

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE CAMPINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

*Este exemplar corresponde a redação final
da tese defendida por SANDOVAL FARIAS DA MATA
e aprovada pela comissão julgadora em
12/04/1985*

[Assinatura]

ESTUDO DO DIMENSIONAMENTO DE
COLETOR SOLAR E SECADOR

Por SANDOVAL FARIAS DA MATA

Orientador Prof. Dr. Sachio Aikawa

Prof. Dr. Carlos Alberto Carrasco Altemani
(Orientador de Programa)

086/85

Trabalho apresentado à Comissão de Pós-Graduação da
Faculdade de Engenharia de Campinas para obtenção
do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Campinas - 1985

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

A

Minha esposa Josivane

Meus filhos Erwin e Ana

Meu irmão Farias

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal da Paraíba - Centro de Ciências e Tecnologia,
Departamento de Engenharia Mecânica, Campina Grande (PB), ao PíCD/
/CAPES e ao CNPq.

Ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de
Campinas (SP) - UNICAMP.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola da Faculdade de Engenharia de
Alimentos e Agrícola - UNICAMP.

Ao Instituto de Física - Laboratórios de Spectroscopia e Grupo de Cres-
cimento de Cristais, Filmes Finos e Vidros Especiais - UNICAMP.

À Secção de Climatologia do Instituto Agrônômico de Campinas (SP).

À minha esposa Josivane.

Ao meu irmão José Farias da Mata.

Aos professores:

Dr. Sachio Aikawa (orientador)

Dr. Carlos Alberto Carrasco Altemani (orientador de programa)

À amiga e colaboradora Sonia Cristina Romani.

Ao amigo William Capim de Miranda.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram e tornaram possível
a realização deste trabalho, nossa gratidão.

CONTEÚDO

Página

RESUMO.....	i
SUMMARY.....	iii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Secagem de grãos com energia solar.....	4
2.2. Coletores solares planos.....	7
2.3. Secagem de produtos agrícolas.....	10
3. COMPORTAMENTO DA RADIAÇÃO TÉRMICA EM COBERTURAS TRANS PARENTES NOS COLETORES SOLARES.....	21
3.1. Determinação dos fatores de refletância, absor tância e transmitância de radiação térmica em coberturas transparentes.....	21
3.2. Balanço da radiação térmica em coberturas trans parentes dos coletores solares.....	33
3.2.1. Cobertura transparente.....	35
3.2.2. Placa absorvente.....	38
4. ESTUDO DO COLETOR SOLAR TIPO "A" EM REGIME PERMANEN TE.....	40
4.1. Balanço de energia do coletor solar tipo "A" em regime permanente.....	40
4.2. Linearização do sistema de equações.....	43
4.3. Energia útil do fluido.....	44
4.4. Radiação solar sobre a superfície do coletor solar.....	46
4.5. Rendimentos do coletor solar.....	47

	Página
4.6. Modelos climatológicos usados no coletor solar	48
4.7. Razão de mistura e vazão do ar.....	54
5. ESTUDO DO COLETOR SOLAR TIPO "A" EM REGIME TRANSITÓRIO.....	56
5.1. Balanço de energia do coletor solar tipo "A" em regime transitório.....	56
5.2. Equação da temperatura média do ar.....	61
5.3. Rendimentos do coletor solar tipo "A" em regime transitório.....	65
5.4. Estudo do isolante composto, como um meio semi-infinito.....	67
6. ESTUDO DO COLETOR SOLAR TIPO "B" EM REGIMES PERMANENTES E TRANSITÓRIO.....	69
6.1. Estudo do coletor solar tipo "B" em regime permanente.....	69
6.1.1. Energia útil do coletor.....	71
6.1.2. Temperaturas médias dos componentes do coletor solar.....	71
6.2. Estudo do coletor solar tipo "B" em regime transitório.....	72
6.3. Estudo do isolante composto como um meio semi-infinito.....	76
7. SIMULAÇÃO MATEMÁTICA DE SECAGEM UTILIZANDO O MODELO DE MOREY PARA BAIXAS TEMPERATURAS.....	77
7.1. Balanço de energia entre o ar e o produto....	78
7.2. Balanço de massa entre o ar e o produto.....	79

	Página
7.3. Umidade relativa do ar.....	81
7.4. Umidade relativa de equilíbrio para o produto	82
7.5. Equação da camada delgada.....	83
7.6. Deterioração do milho.....	86
7.7. Sistema operacional de ventilador.....	88
8. EXECUÇÃO DA SIMULAÇÃO MATEMÁTICA DO SISTEMA TOTAL COLETOR SOLAR-SECADOR.....	90
8.1. Resultados da simulação matemática do coletor solar tipo "A".....	94
8.2. Resultados da simulação matemática do coletor solar tipo "B".....	114
8.3. Resultados da simulação matemática da secagem com o modelo de Morey.....	125
9. EXPERIMENTO DO SISTEMA TOTAL COLETOR SOLAR-SECADOR	149
10. CONCLUSÕES.....	172
11. SUGESTÕES.....	176
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	177
ÍNDICE DE TABELAS.....	186
ÍNDICE DE FIGURAS.....	188
SIMBOLOGIA.....	196
APÊNDICE A1.....	202
APÊNDICE A2.....	205
APÊNDICE A3.....	207
APÊNDICE B1.....	209
APÊNDICE B2.....	210

	Página
APENDICE B3.....	217
APENDICE B4.....	226
APENDICE B5.....	233
APENDICE B6.....	241
APENDICE B7.....	249

RESUMO

O presente trabalho visa o estudo de um sistema total composto de um coletor solar e um silo secador, para a secagem de produtos agrícolas.

Para tal foram desenvolvidas as simulações matemáticas em regimes permanentes e transitórios para dois tipos de coletores solares planos. Um coletor solar com cobertura de plástico transparente e o outro coletor solar com a placa absorvente exposta diretamente ao ambiente e a radiação solar.

Para o coletor solar com cobertura de plástico transparente, foram também estudadas as perdas de calores por trocas de radiações infravermelhas entre o coletor solar e o ambiente, através da cobertura transparente.

No processamento da parte teórica do trabalho em aprêço, foi utilizado um coletor solar com 20 m de comprimento, 3 m de largura e 0,10 m de altura para passagem do ar, cujos fluxos foram de 50, 100 e 150 m³/min, com modelos climatológicos diferentes. Foram também variados os tipos e espessuras dos isolante e coberturas, respectivamente.

Na simulação matemática da secagem foi utilizado o modelo de Morey, com introdução da camada delgada de Misra e Brooker, para 3, 10 e 50 toneladas de milho com teor de umidade inicial de 20% b.u. e final de 13% b.u.

Para a parte experimental foi utilizado um coletor solar com 10 m de comprimento, 2 m de largura e 0,10 m

de altura para passagem do ar. A cobertura transparente foi de P.V.C., com 0,40 mm de espessura, e o isolante composto de pedra com 10,5 cm de espessura, mais terra com 51 cm de espessura. O experimento foi executado em três dias diferentes, com as vazões de 28, 27 e 23 m³/min.

Na parte experimental da secagem foi utilizado 640 kg de milho, com teor de umidade inicial igual a 17% base úmida, secando-se até o teor médio de umidade final igual a 10,76% base úmida.

SUMMARY

This research work reports the study of a system of a solar collector and a bin for grain drying.

It was developed mathematical simulations to represent the transient and steady state phenomena applied to two kinds of plane solar collectors. The first type of solar collector was covered with plastic sheet and the second kind had the absorbent plate directly exposed to the solar radiation and to the environment.

For the solar collector covered with plastic sheet it was studied heat losses due to infrared radiation between the collector and the environment through the plastic sheet.

For the interpretation of the theoretical analysis it was utilized data obtained from a collector 20 m long, 3 m wide and 0.10 m thick for air passage. Air fluxes were 50, 100 and 150 m³/min. It was also used different thickness for insulating material and for plastic cover.

For the mathematical simulation of the grain drying it was used the model due to Morey with the introduction of thin layer due to Misra and Brooker. In drying process it was used 3, 10 and 50 ton of corn with 20% w.b. initial moisture content and 13% w.b. for final moisture content.

For the experimental procedure it was used a solar collector 10 m long, 2 m wide and 0.10 m thick for the air passage. The plastic cover was made of P.V.C. 0.40 mm

thick and a insulating material made of a layer of stone 10.5 cm thick and a second layer of soil, 51 cm thick. The tests were conducted in three different days and air fluxes were 28, 27 and 23 m³/min.

