5.0	14.5	0.0	0.00	1.00	0.00	4.92	0.88	0.47	0.00	0.00	16.24	0.00
46	6.0	14.5	0.0	0.00	1.00	0.00	5.65	0.86	0.00	0.00	0.00	53.70	0.00
46	7.0	21.8	1.0	49.00	1.00	38.09	6.36	0.85	0.00	0.00	0.00	52.34	0.00
46	8.0	25.5	1.7	220.40	1.00	171.35	6.47	0.84	0.78	39.90	39.90	45.22	18.10
46	9.0	28.5	2.0	508.20	1.00	395.09	6.76	0.84	0.74	211.74	211.74	54.08	41.66
46	10.0	30.3	2.2	685.70	1.00	533.09	6.95	0.83	0.78	315.78	315.78	56.49	46.05
46	11.0	30.3	2.4	857.10	1.00	666.34	7.14	0.83	0.78	399.97	399.97	60.25	46.67
46	12.0	31.5	2.6	955.10	1.00	742.53	7.34	0.83	0.78	440.40	440.40	64.10	46.11
46	13.0	32.7	2.2	809.20	1.00	629.10	7.26	0.83	0.79	340.81	340.81	65.44	42.12
46	14.0	33.0	2.4	751.00	1.00	583.86	7.42	0.83	0.78	279.18	279.18	68.74	37.17
46	15.0	34.2	2.4	832.70	1.00	647.37	7.51	0.82	0.78	320.95	320.95	71.55	38.54
46	16.0	37.6	2.2	587.80	1.00	456.98	7.45	0.82	0.78	178.83	178.83	71.42	30.42
46	17.0	37.0	2.0	342.90	1.00	266.58	7.35	0.83	0.77	19.93	19.93	70.21	5.81
46	18.0	31.5	1.4	61.20	1.00	47.58	7.03	0.83	0.75	0.00	0.00	63.30	0.00

*** SIMULACION DE TANQUE ESTRATIFICADO ***

HORA	TEMP. AMBIENTE (C)	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	ENERGIA TOTAL ARMAZENADA (MKR)	ENERGIA ELET. AUXILIAR (WHR)	ENERGIA UTIL (WHR)	ENERGIA PERDIDA P/ AMBIENTE (WHR)	ENERGIA PERDIDA P, REABASTECIM. (WHR)
0	14.50	55.10	55.10	55.10	0.00	0.00	5885.99	0.00	0.00	0.00	0.00
5	14.50	53.70	53.70	53.70	0.00	0.00	5638.38	0.00	0.00	265.64	0.00
6	14.50	52.34	52.34	52.34	0.00	0.00	5398.75	0.00	0.00	257.00	0.00
7	21.80	50.97	51.82	44.09	0.00	0.00	4799.88	0.00	487.61	172.72	632.24
8	25.50	49.86	51.38	44.69	0.00	0.00	4744.74	0.00	0.00	138.73	0.00
9	28.50	52.02	51.11	48.47	0.00	0.00	5078.84	0.00	0.00	131.17	0.00
10	30.30	55.32	53.89	51.92	0.00	0.00	5640.25	0.00	0.00	139.59	0.00
11	30.30	59.25	57.91	55.92	0.00	0.00	6344.20	0.00	0.00	159.83	0.00
12	31.50	63.19	62.03	59.88	0.00	0.00	7052.54	0.00	265.00	190.85	550.31
13	32.70	64.83	64.32	63.29	0.00	0.00	7485.24	0.00	0.00	202.15	0.00
14	33.00	67.79	66.84	65.41	0.00	0.00	7932.80	0.00	0.00	219.10	0.00
15	34.20	70.60	69.66	68.15	0.00	0.00	8426.22	0.00	0.00	231.85	0.00
16	37.60	70.80	70.48	69.75	0.00	0.00	8580.91	0.00	0.00	213.93	0.00
17	37.00	69.66	69.74	69.46	0.00	0.00	8452.78	0.00	0.00	214.77	0.00
18	31.50	67.95	69.04	56.85	0.00	0.00	7567.40	0.00	1950.46	220.06	3840.21

*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA	HORA	TEMP. AMB. (C)	VELOC. VENTIL. (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/M**2)	FATOR R	RADIACAO PLACA (S) (W/M**2)	COEFICIENTE PERDA (CUL) (W/M**2C)	FATOR EFICIENCIA	FATOR REMOCAO	CALOR UTIL (WHR)	TEMPERATURA SAIDA FLUIDO (C)	RENDIMENTO HORARIO
47	5.0	17.0	0.0	0.00	1.00	0.00	4.87	0.88	0.47	0.00	18.16	0.00
47	6.0	19.4	0.0	0.00	1.00	0.00	5.77	0.86	0.00	0.00	56.30	0.00
47	7.0	21.8	1.0	36.70	1.00	28.53	6.42	0.85	0.00	0.00	55.04	0.00
47	8.0	29.1	1.8	110.20	1.00	85.67	6.56	0.84	0.78	0.00	45.91	0.00
47	9.0	32.7	1.8	465.30	1.00	361.74	6.83	0.84	0.65	175.66	62.42	37.75
47	10.0	30.3	2.0	685.70	1.00	533.09	6.88	0.84	0.78	315.00	57.06	45.94
47	11.0	30.9	2.2	844.90	1.00	656.86	7.12	0.83	0.78	385.24	62.18	45.60
47	12.0	32.1	2.4	955.10	1.00	742.53	7.31	0.83	0.78	437.44	65.32	45.80
47	13.0	33.9	2.5	991.80	1.00	771.06	7.46	0.82	0.78	444.70	68.55	44.84
47	14.0	35.2	2.5	829.60	1.00	644.96	7.54	0.82	0.78	324.48	71.18	39.11
47	15.0	34.8	2.4	783.70	1.00	609.28	7.57	0.82	0.78	275.81	73.47	35.19
47	16.0	40.0	2.0	583.30	1.00	453.48	7.45	0.82	0.78	175.80	73.90	30.14
47	17.0	40.6	1.8	349.00	1.00	271.33	7.34	0.83	0.77	31.53	72.69	9.03
47	18.0	38.8	1.6	98.00	1.00	76.19	7.23	0.83	0.75	0.00	67.58	0.00

HORA	TEMP. AMBIENTE (C)	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	ENERGIA TOTAL ARMAZENADA (KWR)	ENERGIA ELET. AUXILIAR (WHR)	ENERGIA UTIL (WHR)	ENERGIA PERDIDA P/ AMBIENTE (WHR)	ENERGIA PERDIDA P/ REABASTECIM. (WHR)
0	17.00	57.70	57.70	57.70	0.00	0.00	6345.56	0.00	0.00	0.00	0.00
5	17.00	56.30	56.30	56.30	0.00	0.00	6097.23	0.00	0.00	266.41	0.00
6	19.40	55.04	55.04	55.04	0.00	0.00	5874.89	0.00	0.00	238.52	0.00
7	21.80	53.52	54.45	46.56	0.00	0.00	5251.42	0.00	488.21	192.41	704.09
8	29.10	52.46	54.04	45.99	0.00	0.00	5130.97	0.00	0.00	128.90	0.00
9	32.70	55.69	53.90	48.73	0.00	0.00	5474.57	0.00	0.00	117.09	0.00
10	30.30	56.29	55.58	53.72	0.00	0.00	5903.20	0.00	0.00	152.65	0.00
11	30.90	60.96	59.39	57.28	0.00	0.00	6612.19	0.00	0.00	174.40	0.00
12	32.10	64.45	63.37	61.30	0.00	0.00	7289.08	0.00	264.51	197.03	551.68
13	33.90	67.82	67.01	65.58	0.00	0.00	7954.57	0.00	0.00	211.83	0.00
14	35.20	70.40	69.66	68.39	0.00	0.00	8428.90	0.00	0.00	224.04	0.00
15	34.80	72.59	71.84	70.57	0.00	0.00	8814.58	0.00	0.00	245.12	0.00
16	40.00	73.22	72.81	71.99	0.00	0.00	8992.25	0.00	0.00	213.32	0.00
17	40.60	72.17	72.19	71.88	0.00	0.00	8887.01	0.00	0.00	205.35	0.00
18	38.80	70.68	71.59	61.09	0.00	0.00	8128.81	0.00	1950.04	187.94	4185.25