In the experimental procedure for drying it was used 640 kg of corn with an initial moisture content of 17% w.b. and an average final moisture content of 10.76% w.b.

1. INTRODUÇÃO

A secagem é um processo que tem como finalidade a preservação da qualidade dos produtos agrícolas. Consiste essencialmente na remoção da maior parte da água contida nos produtos, logo após o seu amadurecimento fisiológico, baixando o nível do teor de umidade para um ponto no qual os produtos possam ser seguramente armazenados, sem perderem as suas propriedades organolêpticas e nutritivas.

Do ponto de vista termodinâmico, com base no mecanismo de transferência de calor e massa, a secagem pode ser definida como sendo o processo de trocas simultâneas de calor e massa entre o produto a ser secado e o ar utilizado na secagem.

No Brasil 84,2% das propriedades rurais situam-se na faixa de 1 a 100 hectares e são responsáveis por 75% do abastecimento interno de cereais (20,25).

A maior parte da secagem destes cereais é feita de modo natural, ou seja, no campo sujeita as infestações. A secagem artificial em baixas temperaturas com uso de energia solar, representa uma solução para este tipo de problema.

Como os trabalhos realizados para a secagem com energia solar são independentes, ou seja, não guardam relações entre si, não servem portanto para os casos em que os consultores necessitem de aplicar as suas próprias condições. Devido a este fato, necessita-se de um estudo de um

sistema padrão para todos os casos gerais, através de uma simulação matemática do coletor solar e secador.

Em face as tais necessidades o presente trabalho se propõe a:

- Medir os fatores globais de absorvância, refletância e transmitância de radiações solar e infravermelha para as coberturas de P.V.C. e polietileno dos coletores solares.
- Determinar a variação da troca de radiação infravermelha entre o coletor solar e o ambiente, através da cobertura transparente de plástico, e incluir esta variação no balanço de energia do coletor solar. Visto que atualmente esta variação não é considerada no balanço de energia do coletor solar com cobertura de plástico.
- Como uma das características da fonte energética solar é sua intermitência, será estudado o balanço de energia do coletor solar em regimes permanente e transitório, para ser analisado qual o modelo que melhor expressa as condições reais de funcionamento do coletor solar.
- Estudar também um outro tipo de coletor solar sem cobertura de plástico, com a placa absorvente exposta diretamente ao ambiente e a radiação solar, com o objetivo de comparar as eficiências entre os dois tipos de coletores solares.

- Estudar os dimensionamentos dos isolantes simples pedra e lã de vidro, assim como os isolantes compostos com pedra mais terra e lã de vidro mais terra, com relações aos calores armazenados, as variações das suas temperaturas e os rendimentos para os dois tipos de coletores solares.
- Serão feitas simultaneamente as simulações matemáticas dos coletores solares e secador, utilizando diferentes modelos climatológicos e diferentes fluxos de ar, com a finalidade de analisar as viabilidades destes modelos com relação ao tempo de secagem e deterioração do produto.
- Instalar um experimento do sistema total coletor solar-secador, como objetivo de comprovar a validade da parte teórica do modelamento matemático do coletor solar, assim como, a comprovação da secagem com uso destes coletores solares.
- Assim variando-se os modelos climatológicos, os parâmetros geométricos e os tipos dos isolantes para o coletor solar e secador, podemos fornecer resultados para dimensionar um sistema coletor solar secador, para uso do pequeno e médio produtor rural.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Secagem de Grãos com Energia Solar:

O sistema de secagem de grãos pode ser feito em silos ou barcaças por meio da passagem do ar natural pelo seu leito, forçado por um ventilador. Para reduzir o tempo de secagem é necessário elevar a temperatura do ar de secagem, o que pode ser feito usando-se um coletor solar.

A figura 2.1 mostra um sistema de secagem de grãos, coletor solar-secador. Neste sistema o ar é aquecido na sua passagem pelo coletor solar, podendo receber ainda um ligeiro aquecimento do ventilador, penetrando no silo através do plenum e sendo distribuído para os grãos por meio de uma chapa perfurada.

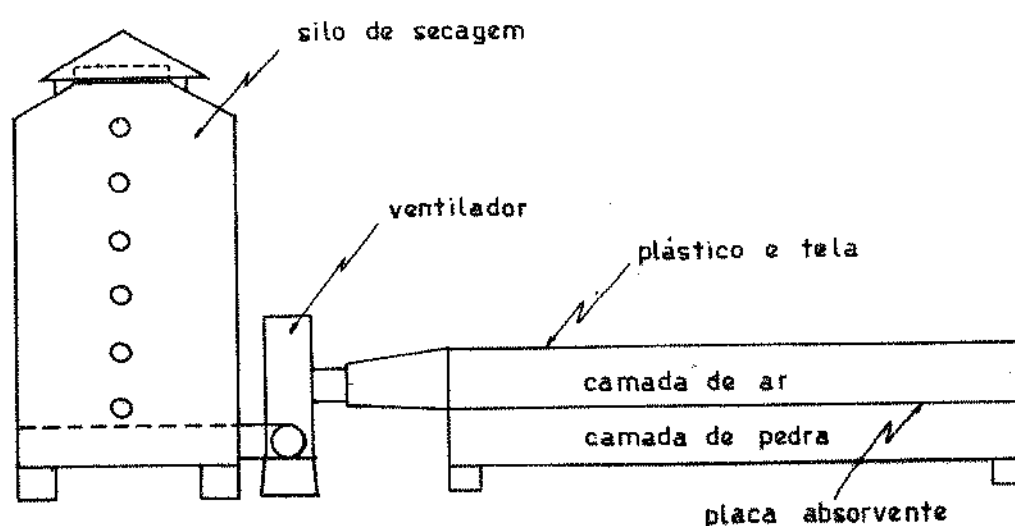


FIGURA 2.1. Sistema coletor solar-secador.

Com o objetivo de aplicações de energia solar como substituta de outras formas de energias no processo de secagem de grãos, consideráveis pesquisas foram desenvolvidas, tais como:

Morey et al (42) simularam o processo de secagem de grãos com suplementação de aquecimento solar para baixas temperaturas com dados climatológicos da região de Minnesota, considerando os custos de investimentos no processo de secagem de milho, assim como a qualidade e o teor de umidade final do produto, o estudo mostrou que a secagem com suplementação de aquecimento solar, é economicamente competitiva com outros sistemas de secagens, tais como, resistência elétrica e ar natural.

Zink et al (65) avaliaram várias técnicas de utilização de energia, para identificar a eficácia de custos de cada uma na aplicação de secagem de grãos. Entre as alternativas energéticas estudadas destacam-se: gaseificação de sabugo de milho, aquecimento através de resistências elētricas, bomba de calor, GLP e coletores solares. A análise do estudo revelou uma maior viabilidade de aplicações do GLP e resistências elétricas devido ao baixo capital no investimento inicial, entretanto se o período de secagem for prolongado e o coletor solar for utilizado por mais de um período, o sistema de aquecimento solar representa a forma mais eficaz de energia.

Stevens et al (57) simularam a secagem de trigo com energia solar e ar natural, com a finalidade de anteci

par o tempo de colheita deste produto nos Estados Unidos, e minimizar o uso de energia proveniente de combustíveis fósseis. Uma simulação foi desenvolvida usando os dados de energia solar para secagem em lote, com a duração de nove dias. A outra simulação foi com ar natural e o processo durou dezesseis dias. Os resultados obtidos foram comparados e concordaram com os dados experimentais.

Estes resultados também comprovaram a validade da secagem de grãos com energia solar e ar natural.

Para uma estimativa de custos entre a secagem de grãos com GLP e energia solar, com testes realizados em várias estações experimentais para diferentes locais nos Estados Unidos, Heid (26), instalou uma série de oito diferentes tipos de coletores solares. Os resultados dos testes revelaram maiores viabilidades dos custos para o processo de secagem em baixa temperatura com uso de coletores solares.

Um trabalho de pesquisas sobre secagem de grãos com uso de energia solar, desenvolvido pelo departamento de Engenharia Agrícola de OARDC, indicou que a energia solar é uma fonte de aquecimento de ar, mais eficiente que resistência elétrica e propano, quando a secagem é processada a baixa temperatura para aquelas condições experimentais, Keener e Misra (31).

Na secagem de arroz com uso de energia solar e com ar natural, Calderwood (15), verificou que o aquecimento do ar com o uso da energia solar além de reduzir o tempo de secagem, diminuiu em 25% ou mais o consumo de energia na operação do ventilador, comparando com a secagem com ar na-

tural.

2.2. Coletores Solares Planos:

Os coletores solares planos são os mais usados no processo de secagem devido as suas simplicidades de construções, como também os baixos custos no investimento inicial.

Dois tipos destes coletores solares que são bastante utilizados no processo de secagem, um deles tem uma cobertura de plástico transparente, com a placa absorvente sobreposta ao isolante e o ar passando entre a placa absorvente e a cobertura transparente.

A cobertura transparente do coletor solar tem como finalidade minimizar as perdas de calor por radiação infravermelha entre a placa absorvente e o ambiente. Para este tipo de cobertura era usado anteriormente apenas o vidro, mas certos tipos de plásticos transparentes também vem sendo usados satisfatoriamente com esta finalidade (5, 8, 30).

Entre os trabalhos que envolvem coletores solares com coberturas transparentes, pode-se destacar os desenvolvidos por Brinsfield (10), para analisar e comparar a eficiência do coletor com cobertura de vidro e cobertura de tedlar, respectivamente. Os resultados obtidos mostraram que as diferenças de perdas de calores por radiação infravermelha entre as coberturas de vidro e tedlar, não eram significativas.

Ainda com relação a este tipo de coletor solar destacam-se também os trabalhos desenvolvidos por Roa e Macedo (49), e os de Kranzler et al (37), para a secagem de grãos com suplementação de aquecimento solar, onde os autores utilizaram um coletor solar com cobertura de polietileno transparente de 0,15 mm de espessura, com uma superfície absorvente de 2,44 m de largura e 9,75 m de comprimento, para uma secção transversal de passagem do ar de $0,37 \text{ m}^2$, conforme figura 2.2.

Dentro do nosso trabalho foi utilizado este coletor solar, com a denominação tipo "A".

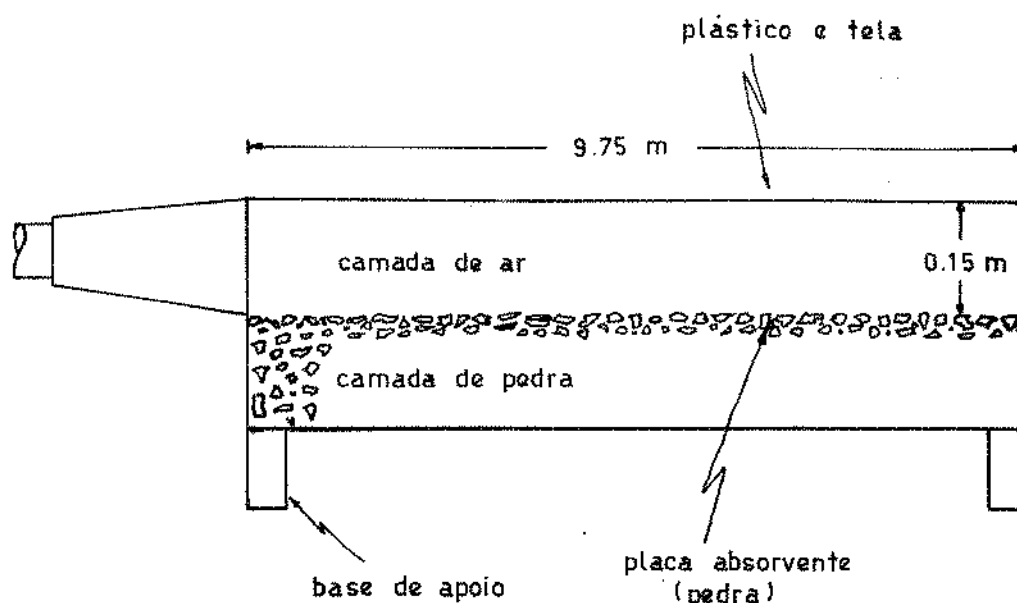


FIGURA 2.2. Coletor solar tipo "A".

O outro tipo de coletor solar tem a placa absorvente exposta diretamente ao ambiente e a radiação solar, com o ar passando entre a placa absorvente e o isolante.

Existem vários trabalhos desenvolvidos para este tipo de coletor solar, e entre eles pode-se destacar os de Hiatt e Parker (29), com testes simultâneos de três diferentes projetos para comparar as curvas de eficiências, e os de Gayanilo et al (21), com aquecedores solares aplicados a secagem de grãos, nas regiões intertropicais, com uma placa absorvente corrugada de 2,44 m de largura e 9,75 m de comprimento, conforme figura 2.3.

Este coletor solar, também foi utilizado dentro do nosso trabalho, com a denominação tipo "B".

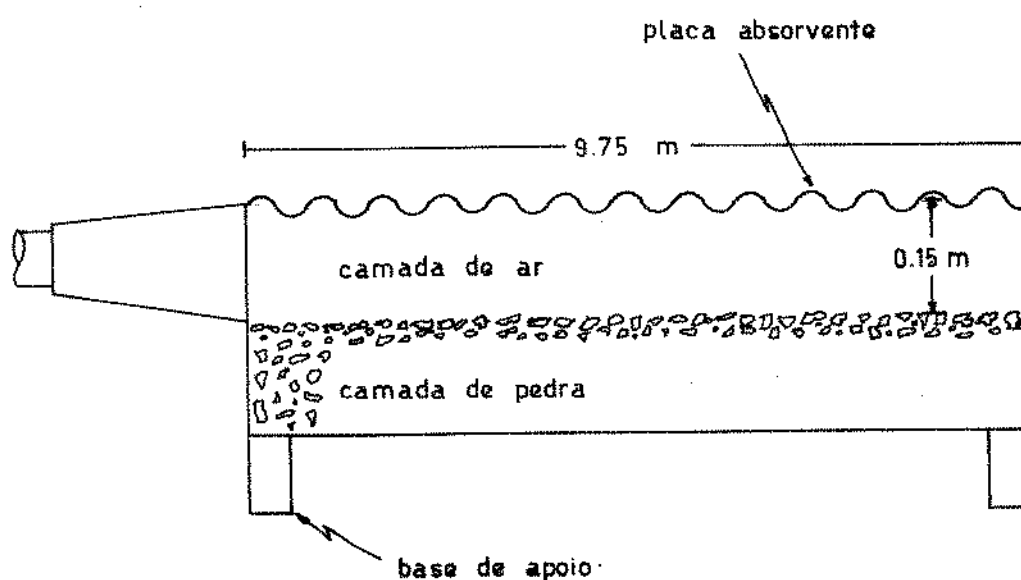


FIGURA 2.3. Coletor solar tipo "B".

Para os coletores solares tipo "A" e "B", foram feitos nos capítulos 4, 5 e 6 os balanços térmicos em regimes permanentes e transitórios (13, 16, 54).

Para o caso do balanço térmico em regime permanente considerou-se que todos os componentes do coletor já estivesse em equilíbrio, e em face de não existir calor armazenado as suas variações ocorrem simultaneamente com as variações ambientais (22, 33, 35).

No regime transitório pela manhã quando o sistema entra em funcionamento, e no período da tarde com a diminuição de intensidade de radiação solar, ou mesmo durante o surgimento de nuvens, os componentes do coletor solar passam a absorverem ou fornecerem energia, decorrendo consequentemente um certo intervalo de tempo para que estes componentes entrem em equilíbrio e estabilizem as suas variações de energias internas (34, 48, 63).

Este efeito ocorre mais intensamente quando se utiliza pedra como isolante armazenador do que no caso de lâ de vidro.

2.3. Secagem de Produtos Agrícolas:

A secagem de produtos agrícolas data dos primórdios da civilização. No início não havia qualquer preocupação com a armazenagem e a secagem era feita em condições naturais do ambiente, no próprio campo, ditadas principalmente pela energia solar incidente e o movimento do ar.

Somente entre a primeira e a segunda guerras mundiais, é que diversas unidades experimentais de secagens foram construídas. Naquela época, apenas algumas unidades comerciais estavam em operações e destinavam-se, basicamente,

ã desidratação de frutas, vegetais e feno, Hall (24).