*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA	HORA	TEMP. ANB. (C)	VELOC VENTIL (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/M**2)	FATOR R	RADIACAO PLACA (S) (W/M**2)	COEFICIENTE PERDA (UL)	EFICIENCIA (W/M**2)	FATOR REMOCAO	FATOR (WHR)	CALOR SAIDA FLUIDO (C)	TEMPERATURA SAIDA FLUIDO (C)	RENDIMENTO HORARIO
48	5.0	15.8	0.0	0.00	1.00	0.00	4.93	0.88	0.47	0.00	0.00	17.44	0.00
48	6.0	15.7	0.0	0.00	1.00	0.00	5.83	0.86	0.00	0.00	0.00	60.85	0.00
48	7.0	19.4	0.8	36.70	1.00	28.53	6.39	0.85	0.00	0.00	0.00	59.25	0.00
48	8.0	27.9	1.8	85.70	1.00	66.63	6.69	0.84	0.78	0.00	0.00	48.49	0.00
48	9.0	30.3	2.0	447.60	1.00	347.98	6.94	0.83	0.66	141.33	61.51	31.57	31.57
48	10.0	35.8	2.2	673.50	1.00	523.61	7.07	0.83	0.77	312.14	60.95	46.35	46.35
48	11.0	32.1	2.4	832.70	1.00	647.37	7.28	0.83	0.78	363.67	64.45	43.67	43.67
48	12.0	33.9	2.6	973.50	1.00	756.84	7.48	0.82	0.78	435.72	68.40	44.76	44.76
48	13.0	33.9	2.6	655.10	1.00	509.30	7.49	0.82	0.78	222.34	67.61	33.94	33.94
48	14.0	35.2	2.4	934.70	1.00	726.67	7.58	0.82	0.77	375.73	75.01	40.20	40.20
48	15.0	36.4	2.0	488.60	1.00	379.86	7.35	0.83	0.79	112.09	70.54	22.94	22.94
48	16.0	40.0	1.4	98.00	1.00	76.19	7.09	0.83	0.76	0.00	66.96	0.00	0.00
48	17.0	40.0	2.0	342.90	1.00	266.58	7.37	0.83	0.67	35.69	71.53	10.41	10.41
48	18.0	33.9	1.4	122.40	1.00	95.16	7.02	0.83	0.75	0.00	64.67	0.00	0.00

HORA	TEMP. AMBIENTE (C)	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	ENERGIA TOTAL ARMAZENADA (KWR)	ENERGIA ELET. AUXILIAR (WHR)	ENERGIA UTIL (WHR)	ENERGIA PERDIDA P/ AMBIENTE (WHR)	ENERGIA PERDIDA P/ REABASTECIM. (WHR)
0	15.80	62.50	62.50	62.50	0.00	0.00	7034.91	0.00	0.00	0.00	0.00
5	15.80	60.85	60.85	60.85	0.00	0.00	6742.72	0.00	0.00	313.14	0.00
6	15.70	59.25	59.25	59.25	0.00	0.00	6459.62	0.00	0.00	303.35	0.00
7	19.40	57.36	58.52	50.36	0.00	0.00	5782.27	0.00	487.98	241.51	784.92
8	27.90	56.04	57.99	49.59	0.00	0.00	5628.17	0.00	0.00	164.71	0.00
9	30.30	57.47	57.17	52.42	0.00	0.00	5830.06	0.00	0.00	156.17	0.00
10	35.80	59.85	58.74	56.81	0.00	0.00	6321.96	0.00	0.00	133.62	0.00
11	32.10	63.41	62.16	60.31	0.00	0.00	6939.64	0.00	0.00	189.35	0.00
12	33.90	67.45	66.26	64.08	0.00	0.00	7641.16	0.00	266.14	204.95	595.96
13	33.90	67.11	66.91	66.35	0.00	0.00	7793.30	0.00	0.00	215.19	0.00
14	35.20	73.27	71.14	68.68	0.00	0.00	8542.34	0.00	0.00	234.52	0.00
15	36.40	71.53	70.52	70.02	0.00	0.00	8482.67	0.00	0.00	228.79	0.00
16	40.00	70.10	70.00	68.93	0.00	0.00	8303.04	0.00	0.00	192.08	0.00
17	40.00	69.76	69.57	68.55	0.00	0.00	8235.46	0.00	0.00	188.86	0.00
18	33.90	68.04	68.92	58.36	0.00	0.00	7495.63	0.00	1948.74	204.69	3871.14

*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA	HORA	AMB. (C)	VENTO (M/S)	SOLAR (W/M**2)	R	RADIACAO (W/M**2)	PERDA (W/M**2)	COEFICIENTE (W/M**2C)	EFICIENCIA	FATOR	REMOCAD (WHR)	CALOR UTIL	TEMPERATURA SAIDA FLUIDO (C)	RENDIMENTO HORARIO
49	5.0	13.3	0.0	0.00	1.00	0.00	4.94	0.88	0.46	0.00	0.00	15.38	0.00	
49	6.0	13.3	0.0	0.00	1.00	0.00	5.77	0.86	0.00	0.00	0.00	58.92	0.00	
49	7.0	13.8	1.2	36.70	1.00	28.53	5.77	0.86	0.00	0.00	0.00	58.92	0.00	
49	8.0	22.5	2.0	140.80	1.00	109.46	6.71	0.84	0.78	0.00	0.00	46.88	0.00	
49	9.0	26.7	2.2	444.50	1.00	345.57	6.94	0.83	0.66	134.20	58.41	30.19	30.19	
49	10.0	31.5	2.5	673.50	1.00	523.61	7.11	0.83	0.77	298.93	58.66	44.39	44.39	
49	11.0	29.1	2.6	762.40	1.00	592.72	7.25	0.83	0.78	318.79	61.13	41.81	41.81	
49	12.0	31.5	2.7	918.40	1.00	714.00	7.42	0.83	0.78	405.65	65.46	44.17	44.17	
49	13.0	31.5	2.5	918.40	1.00	714.00	7.41	0.83	0.79	390.70	67.11	42.54	42.54	
49	14.0	34.2	2.4	566.30	1.00	440.26	7.42	0.83	0.78	167.59	67.70	29.59	29.59	
49	15.0	35.2	2.4	851.00	1.00	661.60	7.55	0.82	0.77	329.50	73.54	38.72	38.72	
49	16.0	37.6	2.2	575.50	1.00	447.42	7.45	0.82	0.78	172.61	71.07	29.99	29.99	
49	17.0	38.8	2.0	370.60	1.00	288.12	7.37	0.83	0.76	46.59	70.85	12.57	12.57	
49	18.0	32.7	1.4	24.50	1.00	19.05	7.04	0.83	0.76	0.00	63.73	0.00	0.00	

*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA	HORA	TEMP. AMB. (C)	VELOC VENTO (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/M**2)	FATOR R	RADIACAO PLACA (S) (W/M**2)	PERDA (LL) (W/M**2)	COEFICIENTE	EFICIENCIA	FATOR	FATOR REMOCAO	CALOR UTIL (WHR)	TEMPERATURA SAIDA FLUIDO (C)	RENDIMENTO HORARIO
54	5.0	20.6	1.2	0.00	1.00	0.00	5.34	0.87	0.87	0.44	0.00	0.00	21.11	0.00
54	6.0	20.6	1.1	0.00	1.00	0.00	6.23	0.85	0.85	0.00	0.00	0.00	45.20	0.00
54	7.0	21.8	1.4	42.90	1.00	33.35	6.49	0.84	0.84	0.00	0.00	0.00	49.50	0.00
54	8.0	27.9	1.4	134.70	1.00	104.72	6.23	0.85	0.85	0.79	15.32	15.32	42.01	11.37
54	9.0	26.7	2.0	244.90	1.00	190.39	6.55	0.84	0.84	0.72	66.39	66.39	45.53	27.11
54	10.0	30.3	1.6	367.30	1.00	285.55	6.49	0.84	0.84	0.77	153.06	153.06	49.01	41.67
54	11.0	31.0	2.0	306.10	1.00	237.97	6.68	0.84	0.84	0.77	104.90	104.90	49.43	34.27
54	12.0	31.5	2.0	453.10	1.00	352.26	6.78	0.84	0.84	0.77	187.84	187.84	53.23	41.46
54	13.0	32.1	2.6	566.80	1.00	440.65	7.01	0.83	0.83	0.78	258.70	258.70	53.44	45.64
54	14.0	33.9	2.0	649.00	1.00	504.56	6.93	0.83	0.83	0.78	300.96	300.96	58.14	46.37
54	15.0	33.3	0.2	587.80	1.00	456.98	6.04	0.85	0.85	0.81	270.27	270.27	59.21	45.98
54	16.0	37.6	1.6	673.50	1.00	523.61	6.93	0.83	0.83	0.78	307.29	307.29	63.31	45.63
54	17.0	33.3	1.6	195.90	1.00	152.30	6.87	0.84	0.84	0.79	0.00	0.00	59.00	0.00
54	18.0	30.9	1.7	49.00	1.00	38.09	6.89	0.84	0.84	0.71	0.00	0.00	52.19	0.00