Após a segunda guerra mundial, tornaram-se comuns as grandes unidades comerciais de secagem, bem como grandes quantidades de grãos passaram a ser secas nas fazendas, Hall (24).

Atualmente os métodos utilizados para se processar a secagem de grãos são bastante diversos, eles podem ser classificados como sendo: secagem natural e secagem artificial.

A secagem natural pode ser feita em campo e em terreiro.

A secagem artificial pode ser feita em baixas e altas temperaturas.

A secagem em baixas temperaturas é feita com ar natural ou o ar levemente aquecido.

A secagem em altas temperaturas é feita em camadas fixas, em cascata, em fluxo cruzado, em fluxo concorrente, em fluxo contracorrente e secagem em combinação.

A escolha de um destes métodos depende de diversos fatores, dentre eles, do nível de instruções tecnológica do produtor/processador, do seu poder aquisitivo, do volume da produção, da velocidade, de colheita/recepção, e do fim a que se destinam os grãos, Dalpasquale (17).

Modelos de Secagem de Grãos:

Para descrever os fenômenos que ocorrem na secagem de grãos, através das trocas de calor e massa entre o ar de secagem e os grãos, vários modelos foram formulados, entre eles, pode-se destacar os de: Hukill, Universidade Estadual de Michigan, Thompson e Morey.

Modelo de Hukill:

O modelo proposto por Hukill baseia-se em uma equação que prevê o teor de umidade do produto como função da sua altura e do tempo de secagem. O modelo despreza o calor sensível dos grãos e admite que a temperatura do ar decresce exponencialmente, a medida que o ar vai passando pela massa de grãos.

O modelo apesar de simples, prevê com boa confiabilidade o processo de secagem, sendo sua principal limitação simular a secagem para condições constantes do ar de entrada, Queiroz et al (46).

A equação que prevê o teor de umidade U , para uma posição x e tempo t , é a seguinte:

$$RU = \frac{2^D}{2^D + 2^Y - 1} \quad (2.1)$$

em que $RU = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e}$

sendo:

RU : razão de umidade do produto, adimensional.

U_0 : teor de umidade inicial (%bs)

U_e : teor de umidade de equilíbrio para as condições de ar de secagem (%bs)

D : adimensional de profundidade

Y : adimensional de tempo

O adimensional de profundidade é calculado através da seguinte equação:

$$D = \frac{x \cdot W_{ms} \cdot h_{fg} \cdot (U_0 - U_e)}{C_a \cdot t_{1/2} \cdot \dot{m} \cdot (T - T_e) \cdot 100}$$

em que:

h_{fg} : calor latente de vaporização da água contida no produto (kcal/kg de água)

C_a : calor específico do ar (kcal/kg de ar °C)

$t_{1/2}$: tempo de meia resposta (h)

$\dot{m}$: fluxo de ar seco (kg de ar seco/m²h)

T : temperatura de ar de secagem (°C)

T_e : temperatura na qual o ar está em equilíbrio com os grãos em seu teor inicial de umidade, depois de ter o ar sido resfriado ao longo de uma linha de temperatura de bulbo úmido constante (°C)

W_{ms} : densidade de matéria seca (kg matéria seca/m³).

A densidade da matéria seca é definida por:

$$W_{ms} = \frac{100.p}{100.U_0}$$

sendo p o peso específico do produto (kg/m^3).

O adimensional de tempo é definido por:

$$\gamma = \frac{t}{t_{1/2}}$$

O tempo de meia resposta é o período de tempo para que a razão de umidade RU diminua de 1 para 0,5.

A equação do tempo de meia resposta pode ser obtida por meio das equações empíricas de secagem em camada delgada. Estas equações são geralmente, definidas da seguinte maneira:

$$RU = f(T, UR, t)$$

sendo UR a umidade relativa do ar (%).

Modelo da Universidade Estadual de Michigan:

O modelo de Michigan pode ser usado para simular a secagem em secadores do tipo camada fixa, fluxo cruzado, fluxo concorrente e fluxo contracorrente.

Este modelo foi desenvolvido especialmente para simular a secagem de milho, mas pode ser aplicada para outros tipos de grãos. Ele é composto por balanços de calor e massa que são escritos para um volume diferencial ($A'dy$), em uma posição arbitrária da camada de grãos, conforme figura 2.4.

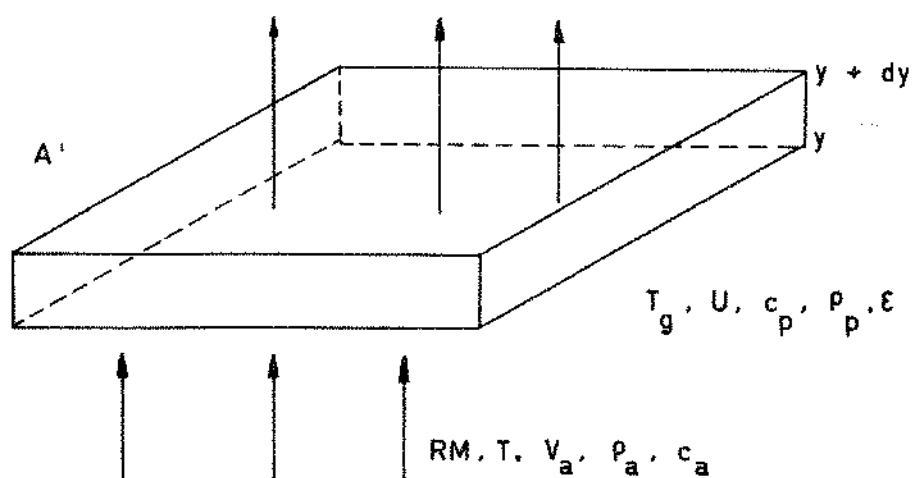


FIGURA 2.4. Volume elementar da camada de grãos.

As seguintes suposições são assumidas:

- a) A redução de volume durante a secagem é desprezível;
- b) O gradiente de temperatura dentro dos grãos individualmente é desprezível;
- c) A condução de calor de partícula para partícula é desprezível;
- d) A distribuição do ar na massa de grãos é uniforme;
- e) As paredes do silo são adiabáticas, com capacidade calorífica desprezível;
- f) As capacidades caloríficas do ar e dos grãos são constantes durante pequenos intervalos de tempo;
- g) A variação da temperatura e a razão de mistura do ar com respeito ao tempo ($\partial T / \partial t$ e $\partial RM / \partial t$) é desprezível quando comparado com a variação de temperatura e razão de mistura com respeito a posição ($\partial T / \partial y$ e $\partial RM / \partial y$);

- h) Existe uma equação capaz de prever a perda de umidade em uma camada delgada de produto em função dos parâmetros de secagem e uma equação para as isotermas de umidade de equilíbrio.

Simulação de secagem em leito fixo:

- a) Para a entalpia do ar:

Energia que entra na po- sição y	-	Energia que sai da po- sição y+dy	=	Energia transfe- rida ao produ- to, por con- vecção	+	Varição, com relação ao tem- po, da ental- pia do ar nos espaços va- zios entre os grãos
--	---	---	---	--	---	--

$$(\rho_a \cdot V_a \cdot C_a + \rho_a \cdot V_a \cdot RM \cdot C_v) A' T dt - (\rho_a \cdot V_a \cdot C_a + \rho_a \cdot V_a \cdot RM \cdot C_v) \cdot \left(T + \frac{\partial T}{\partial y} dy\right) \cdot A' dt$$

$$= h' \cdot a \cdot (T - T_g) A' dy \cdot dt + (\rho_a \cdot C_a + \rho_a \cdot RM \cdot C_v) \cdot \epsilon \cdot A' dy \cdot \frac{\partial T}{\partial t} dt$$

O valor de $\epsilon \frac{\partial T}{\partial t}$ pode ser desprezado quando compa-
rado a $V_a \frac{\partial T}{\partial t}$ e fazendo-se $V_a \cdot \rho_a = G_a$, tem-se:

$$\frac{\partial T}{\partial y} = - \frac{h' \cdot a \cdot (T - T_g)}{G_a \cdot C_a + G_a \cdot C_v \cdot RM} \quad (2.2)$$

- b) Para a entalpia dos grãos:

Energia trans- ferida, por convecção, do ar ao grão	-	Energia reque- rida para aque- cer o grão	+	Energia reque- rida para eva- porar a água dos grãos	=	Energia re- querida pa- ra aquecer o vapor de água evapo- rado
--	---	---	---	---	---	---

$$\begin{aligned}
 h' \cdot a \cdot A' \cdot (T - T_g) dy \cdot dt &= (\rho_p \cdot C_p + \rho_p \cdot C_w \cdot U) A' \cdot dy \cdot \frac{\partial T_g}{\partial t} \cdot dt + \\
 &+ h_{fg} \rho_a V_a \frac{\partial RM}{\partial y} dy \cdot A' \cdot dt + C_v (T - T_g) \rho_a V_a \frac{\partial RM}{\partial y} dy \cdot A' \cdot dt \\
 \therefore \frac{\partial T_g}{\partial t} &= \frac{h' \cdot a \cdot (T - T_g)}{\rho_p \cdot C_p + \rho_p \cdot C_w \cdot U} - \frac{h_{fg} + C_v (T - T_g) \cdot G_a}{\rho_p \cdot C_p + \rho_p \cdot C_w \cdot U} \cdot \frac{\partial RM}{\partial y} \quad (2.3)
 \end{aligned}$$

c) Para a umidade do ar:

A quantidade de vapor de água que en- tra na posi- ção y	-	A quantidade de vapor de água que sai em y + dy	+	A variação da umidade do ar nos espaços vazios	=	Umidade ga- nha pelos grãos
--	---	--	---	---	---	-----------------------------------

$$\rho_a V_a \cdot A' \cdot RM \cdot dt - \rho_a V_a \cdot A' \left(RM + \frac{\partial RM}{\partial y} dy \right) + \epsilon A' \cdot \rho_a \frac{\partial RM}{\partial t} \cdot dy \cdot dt = \rho_p \cdot A' \cdot \frac{\partial U}{\partial t} \cdot dy \cdot dt$$

Desprezando o termo $\frac{\partial RM}{\partial t}$ temos:

$$\frac{\partial RM}{\partial y} = - \frac{\rho_p}{G_a} \cdot \frac{\partial U}{\partial t} \quad (2.4)$$

d) Para a umidade dos grãos:

O teor de umidade do produto pode ser obtido usando-se uma equação empírica de camada delgada, apropriada para cada produto:

$\frac{\partial U}{\partial t}$ = derivada da equação de secagem da camada delgada apropriada.

Para a resolução numérica das equações de 2.2 a 2.4, através do método das diferenças finitas, as seguintes

condições deverão ser satisfeitas:

$$T(o,t) = T(\text{entrada})$$

$$T_g(y,o) = T_g(\text{inicial})$$

$$RM(o,t) = RM(\text{entrada})$$

$$U(y,o) = U(\text{inicial})$$

sendo:

A' : Área por onde passa o ar de secagem (m^2)

C_p : Calor específico do produto ($J.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)

C_v : Calor específico do vapor de água ($J.Kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)

C_w : Calor específico da água no estado líquido ($J.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)

G_a : Fluxo mássico de ar ($kg \text{ de ar seco } m^{-2}.s^{-1}$)

RM : Razão de mistura do ar ($kg \text{ de água}/kg \text{ de ar seco}$)

T_g : Temperatura do produto ($^{\circ}C$)

V_a : Fluxo de ar ($m^3.s^{-1}.m^{-2}$)

a : Área específica ($m^2.m^{-3}$)

h' : Coeficiente de transferência de calor por convecção
($J.m^{-2}.s^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)

t : tempo de secagem (S)

y : posição no eixo vertical (m)

ϵ : Porosidade do produto (decimal)

ρ_a : Densidade do ar (kg/m^3)

ρ_p : Densidade do produto (kg/m^3).

As simulações de secagem para os fluxos cruzado, concorrente e contracorrente, são feitos de maneira similar ao do leito fixo.

Modelo de Thompson:

O modelo de Thompson é fundamentado em duas equações empíricas. A primeira permite determinar o teor de umidade de equilíbrio dos grãos, como função da temperatura e umidade relativa do ar. A segunda é uma equação de secagem em camada delgada, que prevê a perda de umidade do produto como função do seu teor de umidade e temperatura de secagem.

Sendo a secagem um processo contínuo que apresenta variações simultâneas no teor de umidade dos grãos, nas temperaturas do ar e do produto, e, na umidade do ar, Thompson separou o processo de camada espessa, em pequenos processos contínuos de camadas finas de grãos, calculando consecutivamente as variações que ocorrem durante pequenos intervalos de tempo, Queiroz (46).

Modelo de Morey:

O modelo de Morey é um aprimoramento do modelo de Thompson.

Devido a sua simplicidade e simulação de secagem em baixas temperaturas, o modelo de Morey, foi o escolhido para simular a secagem de milho em nosso trabalho, utilizando a equação da camada delgada de Misra e Brooker.

A formulação matemática e sistema de funcionamento deste modelo, encontram-se desenvolvidos no sétimo capítulo.

3. COMPORTAMENTO DA RADIAÇÃO TÉRMICA EM COBERTURAS TRANSPARENTES NOS COLETORES SOLARES

Os fatores de absorção, reflexão e transmissão de calor, como propriedades óticas, dependem dos diferentes tipos de materiais, tais como, vidros e plásticos transparentes (1, 58). Para o caso do vidro o fator de absorção é muito grande comparado com os de reflexão e transmissão, e quanto ao plástico o fator de absorção é bem menor que o do vidro (30).

Os materiais empregados no uso das coberturas dos coletores solares influenciam bastante nos balanços de energias destes coletores. Assim sendo, a amplitude do efeito de estufa está variando.

3.1. Determinação dos fatores de refletância, absorptância e transmitância de radiação térmica em coberturas transparentes

Para aplicações destes fatores nos cálculos dos balanços de radiações térmicas em coberturas de coletores solares, foi desenvolvido um estudo com o objetivo de determinar a refletância, absorptância e transmitância dos lençóis de polietileno em 0,10; 0,15; 0,20 e 0,30 mm de espessuras, e P.V.C. em 0,10; 0,20; 0,30 e 0,40 mm de espessuras.

As medições dos fatores monocromáticos dos citados materiais, foram feitas no Instituto de Física da

UNICAMP. Nas faixas de comprimentos de ondas de 0,1 a 52 μm .

Para as medições nos comprimentos de ondas de 0,6 a 2,5 μm , foi utilizado um SPECTROFOTOMETRO BECKMAN DK2A, pertencente ao Grupo de Crescimento de Cristais, Filmes Finos e Vidros Especiais.

Para as medições nos comprimentos de ondas de 0,1 a 0,7 μm , foi utilizado um SPECTROFOTOMETRO McPHERSON RS-10, e para as medições nos comprimentos de ondas de 2,0 a 52 μm , foi utilizado um SPECTROFOTOMETRO PERKIN ELMER - 180, ambos pertencentes ao Laboratório de Spectroscopia.

As figuras 3.1, 3.2 e 3.3 através de medições mostram os altos fatores de transmitância monocromática para quase toda a faixa de comprimento de ondas de radiação solar para lençóis de P.V.C. em 0,30 mm de espessura.

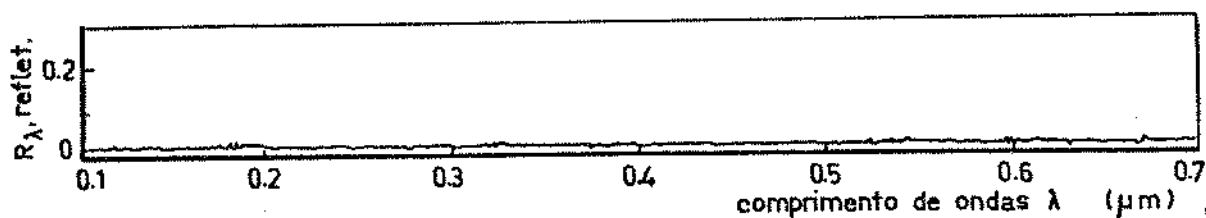


FIGURA 3.1. Fatores monocromáticos de refletância em lençol de P.V.C. com 0,30 mm de espessura em função do comprimento de ondas.