HORA	TEMP. AMBIENTE (C)	-----TEMPERATURAS NO TANQUE--(C)---					ENERGIA TOTAL ARMAZENADA (KWR)	ENERGIA ELET. AUXILIAR (KWHR)	ENERGIA UTIL (KWHR)	ENERGIA PERDIDA P/ AMBIENTE (KWHR)	ENERGIA PERDIDA P/ REABASTECIM. (KWHR)
		TS1	TS2	TS3	TS4	TS5					
0	20.60	46.00	46.00	46.00	0.00	0.00	4065.40	0.00	0.00	0.00	0.00
5	20.60	45.20	45.20	45.20	0.00	0.00	3923.45	0.00	0.00	152.70	0.00
6	20.60	49.50	49.50	49.50	0.00	0.00	4684.45	906.17	0.00	180.01	0.00
7	21.80	48.28	49.03	41.59	0.00	0.00	4118.29	0.00	487.43	153.54	493.46
8	27.90	47.42	49.69	41.73	0.00	0.00	4056.14	0.00	0.00	103.18	0.00
9	26.70	46.55	48.33	43.51	0.00	0.00	4088.46	0.00	0.00	112.55	0.00
10	30.30	47.96	47.61	46.31	0.00	0.00	4294.27	0.00	0.00	94.74	0.00
11	31.00	48.77	48.24	47.39	0.00	0.00	4442.24	0.00	0.00	98.81	0.00
12	31.50	51.82	50.24	47.80	0.00	0.00	4764.01	0.00	265.37	106.60	365.10
13	32.10	52.89	52.29	51.09	0.00	0.00	5142.07	0.00	0.00	117.27	0.00
14	33.90	57.04	55.55	53.72	0.00	0.00	5733.24	0.00	0.00	126.01	0.00
15	33.30	58.57	57.89	56.67	0.00	0.00	6134.72	0.00	0.00	149.74	0.00
16	37.60	62.36	61.09	59.41	0.00	0.00	6708.82	0.00	0.00	138.86	0.00
17	33.30	61.05	60.63	58.73	0.00	0.00	6564.15	0.00	0.00	168.71	0.00
18	30.90	59.51	60.11	44.48	0.00	0.00	5603.31	0.00	1949.18	149.14	2299.74

*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA	HORA	TEMP. AMB. (C)	VELOC VENTO (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/M**2)	FATOR R	RADIACAO PLACA (S) (W/M**2)	COEFICIENTE PERDA (UL) (W/M**2C)	FATOR EFICIENCIA	FATOR RENDOCAO	FATOR UTIL (WHR)	CALOR SAIDA FLUIDO (C)	TEMPERATURA HORARIO	RENDIMENTO
56	5.0	23.0	1.0	0.00	1.00	0.00	5.26	0.87	0.45	0.00	23.37	0.00	0.00
56	6.0	23.0	1.2	0.00	1.00	0.00	6.39	0.85	0.00	0.00	49.53	0.00	0.00
56	7.0	23.0	1.2	61.20	1.00	47.58	6.37	0.85	0.00	0.00	48.69	0.00	0.00
56	8.0	24.2	1.2	146.90	1.00	114.21	6.15	0.85	0.79	9.16	41.15	6.24	6.24
56	9.0	24.2	1.2	244.90	1.00	190.39	6.20	0.85	0.73	63.55	44.62	25.95	25.95
56	10.0	27.9	1.9	489.80	1.00	380.79	6.63	0.84	0.76	215.83	50.45	44.06	44.06
56	11.0	30.3	1.8	587.80	1.00	456.98	6.68	0.84	0.78	277.44	52.72	47.20	47.20
56	12.0	31.5	1.6	649.00	1.00	504.56	6.69	0.84	0.79	308.53	55.36	47.54	47.54
56	13.0	33.9	2.0	600.10	1.00	466.54	6.90	0.84	0.79	274.39	56.49	45.72	45.72
56	14.0	32.7	2.0	416.30	1.00	323.65	6.95	0.83	0.78	135.52	57.40	32.55	32.55
56	15.0	33.9	1.6	636.70	1.00	495.00	6.89	0.84	0.78	268.08	62.64	42.10	42.10
56	16.0	35.2	2.2	342.90	1.00	266.58	7.09	0.83	0.78	85.94	59.09	25.06	25.06
56	17.0	33.9	2.0	306.10	1.00	237.97	7.04	0.83	0.75	48.59	60.24	15.87	15.87
56	18.0	29.7	1.6	122.40	1.00	95.16	6.84	0.84	0.76	0.00	55.89	0.00	0.00

HORA	TEMP. AMBIENTE (C)	-----TEMPERATURAS NO TANQUE--(C)--				ENERGIA TOTAL ARMAZENADA (KWR)	ENERGIA ELET. AUXILIAR (MHR)	ENERGIA UTIL (MHR)	ENERGIA PERDIDA P/ AMBIENTE (MHR)	ENERGIA PERDIDA P/ REABASTECIM. (MHR)
		TS1	TS2	TS3	TS4	TS5				
0	23.00	43.00	43.00	43.00	0.00	0.00	3234.64	0.00	0.00	0.00
5	23.00	49.53	49.53	49.53	0.00	0.00	4389.60	1286.76	0.00	157.65
6	23.00	48.69	48.69	48.69	0.00	0.00	4240.71	0.00	0.00	160.33
7	23.00	47.57	48.26	40.90	0.00	0.00	3690.24	0.00	487.48	138.43
8	24.20	46.56	47.87	40.84	0.00	0.00	3604.55	0.00	0.00	123.37
9	24.20	45.61	47.48	42.52	0.00	0.00	3623.56	0.00	0.00	123.61
10	27.90	48.65	47.51	45.63	0.00	0.00	3986.02	0.00	0.00	110.73
11	30.30	51.68	50.33	48.53	0.00	0.00	4504.02	0.00	0.00	115.91
12	31.50	54.50	53.35	51.24	0.00	0.00	5007.59	0.00	265.43	126.84
13	33.90	55.97	55.42	54.38	0.00	0.00	5400.90	0.00	0.00	127.16
14	32.70	56.79	56.33	55.54	0.00	0.00	5571.24	0.00	0.00	143.87
15	33.90	61.13	59.32	57.36	0.00	0.00	6109.70	0.00	0.00	155.13
16	35.20	59.98	58.92	58.55	0.00	0.00	6089.37	0.00	0.00	149.36
17	33.90	59.53	59.24	58.55	0.00	0.00	6081.70	0.00	0.00	158.07
18	29.70	58.08	58.73	49.81	0.00	0.00	5450.93	1949.70	164.15	2756.77

*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA	HORA	TEMP. (C)	VELOC. VENTO (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/M**2)	FATOR R	RADIACAO PLACA (S)	COEFICIENTE PERDA (UL)	FATOR EFICIENCIA	REMOCAO	CALOR UTIL (WHR)	TEMPERATURA SAIDA FLUIDO (C)	RENDIMENTO HORARIO
57	5.0	20.0	0.0	0.00	1.00	0.00	4.88	0.88	0.47	0.00	20.87	0.00
57	6.0	20.0	1.8	0.00	1.00	0.00	6.54	0.84	0.00	0.00	45.17	0.00
57	7.0	21.8	1.3	36.70	1.00	28.53	6.44	0.84	0.00	0.00	49.57	0.00
57	8.0	26.7	0.0	85.70	1.00	66.63	5.47	0.86	0.81	0.00	41.27	0.00
57	9.0	32.1	1.2	342.90	1.00	266.58	6.36	0.85	0.66	138.35	54.36	40.35
57	10.0	30.3	1.3	636.70	1.00	495.00	6.45	0.84	0.78	317.47	53.42	49.86
57	11.0	31.5	1.2	390.00	1.00	303.20	6.43	0.85	0.80	155.26	51.77	39.81
57	12.0	32.7	1.9	750.10	1.00	583.16	6.94	0.83	0.76	351.86	61.29	46.91
57	13.0	32.7	2.4	906.10	1.00	704.44	7.14	0.83	0.79	448.86	59.62	49.54
57	14.0	34.5	2.0	854.10	1.00	664.01	7.15	0.83	0.78	392.42	65.07	45.95
57	15.0	29.1	1.4	36.70	1.00	28.53	6.80	0.84	0.80	0.00	58.17	0.00
57	16.0	20.6	2.0	22.40	1.00	17.41	7.02	0.83	0.68	0.00	47.18	0.00
57	17.0	19.4	0.0	110.20	1.00	85.67	5.81	0.86	0.72	0.00	51.08	0.00
57	18.0	19.5	0.0	54.70	1.00	42.53	5.78	0.86	0.72	0.00	47.82	0.00

HORA	TEMP. AMBIENTE (C)	TEMPERATURAS NO TANQUE--(C)--				ENERGIA TOTAL ARMAZENADA (KWR)	ENERGIA ELET. AUXILIAR (WHR)	ENERGIA UTIL (WHR)	ENERGIA PERDIDA P/ AMBIENTE (WHR)	ENERGIA PERDIDA P/ REABASTECIM. (WHR)
	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5					
0	20.00	46.00	46.00	0.00	0.00	3959.35	0.00	0.00	0.00	0.00
5	20.00	45.17	45.17	0.00	0.00	3813.40	0.00	0.00	156.98	0.00
6	20.00	49.57	49.57	0.00	0.00	4590.09	927.85	0.00	184.69	0.00
7	21.00	48.34	49.10	41.61	0.00	4021.06	0.00	488.26	153.93	512.18
8	26.70	47.42	48.74	41.17	0.00	3920.02	0.00	0.00	110.01	0.00
9	32.10	49.61	48.52	43.81	0.00	4191.56	0.00	0.00	83.15	0.00
10	30.30	52.17	50.73	48.36	0.00	4740.09	0.00	0.00	117.40	0.00
11	31.50	51.49	51.17	50.39	0.00	4846.16	0.00	0.00	113.99	0.00
12	32.70	58.62	55.35	51.66	0.00	5587.25	0.00	264.14	134.24	384.60
13	32.70	59.14	58.66	57.42	0.00	6152.04	0.00	0.00	157.80	0.00
14	34.50	64.06	62.71	60.82	0.00	6881.01	0.00	0.00	171.42	0.00
15	29.10	62.44	62.11	59.69	0.00	6683.39	0.00	0.00	211.46	0.00
16	20.60	60.43	61.34	58.20	0.00	6432.33	0.00	0.00	267.85	0.00
17	19.40	58.47	60.57	56.72	0.00	6183.94	0.00	0.00	264.83	0.00
18	19.50	57.96	59.81	40.63	0.00	5161.42	0.00	1950.39	219.36	1921.24

*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA	HORA	TEMP. AMB. (C)	VELOC. VENTO (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/M**2)	FATOR R	RADIACAO PLACA (S) (W/M**2)	DEFICIENTE PERDA (CUL) (W/M**2)	FATOR EFICIENCIA	FAIDR REMOCCAO	FAIDR (WHR)	CALOR SAIDA FLUIDO (C)	TEMPERATURA FLUIDO (C)	RENDIMENTO HORARIO
62	5.0	18.2	0.8	0.00	1.00	0.00	5.31	0.87	0.44	0.00	0.00	19.24	0.00
62	6.0	18.2	1.0	0.00	1.00	0.00	6.38	0.85	0.00	0.00	0.00	53.85	0.00
62	7.0	27.3	1.3	79.60	1.00	61.88	6.53	0.84	0.00	0.00	0.00	52.64	0.00
62	8.0	26.7	1.2	502.00	1.00	390.27	6.37	0.85	0.78	216.68	50.79	50.79	43.16
62	9.0	26.7	1.4	489.00	1.00	380.17	6.59	0.84	0.78	176.66	54.86	54.86	36.13
62	10.0	34.5	2.2	612.00	1.00	475.79	7.00	0.83	0.78	279.41	57.90	57.90	45.66
62	11.0	32.7	1.4	759.20	1.00	590.23	6.76	0.84	0.79	354.06	61.16	61.16	46.64
62	12.0	31.5	1.6	478.40	1.00	371.93	6.86	0.84	0.79	154.48	60.23	60.23	32.29
62	13.0	32.7	2.8	831.60	1.00	646.52	7.47	0.82	0.77	349.45	66.20	66.20	42.02
62	14.0	32.7	2.0	758.20	1.00	589.45	7.21	0.83	0.79	302.10	66.64	66.64	39.84
62	15.0	35.2	1.6	721.40	1.00	560.84	7.12	0.83	0.78	277.12	69.87	69.87	38.41
62	16.0	32.7	2.0	257.10	1.00	199.88	7.24	0.83	0.78	0.00	65.80	65.80	0.00
62	17.0	29.1	1.5	98.00	1.00	76.19	6.97	0.83	0.72	0.00	58.56	58.56	0.00
62	18.0	25.5	1.8	12.40	1.00	9.64	7.06	0.83	0.68	0.00	51.13	51.13	0.00

HORA	TEMP. AMBIENTE (C)	-----TEMPERATURAS NO TANQUE--(C)---				ENERGIA TOTAL ARMAZENADA (KWR)	ENERGIA ELET. AUXILIAR (WHR)	ENERGIA UTIL (WHR)	ENERGIA PERDIDA P/ AMBIENTE (WHR)	ENERGIA PERDIDA P/ REABASTECIM. (WHR)
	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5					
0	18.20	55.10	55.10	0.00	0.00	5673.88	0.00	0.00	0.00	0.00
5	18.20	53.85	53.85	0.00	0.00	5452.73	0.00	0.00	237.39	0.00
6	18.20	52.64	52.64	0.00	0.00	5238.59	0.00	0.00	229.78	0.00
7	27.30	51.54	52.22	44.60	0.00	4675.78	0.00	488.76	135.62	614.37
8	26.70	50.53	51.29	50.09	0.00	4885.34	0.00	0.00	144.66	0.00
9	26.70	53.56	52.39	51.12	0.00	5189.28	0.00	0.00	157.90	0.00
10	34.50	56.88	55.51	53.74	0.00	5722.78	0.00	0.00	123.14	0.00
11	32.70	60.24	59.05	57.27	0.00	6337.43	0.00	0.00	161.10	0.00
12	31.50	59.74	59.54	58.60	0.00	6415.49	0.00	264.39	176.48	507.06
13	32.70	64.89	63.24	61.19	0.00	7089.14	0.00	0.00	192.92	0.00
14	32.70	65.96	65.42	64.32	0.00	7465.17	0.00	0.00	211.21	0.00
15	35.20	68.91	67.93	66.47	0.00	7913.42	0.00	0.00	210.76	0.00
16	32.70	67.22	67.30	65.46	0.00	7717.51	0.00	0.00	224.83	0.00
17	29.10	65.42	66.61	64.09	0.00	7489.97	0.00	0.00	242.82	0.00
18	25.50	64.24	65.85	45.14	0.00	6258.47	0.00	1950.49	217.76	2375.32