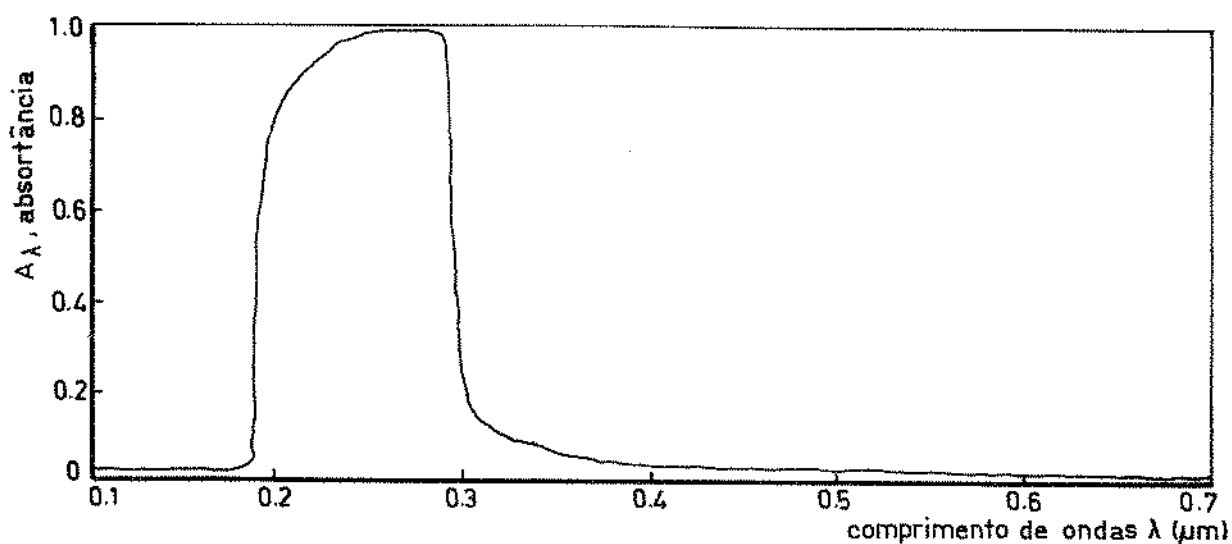


FIGURA 3.2. Fatores monocromáticos de absorção em lençol de P.V.C. com 0,30 mm de espessura, em função do comprimento de ondas.

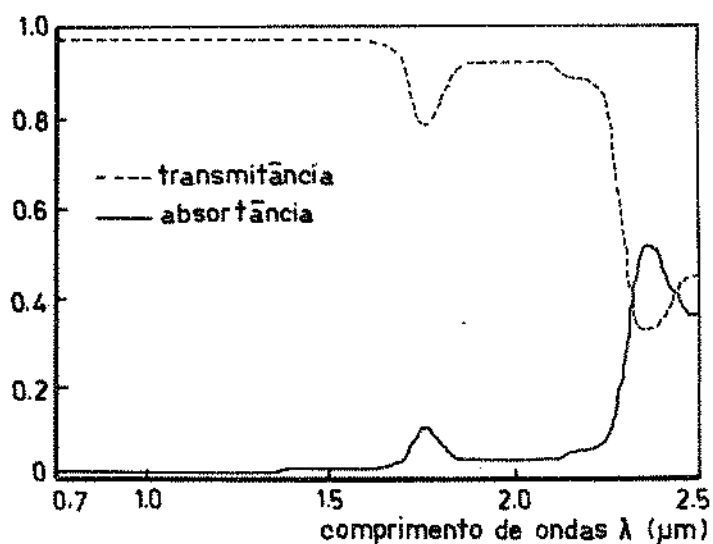


FIGURA 3.3. Fatores monocromáticos de transmitância e absorção em lençol de P.V.C. com 0,30 mm de espessura, em função do comprimento de ondas.

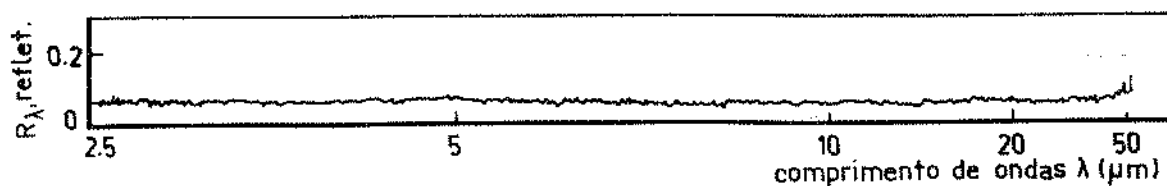


FIGURA 3.4. Fatores monocromáticos de refletância em lençol de P.V.C. com 0,30 mm de espessura, em função do comprimento de ondas.

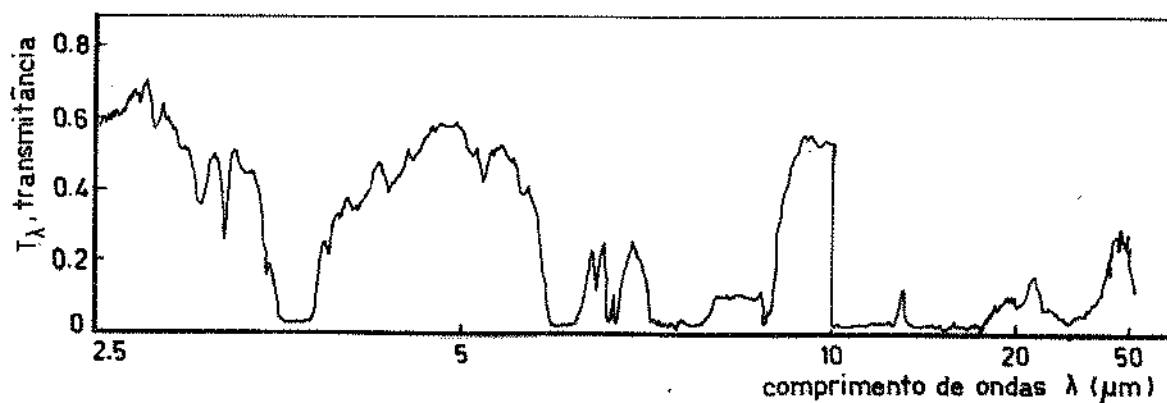


FIGURA 3.5. Fatores monocromáticos de transmitância em lençol de P.V.C. com 0,30 mm de espessura, em função do comprimento de ondas.

Medições idênticas as das figuras anteriores, podem ser tiradas para os lençóis de polietileno, em 0,20 mm de espessura, através das figuras 3.6, 3.7 e 3.8.

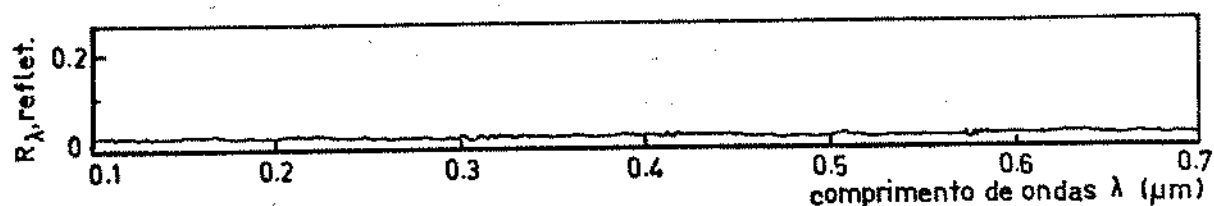


FIGURA 3.6. Fatores monocromáticos de refletância em lençol de polietileno com 0,20 mm de espessura, em função do comprimento de ondas.

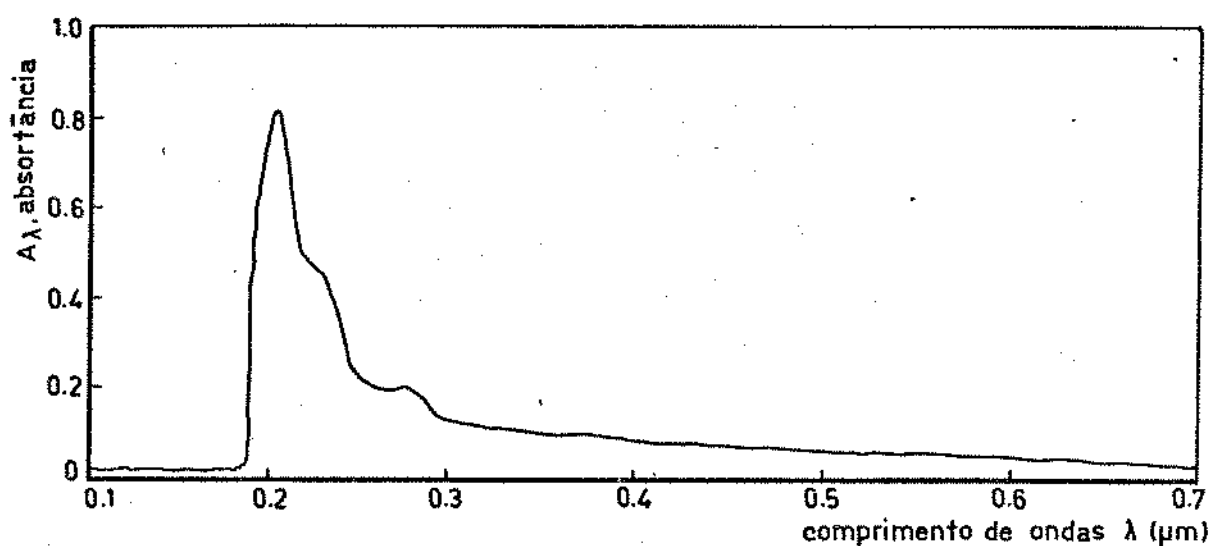


FIGURA 3.7. Fatores monocromáticos de absorptância em lençol de polietileno com 0,20 mm de espessura, em função do comprimento de ondas.

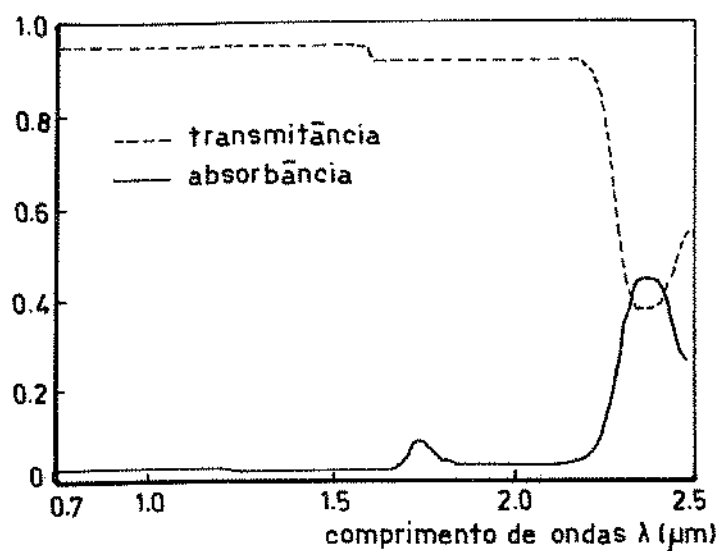


FIGURA 3.8. Fatores monocromáticos de transmitância e absorvância em lençol de polietileno com 0,20 mm de espessura, em função do comprimento de ondas.

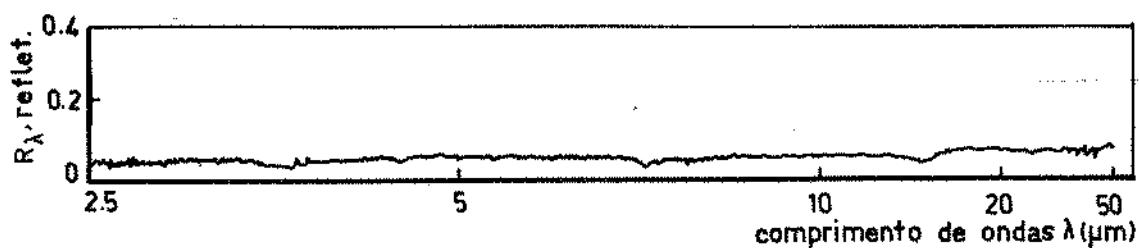


FIGURA 3.9. Fatores monocromáticos de refletância em lençol de polietileno de 0,20 mm de espessura, em função do comprimento de ondas.

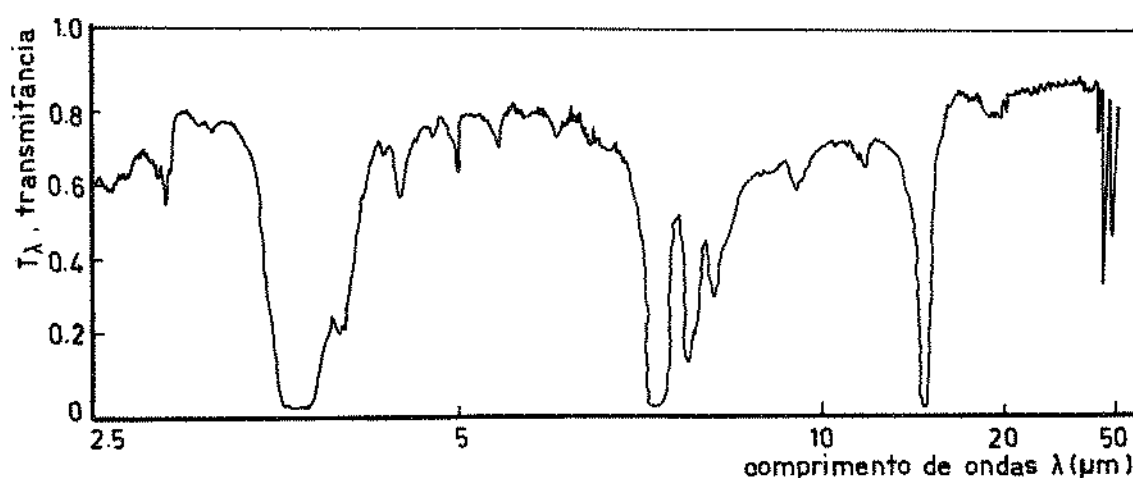


FIGURA 3.10. Fatores monocromáticos de transmitância em lençol de polietileno com 0,20 mm de espessura, em função do comprimento de ondas.

As figuras 3.4 e 3.5, e 3.9 e 3.10 mostram altos fatores de absortância monocromática para a faixa de radiação infravermelha, em lençóis de P.V.C. e Polietileno, com espessuras de 0,30 e 0,20 mm, respectivamente.

Por meio dos resultados apresentados pelas figuras anteriores, conclui-se que os lençóis de P.V.C. e Polietileno são adequados para coberturas de coletores solares.

O fator de absortância global para uma superfície cinza é definida pela seguinte equação:

$$A = \frac{\pi \int_0^\alpha A_\lambda \cdot L_\lambda d\lambda}{\sigma T^4} \quad (3.1)$$

sendo:

A_λ : fator de absortância monocromática em função dos comprimentos de ondas (λ).

σ : constante de Stefan-Boltzman ($\text{kcal/hm}^2\text{ok}^4$)

λ : comprimento de onda (μm)

T' : temperatura absoluta do corpo emissor ($^{\circ}\text{K}$)

L : poder emissivo monocromático de corpo negro, na temperatura T' , ($\text{kcal/hm}^2 \mu\text{m}$) com:

$$= \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T'} - 1)}$$

em que:

$$C_1 = 2 h_0 C_0^2 = 3,22 \times 10^8 \text{ kcal } \mu\text{m}^4/\text{h m}^2$$

$$C_2 = \frac{h_0 C_0}{K'} = 1,4388 \times 10^4 \mu\text{m } ^{\circ}\text{K}$$

onde:

h_0 : constante de Planck em (kcal.h)

C_0 : velocidade de propagação da luz no meio considerado em (m/h)

K' : constante de Boltzman em ($\text{kcal}/^{\circ}\text{K}$)

Os fatores de transmitância (T) e refletância (R) globais, foram obtidos de maneira semelhante ao fator de absortância (A).

Os fatores A , R , e T , foram determinados para diferentes temperaturas, através da equação (3.1), mantendo-se constantes os fatores monocromáticos em cada sub-intervalo de $0,1 \mu\text{m}$ na faixa de comprimento de ondas de 2 a 52 μm , (radiação térmica), para as se-

guintes temperaturas: 293, 313, 333, 353, 393, 413 e 4339K.

Os fatores A, R e T para radiação solar, foram determinados de maneira idêntica aos anteriores, para as faixas de comprimentos de ondas de 0,1 a 3,1 μm , com a temperatura de 57629K.