*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA	HORA	TEMP. AMB. (C)	VELOC VENTO (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/M**2)	FATOR R	RADIACAO PLACA (S) (W/M**2)	COEFICIENTE PERDA (CUL) (W/M**2C)	FATOR EFICIENCIA	FATOR REMOCAO	CALOR UTIL (MHR)	TEMPERATURA SAIDA FLUIDO (C)	RENDIMENTO HORARIO
75	5.0	20.4	1.1	0.00	1.00	0.00	5.37	0.87	0.44	0.00	21.08	0.00
75	6.0	20.4	1.1	0.00	1.00	0.00	6.24	0.85	0.00	0.00	45.67	0.00
75	7.0	20.4	1.1	10.00	1.00	7.77	6.22	0.85	0.00	0.00	44.87	0.00
75	8.0	20.6	1.2	98.00	1.00	76.19	6.20	0.85	0.80	0.00	41.31	0.00
75	9.0	21.2	1.6	257.10	1.00	199.88	6.42	0.85	0.67	45.46	45.86	17.68
75	10.0	23.0	1.8	275.50	1.00	214.19	6.51	0.84	0.75	63.68	45.62	23.12
75	11.0	21.8	1.4	110.20	1.00	85.67	6.35	0.85	0.76	0.00	42.78	0.00
75	12.0	20.6	1.4	153.10	1.00	119.03	6.33	0.85	0.66	0.00	41.99	0.00
75	13.0	21.5	1.6	300.60	1.00	233.70	6.37	0.85	0.76	86.98	43.86	28.94
75	14.0	21.8	1.9	159.20	1.00	123.77	6.54	0.84	0.76	0.00	43.17	0.00
75	15.0	23.0	1.8	195.90	1.00	152.30	6.48	0.84	0.00	0.00	43.41	0.00
75	16.0	23.0	1.4	171.40	1.00	133.25	6.48	0.84	0.76	0.00	48.20	0.00
75	17.0	23.0	2.0	61.20	1.00	47.58	6.71	0.84	0.65	0.00	40.92	0.00
75	18.0	20.6	1.8	61.20	1.00	47.58	6.61	0.84	0.65	0.00	39.23	0.00

HORA	TEMP. AMBIENTE (C)	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	ENERGIA TOTAL ARMAZENADA (KWH)	ENERGIA ELET. AUXILIAR (KWH)	ENERGIA UTIL (KWH)	ENERGIA PERDIDA P/ AMBIENTE (KWH)	ENERGIA PERDIDA P/ REABASTECIM. (KWH)
0	20.40	46.50	46.50	46.50	0.00	0.00	4047.72	0.00	0.00	0.00	0.00
5	20.40	45.67	45.67	45.67	0.00	0.00	3901.11	0.00	0.00	157.69	0.00
6	20.40	44.87	44.87	44.87	0.00	0.00	3758.96	0.00	0.00	152.93	0.00
7	20.40	49.03	49.78	42.50	0.00	0.00	4153.94	951.94	487.95	164.07	536.41
8	20.60	47.75	49.28	41.76	0.00	0.00	4005.65	0.00	0.00	158.58	0.00
9	21.20	46.57	48.80	42.86	0.00	0.00	3973.01	0.00	0.00	152.21	0.00
10	23.00	45.56	48.18	44.54	0.00	0.00	3975.13	0.00	0.00	137.81	0.00
11	21.80	44.53	47.73	43.76	0.00	0.00	3842.20	0.00	0.00	142.13	0.00
12	20.60	44.09	47.27	40.11	0.00	0.00	3574.37	0.00	265.28	139.76	255.35
13	21.50	43.36	44.90	43.73	0.00	0.00	3605.30	0.00	0.00	134.32	0.00
14	21.80	42.71	43.40	43.41	0.00	0.00	3459.57	0.00	0.00	129.59	0.00
15	23.00	49.29	49.29	49.29	0.00	0.00	4541.45	1214.49	0.00	157.31	0.00
16	23.00	48.13	48.80	48.42	0.00	0.00	4392.78	0.00	0.00	158.25	0.00
17	23.00	47.04	48.37	47.55	0.00	0.00	4251.47	0.00	0.00	151.37	0.00
18	20.60	46.96	47.90	32.07	0.00	0.00	3306.87	0.00	1949.89	133.21	960.32

*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA HORA	TEMP. AMB. (C)	VELOC VENTO (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/M**2)	FATOR R	PLACA (S) PERDA (UL) (W/M**2)	RADIACAO PLACA (W/M**2)	COEFICIENTE	FAIOR EFICIENCIA	FATOR REMOCCAO	FAIOR	UTIL (WHR)	TEMPERATURA SAIDA FLUIDO (C)	RENDIMENTO HORARIO
76 5.0	19.4	1.4	0.00	1.00	0.00	0.00	5.38	0.87	0.44	0.00	0.00	19.91	0.00
76 6.0	19.4	0.0	0.00	1.00	0.00	0.00	5.64	0.86	0.00	0.00	0.00	49.59	0.00
76 7.0	19.4	0.0	0.00	1.00	0.00	0.00	5.62	0.86	0.00	0.00	0.00	48.59	0.00
76 8.0	19.4	0.0	165.30	1.00	128.51	5.44	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	40.53	0.00
76 9.0	19.4	1.4	292.70	1.00	227.56	6.39	0.85	0.74	0.74	49.84	47.02	17.03	17.03
76 10.0	20.7	1.4	577.90	1.00	449.28	6.48	0.84	0.76	0.76	228.15	52.47	39.48	39.48
76 11.0	24.4	3.0	608.60	1.00	473.15	7.20	0.83	0.77	0.77	226.02	55.22	37.14	37.14
76 12.0	21.8	2.4	183.70	1.00	142.82	6.94	0.83	0.78	0.78	0.00	49.97	0.00	0.00
76 13.0	20.6	2.0	73.50	1.00	57.14	6.74	0.84	0.77	0.77	0.00	45.94	0.00	0.00
76 14.0	21.8	2.0	232.50	1.00	180.75	6.71	0.84	0.67	0.67	2.63	48.38	1.13	1.13
76 15.0	21.5	2.4	49.00	1.00	38.09	6.84	0.84	0.70	0.70	0.00	41.18	0.00	0.00
76 16.0	20.4	1.4	24.50	1.00	19.05	6.41	0.85	0.68	0.68	0.00	37.95	0.00	0.00
76 17.0	19.4	0.0	0.00	1.00	0.00	5.56	0.86	0.69	0.69	0.00	36.16	0.00	0.00
76 18.0	18.8	0.0	0.00	1.00	0.00	5.57	0.86	0.00	0.00	0.00	46.71	0.00	0.00

HORA	TEMP. AMBIENTE (C)	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	ENERGIA TOTAL ARMAZENADA (KWR)	ENERGIA ELET. AUXILIAR (WHR)	ENERGIA UTIL (WHR)	ENERGIA PERDIDA P/ AMBIENTE (WHR)	ENERGIA PERDIDA P/ REABASTECIM. (WHR)
0	19.40	41.00	41.00	41.00	0.00	0.00	3393.73	0.00	0.00	0.00	0.00
5	19.40	49.59	49.59	49.59	0.00	0.00	4912.42	1663.00	0.00	182.07	0.00
6	19.40	48.59	48.59	48.59	0.00	0.00	4735.95	0.00	0.00	189.48	0.00
7	19.40	47.29	48.09	40.53	0.00	0.00	4154.43	0.00	488.22	163.64	532.50
8	19.40	44.49	44.49	44.49	0.00	0.00	4009.87	0.00	0.00	157.02	0.00
9	19.40	45.27	44.53	43.89	0.00	0.00	4023.69	0.00	0.00	157.66	0.00
10	20.70	51.52	50.56	49.14	0.00	0.00	5056.60	836.80	0.00	184.07	0.00
11	24.40	53.96	52.69	51.03	0.00	0.00	5437.25	0.00	0.00	175.75	0.00
12	21.80	52.33	52.15	49.19	0.00	0.00	5200.91	0.00	264.60	198.27	422.09
13	20.60	50.88	51.61	48.16	0.00	0.00	5022.78	0.00	0.00	190.36	0.00
14	21.80	49.58	51.09	47.54	0.00	0.00	4879.24	0.00	0.00	173.89	0.00
15	21.50	48.31	50.59	46.62	0.00	0.00	4720.74	0.00	0.00	169.40	0.00
16	20.40	47.06	50.06	45.70	0.00	0.00	4561.65	0.00	0.00	169.94	0.00
17	19.40	46.71	46.71	46.71	0.00	0.00	4402.51	0.00	0.00	174.12	0.00
18	18.80	45.58	46.23	27.89	0.00	0.00	3199.57	0.00	1948.83	129.98	690.01

*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA	HORA	TEMP. AMB. (C)	VELOC VENTO (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/M**2)	FATOR R	RADIACAO PLACA (S) (W/M**2)	COEFICIENTE PERDA (UL) (W/M**2C)	FAICOR EFICIENCIA	FATOR REMOCAO	CALOR UTIL (WHR)	TEMPERATURA SAIDA FLUIDO (C)	RENDIMENTO HORARIO
87	5-0	20-0	1-0	0-00	1-00	0-00	5-37	0-87	0-44	0-00	20-81	0-00
87	6-0	20-0	0-8	0-00	1-00	0-00	6-27	0-85	0-00	0-00	53-82	0-00
87	7-0	20-0	1-1	24-50	1-00	19-05	6-41	0-85	0-00	0-00	52-69	0-00
87	8-0	24-0	1-7	90-00	1-00	69-97	6-47	0-84	0-78	0-00	43-04	0-00
87	9-0	27-0	1-7	470-00	1-00	365-40	6-70	0-84	0-66	166-54	58-86	35-43
87	10-0	29-0	2-0	600-00	1-00	466-46	6-79	0-84	0-78	270-73	53-71	45-12
87	11-0	30-0	1-9	800-00	1-00	621-95	6-92	0-84	0-78	372-68	59-72	46-58
87	12-0	30-0	2-0	920-00	1-00	715-24	7-05	0-83	0-79	429-87	62-16	46-73
87	13-0	31-0	1-8	980-00	1-00	761-89	7-08	0-83	0-79	450-96	65-78	46-02
87	14-0	32-0	2-3	940-00	1-00	730-79	7-40	0-83	0-78	395-59	69-41	42-08
87	15-0	32-3	2-0	800-00	1-00	621-95	7-33	0-83	0-78	294-01	71-16	36-75
87	16-0	33-0	2-1	600-00	1-00	466-46	7-40	0-83	0-78	158-49	71-58	26-42
87	17-0	33-0	1-9	430-00	1-00	334-30	7-30	0-83	0-77	51-91	70-77	12-07
87	18-0	32-0	1-9	180-00	1-00	139-94	7-27	0-83	0-76	0-00	66-40	0-00

HORA	TEMP. AMBIENTE (C)	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	ENERGIA TOTAL ARMAZENADA (KWR)	ENERGIA ELET. AUXILIAR (WHR)	ENERGIA UTIL (WHR)	ENERGIA PERDIDA P/ AMBIENTE (WHR)	ENERGIA PERDIDA P/ REABASTECIM. (WHR)
0	20.00	55.00	55.00	55.00	0.00	0.00	5514.80	0.00	0.00	0.00	0.00
5	20.00	53.82	53.82	53.82	0.00	0.00	5307.06	0.00	0.00	223.06	0.00
6	20.00	52.69	52.69	52.69	0.00	0.00	5105.86	0.00	0.00	215.97	0.00
7	20.00	51.19	52.11	44.39	0.00	0.00	4494.96	0.00	487.81	189.55	584.30
8	24.00	49.99	51.64	43.71	0.00	0.00	4356.34	0.00	0.00	148.26	0.00
9	27.00	52.75	51.31	46.33	0.00	0.00	4654.10	0.00	0.00	139.08	0.00
10	29.00	53.03	52.50	50.84	0.00	0.00	5006.15	0.00	0.00	138.51	0.00
11	30.00	58.28	56.38	54.08	0.00	0.00	5735.60	0.00	0.00	161.35	0.00
12	30.00	61.31	60.26	58.19	0.00	0.00	6385.06	0.00	265.41	189.24	513.46
13	31.00	64.99	64.09	62.53	0.00	0.00	7082.64	0.00	0.00	211.35	0.00
14	32.00	68.53	67.59	66.03	0.00	0.00	7704.08	0.00	0.00	231.70	0.00
15	32.30	70.36	69.72	68.55	0.00	0.00	8085.68	0.00	0.00	248.08	0.00
16	33.00	70.80	70.40	69.59	0.00	0.00	8213.03	0.00	0.00	249.83	0.00
17	33.00	70.02	69.92	69.45	0.00	0.00	8129.73	0.00	0.00	246.93	0.00
18	32.00	68.22	69.22	60.67	0.00	0.00	7465.66	0.00	1950.53	227.02	4159.92

*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA	HORA	AMB. (C)	VELOC (M/S)	VENTO (M/S)	RADIACAO (W/M**2)	FATOR R	PLACA (S) (W/M**2)	PERDA (UL) (W/M**2C)	COEFICIENTE (W/M**2C)	EFICIENCIA	FATOR REMOCAO	CALOR UTIL (MHR)	TEMPERATURA SAIDA FLUIDO (C)	RENDIMENTO HORARIO
88	5.0	20.0	1.7	0.00	1.00	0.00	4.61	0.88	0.88	0.48	0.00	20.00	0.00	
88	6.0	20.0	1.8	0.00	1.00	0.00	6.80	0.84	0.84	0.00	0.00	54.55	0.00	
88	7.0	20.0	1.7	24.50	1.00	19.05	6.72	0.84	0.84	0.00	0.00	53.39	0.00	
88	8.0	25.5	1.7	51.80	1.00	71.37	6.48	0.84	0.84	0.78	0.00	43.66	0.00	
88	9.0	27.9	1.8	477.60	1.00	371.30	6.77	0.84	0.84	0.65	170.23	59.91	35.64	
88	10.0	30.3	1.7	698.00	1.00	542.65	6.72	0.84	0.84	0.78	335.48	55.97	48.06	
88	11.0	32.2	0.0	859.60	1.00	668.29	5.91	0.86	0.86	0.81	446.86	61.60	51.98	
88	12.0	32.1	1.6	930.60	1.00	723.48	6.94	0.83	0.83	0.79	440.48	64.12	47.33	
88	13.0	32.7	1.7	967.40	1.00	752.09	7.10	0.83	0.83	0.79	439.06	67.84	45.39	
88	14.0	33.9	1.6	930.60	1.00	723.48	7.16	0.83	0.83	0.79	397.22	71.53	42.68	
88	15.0	32.7	2.2	814.30	1.00	633.07	7.47	0.82	0.82	0.78	287.84	73.11	35.35	
88	16.0	35.2	1.9	416.30	1.00	323.65	7.33	0.83	0.83	0.78	50.13	71.53	12.04	
88	17.0	35.2	0.0	134.70	1.00	104.72	6.20	0.85	0.85	0.78	0.00	67.77	0.00	
88	18.0	30.3	1.5	184.90	1.00	143.75	7.07	0.83	0.83	0.68	0.00	63.06	0.00	

HORA	TEMP. AMBIENTE (C)	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	ENERGIA TOTAL ARPAZENADA (KWH)	ENERGIA ELET. AUXILIAR (KWH)	ENERGIA UTIL (KWH)	ENERGIA PERDIDA P/ AMBIENTE (KWH)	ENERGIA PERDIDA P/ REABASTECIM. (KWH)
0	20.00	55.76	55.76	55.76	0.00	0.00	6320.81	0.00	0.00	0.00	0.00
5	20.00	54.55	54.55	54.55	0.00	0.00	6107.72	0.00	0.00	228.78	0.00
6	20.00	53.39	53.39	53.39	0.00	0.00	5901.36	0.00	0.00	221.48	0.00
7	20.00	51.85	52.79	44.89	0.00	0.00	5275.68	0.00	488.48	194.31	707.92
8	25.50	50.69	52.34	44.25	0.00	0.00	5142.55	0.00	0.00	142.42	0.00
9	27.90	53.56	52.04	46.93	0.00	0.00	5451.62	0.00	0.00	137.92	0.00
10	30.30	55.05	54.07	52.00	0.00	0.00	5957.76	0.00	0.00	139.47	0.00
11	32.20	60.39	58.67	56.33	0.00	0.00	6798.98	0.00	0.00	160.74	0.00
12	32.10	63.36	62.44	60.58	0.00	0.00	7445.91	0.00	264.09	190.00	520.51
13	32.70	67.06	66.19	64.68	0.00	0.00	8126.56	0.00	0.00	214.65	0.00
14	33.90	70.66	69.72	68.16	0.00	0.00	8751.73	0.00	0.00	233.47	0.00
15	32.70	72.31	71.70	70.58	0.00	0.00	9107.87	0.00	0.00	261.01	0.00
16	35.20	71.01	71.02	70.68	0.00	0.00	8997.52	0.00	0.00	238.74	0.00
17	35.20	69.33	70.38	69.36	0.00	0.00	8782.89	0.00	0.00	229.26	0.00
18	30.30	68.08	69.64	52.87	0.00	0.00	7694.41	0.00	1951.05	220.43	3106.94

*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA	HORA	TEMP. AMB. (C)	VELOC VENTO (M/S)	RADIACAO SOLAR (K/M**2)	FATOR R	RADIACAO PLACA (K/M**2)	COEFICIENTE PERDA (UL)	EFICIENCIA (K/M**2C)	FATOR REMOCAO	CALOR UTIL (WHR)	TEMPERATURA SAIDA FLUIDO (C)	RENDIMENTO HORARIO
89	5-0	20.6	0.0	0.00	1.00	0.00	4.88	0.88	0.47	0.00	21.42	0.00
89	6-0	20.4	0.0	0.00	1.00	0.00	5.77	0.86	0.00	0.00	55.97	0.00
89	7-0	20.0	0.0	24.50	1.00	19.05	5.75	0.86	0.00	0.00	54.76	0.00
89	8-0	24.9	1.0	61.20	1.00	47.58	6.21	0.85	0.79	0.00	44.49	0.00
89	9-0	28.5	1.6	406.50	1.00	316.03	6.65	0.84	0.66	134.06	57.45	32.98
89	10-0	31.5	1.5	673.50	1.00	523.61	6.67	0.84	0.78	319.17	57.53	47.39
89	11-0	33.3	1.6	857.10	1.00	666.34	6.85	0.84	0.79	420.47	61.54	49.06
89	12-0	32.7	2.2	942.90	1.00	733.05	7.22	0.83	0.79	438.36	64.92	46.49
89	13-0	33.1	2.3	615.30	1.00	478.36	7.28	0.83	0.79	217.02	64.54	35.27
89	14-0	33.9	2.8	918.40	1.00	714.00	7.64	0.82	0.76	374.40	71.97	40.77
89	15-0	33.9	1.4	663.30	1.00	515.68	7.02	0.83	0.79	232.46	69.54	35.05
89	16-0	36.4	1.8	673.50	1.00	523.61	7.31	0.83	0.77	226.45	73.23	33.62
89	17-0	37.0	1.6	363.70	1.00	282.75	7.16	0.83	0.78	40.78	70.01	11.21
89	18-0	32.7	2.0	171.70	1.00	133.49	7.32	0.83	0.75	0.00	65.93	0.00

HORA	TEMP. AMBIENTE (C)	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	ENERGIA TOTAL ARMAZENADA (KWP)	ENERGIA ELET. AUXILIAR (KWH)	ENERGIA UTIL (KWH)	ENERGIA PERDIDA P/ AMBIENTE (KWH)	ENERGIA PERDIDA P, REABASTECIM. (KWH)
0	20.60	57.21	57.21	57.21	0.00	0.00	5870.08	0.00	0.00	0.00	0.00
5	20.60	55.97	55.97	55.97	0.00	0.00	5650.98	0.00	0.00	235.19	0.00
6	20.40	54.76	54.76	54.76	0.00	0.00	5437.35	0.00	0.00	229.25	0.00
7	20.00	53.15	54.14	46.35	0.00	0.00	4810.62	0.00	489.00	204.49	594.11
8	24.90	51.90	53.65	45.62	0.00	0.00	4664.61	0.00	0.00	156.09	0.00
9	28.50	53.38	52.97	48.28	0.00	0.00	4868.54	0.00	0.00	137.87	0.00
10	31.50	56.21	54.83	52.63	0.00	0.00	5401.08	0.00	0.00	136.82	0.00
11	33.30	60.50	59.05	56.95	0.00	0.00	6157.32	0.00	0.00	155.87	0.00
12	32.70	64.08	63.02	60.99	0.00	0.00	6839.76	0.00	264.11	189.51	528.45
13	33.10	64.04	63.82	63.22	0.00	0.00	7015.85	0.00	0.00	197.23	0.00
14	33.90	70.23	68.07	65.60	0.00	0.00	7770.84	0.00	0.00	220.61	0.00
15	33.90	69.04	68.73	67.88	0.00	0.00	7874.61	0.00	0.00	229.74	0.00
16	36.40	71.96	70.76	69.21	0.00	0.00	8243.86	0.00	0.00	224.26	0.00
17	37.00	70.33	70.16	69.48	0.00	0.00	8129.08	0.00	0.00	217.72	0.00
18	32.70	68.53	69.48	59.35	0.00	0.00	7385.63	0.00	1950.95	219.35	3840.00

*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA	HORA	TEMP. AMB. (C)	VELOC VENTO (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/M**2)	FATOR R	RADIACAO PLACA (S) (W/M**2)	COEFICIENTE PERDA (UL) (W/M**2C)	EFICIENCIA	FATOR REMOCAO	FATOR CALOR UTIL (WHR)	TEMPERATURA SAIDA FLUIDO (C)	RENDIMENTO HORARIO
106	5.0	23.0	0.0	0.00	1.00	0.00	4.25	0.89	0.51	0.00	23.00	0.00
106	6.0	23.0	0.0	0.00	1.00	0.00	5.48	0.86	0.00	0.00	41.93	0.00
106	7.0	23.0	0.0	0.00	1.00	0.00	5.66	0.86	0.00	0.00	49.59	0.00
106	8.0	23.0	0.0	110.20	1.00	85.67	5.48	0.86	0.00	0.00	41.71	0.00
106	9.0	24.2	1.0	171.40	1.00	133.25	6.19	0.85	0.74	0.15	45.71	0.09
106	10.0	25.7	1.4	355.10	1.00	276.07	6.48	0.84	0.70	105.68	52.44	29.76
106	11.0	27.9	1.4	524.50	1.00	407.77	6.48	0.84	0.78	232.70	51.59	44.37
106	12.0	28.5	1.6	653.10	1.00	507.75	6.65	0.84	0.79	303.36	54.07	46.45
106	13.0	30.0	1.6	304.10	1.00	236.42	6.61	0.84	0.80	85.22	51.26	28.02
106	14.0	24.2	1.6	73.50	1.00	57.14	6.62	0.84	0.76	0.00	47.50	0.00
106	15.0	25.5	1.4	232.70	1.00	180.91	6.51	0.84	0.67	14.76	51.20	6.34
106	16.0	24.9	2.0	122.50	1.00	95.24	6.75	0.84	0.72	0.00	46.84	0.00
106	17.0	24.2	1.4	110.20	1.00	85.67	6.47	0.84	0.66	0.00	44.21	0.00
106	18.0	24.2	1.4	55.10	1.00	42.84	6.44	0.84	0.65	0.00	40.79	0.00

HORA	TEMP. AMBIENTE (C)	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	ENERGIA TOTAL ARMAZENADA (KWP)	ENERGIA ELET. AUXILIAR (NHR)	ENERGIA UTIL (NHR)	ENERGIA PERDIDA P/ AMBIENTE (NHR)	ENERGIA PERDIDA P/ REABASTECIM. (NHR)
0	23.00	32.50	32.50	32.50	0.00	0.00	1679.19	0.00	0.00	0.00	0.00
5	23.00	41.93	41.93	41.93	0.00	0.00	3345.71	1733.82	0.00	98.50	0.00
6	23.00	49.59	49.59	49.59	0.00	0.00	4700.64	1482.83	0.00	158.66	0.00
7	23.00	48.42	49.15	41.71	0.00	0.00	4140.44	0.00	488.79	14.22	514.87
8	23.00	45.70	45.70	45.70	0.00	0.00	4012.23	0.00	0.00	139.32	0.00
9	24.20	45.10	45.24	45.08	0.00	0.00	3913.56	0.00	0.00	125.41	0.00
10	25.70	48.06	45.84	44.81	0.00	0.00	4107.58	0.00	0.00	121.89	0.00
11	27.90	50.43	48.90	46.98	0.00	0.00	4554.91	0.00	0.00	124.01	0.00
12	28.50	53.10	51.86	49.60	0.00	0.00	5041.57	0.00	264.07	138.93	391.48
13	30.00	52.11	51.51	50.85	0.00	0.00	5035.51	0.00	0.00	130.86	0.00
14	24.20	50.86	51.04	49.91	0.00	0.00	4879.03	0.00	0.00	167.45	0.00
15	25.50	50.14	50.46	49.59	0.00	0.00	4783.57	0.00	0.00	152.47	0.00
16	24.90	49.03	50.04	48.73	0.00	0.00	4642.55	0.00	0.00	150.96	0.00
17	24.20	47.95	49.60	47.87	0.00	0.00	4502.91	0.00	0.00	149.41	0.00
18	24.20	48.22	49.18	33.12	0.00	0.00	3624.59	0.00	1949.30	115.36	1011.83

*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA	HORA	AMB. (C)	VELOC (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/M**2)	FATOR R	PLACA (S) (W/M**2)	PERDA (UL) (W/M**2C)	EFICIENCIA (W/M**2C)	FATOR REMOCAO	FATOR UTIL (WHR)	TEMPERATURA SAIDA FLUIDO (C)	RENDIMENTO HORARIO
110	5.0	23.0	1.2	0.00	1.00	0.00	4.61	0.88	0.48	0.00	23.00	0.00
110	6.0	23.0	1.2	0.00	1.00	0.00	6.39	0.85	0.00	0.00	49.45	0.00
110	7.0	23.0	1.2	12.00	1.00	9.33	6.37	0.85	0.00	0.00	48.60	0.00
110	8.0	23.0	1.3	98.00	1.00	76.19	6.19	0.85	0.79	0.00	40.02	0.00
110	9.0	24.2	1.4	195.90	1.00	152.30	6.26	0.85	0.66	34.56	43.56	17.64
110	10.0	26.7	1.5	722.50	1.00	561.70	6.58	0.84	0.74	344.55	57.92	47.69
110	11.0	28.5	1.8	502.00	1.00	390.27	6.62	0.84	0.79	223.54	49.63	44.53
110	12.0	27.9	2.2	404.10	1.00	314.16	6.85	0.84	0.77	135.26	52.20	33.47
110	13.0	27.9	1.6	269.40	1.00	209.44	6.57	0.84	0.79	59.50	49.74	22.09
110	14.0	27.9	1.6	232.70	1.00	180.91	6.58	0.84	0.76	30.59	50.45	13.14
110	15.0	27.9	1.6	306.10	1.00	237.97	6.62	0.84	0.75	71.80	52.46	23.46
110	16.0	27.9	1.4	506.10	1.00	393.46	6.60	0.84	0.77	194.23	55.67	38.38
110	17.0	29.1	1.4	183.70	1.00	142.82	6.52	0.84	0.79	2.87	50.53	1.56
110	18.0	27.9	1.6	122.50	1.00	95.24	6.60	0.84	0.72	0.00	48.11	0.00

*** SIMULACAO DE COLETOR SOLAR PLANO ***

DIA	HORA	AMB. (C)	VELOC VENTO (M/S)	RADIACAO SOLAR (W/M**2)	FATOR R	RADIACAO PLACA (S) (W/M**2)	COEFICIENTE PERDA (UL) (W/M**2C)	FATOR EFICIENCIA	FATOR REMOCAO (WHR)	CALOR UTIL (MHR)	TEMPERATURA SAIDA FLUIDO (C)	RENDIMENTO HORARIO
111	5.0	20.0	1.2	0.00	1.00	0.00	5.40	0.87	0.44	0.00	20.68	0.00
111	6.0	20.0	1.2	0.00	1.00	0.00	6.39	0.85	0.00	0.00	49.50	0.00
111	7.0	20.0	1.2	10.00	1.00	7.77	6.36	0.85	0.00	0.00	48.55	0.00
111	8.0	21.6	1.3	67.40	1.00	52.40	6.19	0.85	0.79	0.00	39.16	0.00
111	9.0	24.9	1.4	342.90	1.00	266.58	6.38	0.85	0.66	112.48	50.77	32.80
111	10.0	26.1	2.0	575.50	1.00	417.42	6.69	0.84	0.77	259.58	50.94	45.10
111	11.0	28.5	2.4	802.00	1.00	623.51	6.98	0.83	0.78	389.92	55.40	48.62
111	12.0	31.0	1.6	1065.30	1.00	828.21	6.82	0.84	0.79	553.49	60.75	51.96
111	13.0	31.5	2.2	991.80	1.00	771.06	7.17	0.83	0.79	475.96	62.79	47.99
111	14.0	32.7	2.0	979.60	1.00	761.58	7.24	0.83	0.79	441.44	68.27	45.06
111	15.0	33.3	2.6	844.90	1.00	656.86	7.53	0.82	0.78	332.27	69.65	39.33
111	16.0	33.9	1.6	587.70	1.00	456.90	7.15	0.83	0.79	171.68	70.50	29.21
111	17.0	33.2	0.0	249.80	1.00	194.20	6.13	0.85	0.80	0.00	68.05	0.00
111	18.0	35.2	1.4	64.20	1.00	49.91	7.00	0.83	0.73	0.00	61.40	0.00

HORA	TEMP. AMBIENTE (C)	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	ENERGIA TOTAL ARVAZENADA (KWH)	ENERGIA ELET. AUXILIAR (KWH)	ENERGIA UTIL (KWH)	ENERGIA PERDIDA P/ AMBIENTE (KWH)	ENERGIA PERDIDA P/ REABASTECIM. (KWH)
0	20.00	42.50	42.50	42.50	0.00	0.00	3411.40	0.00	0.00	0.00	0.00
5	20.00	49.50	49.50	49.50	0.00	0.00	4649.06	1386.96	0.00	179.32	0.00
6	20.00	48.55	48.55	48.55	0.00	0.00	4480.05	0.00	0.00	181.87	0.00
7	20.00	47.27	48.06	40.59	0.00	0.00	3907.70	0.00	488.23	158.34	494.57
8	21.60	46.15	47.62	39.96	0.00	0.00	3778.34	0.00	0.00	138.42	0.00
9	24.90	47.20	46.99	42.36	0.00	0.00	3944.97	0.00	0.00	121.15	0.00
10	26.10	49.52	48.25	46.09	0.00	0.00	4375.17	0.00	0.00	129.52	0.00
11	28.50	54.13	52.34	50.01	0.00	0.00	5119.14	0.00	0.00	142.16	0.00
12	31.00	59.69	58.03	55.27	0.00	0.00	6091.66	0.00	264.66	160.68	458.74
13	31.50	62.20	61.56	60.30	0.00	0.00	6743.86	0.00	0.00	188.72	0.00
14	32.70	67.27	66.00	64.08	0.00	0.00	7527.25	0.00	0.00	212.59	0.00
15	33.30	68.95	68.37	67.25	0.00	0.00	7952.33	0.00	0.00	229.27	0.00
16	33.90	69.75	69.29	68.44	0.00	0.00	8123.96	0.00	0.00	233.24	0.00
17	33.20	68.04	68.65	67.58	0.00	0.00	7934.27	0.00	0.00	231.83	0.00
18	35.20	66.90	68.05	53.77	0.00	0.00	7018.85	1948.73	0.00	177.59	3204.05