O programa utilizado para determinar os fatores A, R e T, através da equação (3.1), encontra-se no apêndice (B1). Os resultados obtidos encontram-se nas tabelas 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4.

TABELA 3.1. Fatores de absorptância, transmitância e refletância em lençóis de P.V.C., para radiação solar à temperatura de 57629K, no comprimento de onda entre 0.1 e 3.1 micrometros, em função da espessura do material.

Esp. Abs. Trans. Reflet.	0,10mm	0,20mm	0,30mm	0,40mm
A	0.07	0.05	0.07	0.06
T	0.89	0.91	0.89	0.90
R	0.04	0.04	0.04	0.04

TABELA 3.2. Fatores de absorptância, transmitância e refletância em lençóis de polietileno para radiação solar a temperatura de 5.7620K, no comprimento de onda entre 0.1 e 3.1 micrometros, em função da espessura do material.

Esp. Abs. Trans. Reflet.	0.10mm	(amarelo) 0,15mm	(branco) 0,20mm	0,20mm	0,30mm
A	0.06	0.09	0.09	0.07	0.07
T	0.90	0.87	0.87	0.89	0.87
R	0.04	0.04	0.04	0.04	0.06

TABELA 3.3. Fatores de absorptância, transmitância e refletância em lencóis de P.V.C., para radiação infra-vermelha, no comprimento de onda entre 2 e 52 micrometros, em função da temperatura e da espessura do material.

$\lambda (\mu\text{m})$	$2,0 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 52,0 \mu\text{m}$											
	Espessura			Espessura			Espessura			Espessura		
	0.10mm			0.20mm			0.30mm			0.40mm		
T(k)	A	T	R	A	T	R	A	T	R	A	T	R
293	0.68	0.24	0.08	0.79	0.14	0.07	0.80	0.12	0.08	0.88	0.06	0.06
313	0.68	0.24	0.08	0.79	0.14	0.07	0.80	0.13	0.07	0.88	0.06	0.06
333	0.68	0.25	0.07	0.79	0.14	0.07	0.80	0.13	0.07	0.88	0.07	0.05
353	0.68	0.25	0.07	0.79	0.15	0.06	0.79	0.14	0.07	0.88	0.08	0.04
373	0.67	0.26	0.07	0.78	0.15	0.07	0.79	0.15	0.06	0.87	0.08	0.05
393	0.67	0.27	0.06	0.78	0.16	0.06	0.78	0.15	0.06	0.86	0.09	0.05
413	0.66	0.28	0.06	0.77	0.17	0.06	0.78	0.16	0.06	0.86	0.10	0.04
433	0.65	0.29	0.06	0.76	0.18	0.06	0.77	0.17	0.06	0.85	0.11	0.04

TABELA 3.4. Fatores de absorptância, transmitância e refletância em lençóis de polietileno, para radiação infra-vermelha, no comprimento de ondas entre 2 e 52 micrometros, em função da temperatura e da espessura do material.

$\lambda (\mu\text{m})$	$2,0 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 52,0 \mu\text{m}$														
	Espessura 0.10mm			Espessura 0.15mm (amarelo)			Espessura 0.20mm (branco)			Espessura 0.20mm			Espessura 0.30mm		
T(k)	A	T	R	A	T	R	A	T	R	A	T	R	A	T	R
293	.30	.64	.06	.28	.64	.08	.27	.65	.08	.28	.66	.06	.29	.63	.08
313	.31	.64	.05	.29	.63	.08	.29	.64	.07	.29	.65	.06	.31	.62	.07
333	.32	.63	.05	.30	.63	.07	.29	.63	.08	.31	.64	.05	.32	.61	.07
353	.33	.63	.04	.31	.62	.07	.30	.63	.07	.32	.63	.05	.33	.60	.07
373	.33	.63	.04	.32	.62	.06	.31	.63	.06	.33	.63	.04	.34	.59	.07
393	.34	.62	.04	.32	.61	.07	.31	.62	.07	.33	.62	.05	.35	.59	.06
413	.34	.62	.04	.33	.61	.06	.32	.62	.06	.34	.62	.04	.36	.58	.06
433	.34	.62	.04	.33	.61	.06	.32	.62	.06	.34	.61	.05	.36	.58	.06

Whillier (62), pesquisando os fatores óticos de plástico, obteve para o tedlar de 0,10 mm de espessura, o valor de 0,29 para o fator de transmitância, para a radiação proveniente de um corpo negro submetido a temperatura de 100 graus centígrados. Portanto a partir das tabelas 3.3 e 3.4, verifica-se que os fatores de transmitâncias para P.V.C. e polietileno, na espessura e temperatura do tedlar, são 0,26 e 0,63 respectivamente.

Através dos valores das transmitâncias apresentados pelo polietileno, conclui-se que o mesmo não é tão adequado para coberturas de coletores solares, quanto o P.V.C. e o tedlar.

3.2. Balanco da radiação térmica em coberturas transparentes dos coletores solares

As coberturas de plásticos transparentes para coletores solares, não são opacas para radiação infravermelha. Entretanto para os balanços de energia dos referidos coletores com coberturas de plásticos, alguns pesquisadores usam para trocas de calores em radiação infravermelha as seguintes equações:

Entre a placa absorvente e a cobertura transparente:

$$q_{p-c} = \frac{\sigma(T_p^4 - T_c^4)}{1/\epsilon_p + 1/\epsilon_c - 1}$$

Entre a placa absorvente e o ambiente:

$$q_{p-a} = \epsilon_p \tau_c \sigma (T_p^4 - T_a^4)$$

Entre a cobertura transparente e o ambiente:

$$q_{c-a} = \epsilon_c \sigma (T_c^4 - T_a^4)$$

sendo:

τ_c : transmitância da cobertura para radiação térmica

ϵ_p : emissividade da placa absorvente

ϵ_c : emissividade da cobertura transparente

T_p : temperatura da placa absorvente (°K)

T_c : temperatura da cobertura transparente (°K)

T_a : temperatura ambiente (°K)

Segundo Sikkens (52), as equações de trocas de calores q_{p-c} e q_{c-a} , não são corretas para coberturas transparentes de plásticos. Para q_{p-c} , admitindo-se a emissividade da cobertura $\epsilon_c = 1 - \rho_c$ (ρ_c : refletância da cobertura), a qual sô é válida para coberturas opacas. A equação q_{c-a} , também é incorreta porque não adiciona as contribuições da radiação emitida pela face interna da cobertura, da qual, parte é refletida pela placa absorvente e subsequentemente absorvida através da cobertura.

No entanto, para coletores solares com tais coberturas, foi desenvolvido um balanço de energia, com a finalidade de considerar todas as contribuições de radiação infravermelha, entre a placa absorvente, a cobertura transparente e o meio ambiente.

Os balanços de energia das radiações térmicas to

tais absorvidas pela cobertura transparente e placa absorvente, são feitos com o objetivo de determinar as parcelas das radiações térmicas que entram no balanço de energia do coletor solar tipo "A".

3.2.1. Cobertura transparente

Os fatores de absortância, refletância e transmitância em coberturas transparentes, com múltiplas absorções, reflexões e transmissões no meio material, são definidos segundo Stokes (58).

$$A = \frac{(1-\rho)(1-\tau)}{1 - \rho\tau}$$

$$R = \rho \left[1 + \frac{(1-\rho)^2 \tau^2}{1 - \rho^2 \tau^2} \right]$$

$$T = \frac{\tau(1-\rho)^2}{1 - \rho^2 \tau^2}$$

sendo ρ e τ os coeficientes de refletância e transmitância, respectivamente.

Para a cobertura transparente foi feito o balanço de energia térmica com o objetivo de obter-se expressões que representem a soma das energias absorvidas por esta cobertura, proveniente do ambiente, da placa absorvente, e a emitida pela face interna da própria cobertura transparente.

Energia proveniente do ambiente:

A figura 3.11, mostra o traçado de radiação térmica proveniente do ambiente. Quando esta energia alcança a cobertura transparente ela pode ser refletida, absorvida e transmitida. A parte absorvida sofre infinitas reflexões dentro do material através das bordas internas das faces da cobertura transparente. Uma quantidade da parte transmitida é absorvida pela placa absorvente, e o restante é refletido para a cobertura transparente. Quando esta reflexão atinge a cobertura transparente, repete-se todo o processo : como ocorreu com a energia proveniente do ambiente.

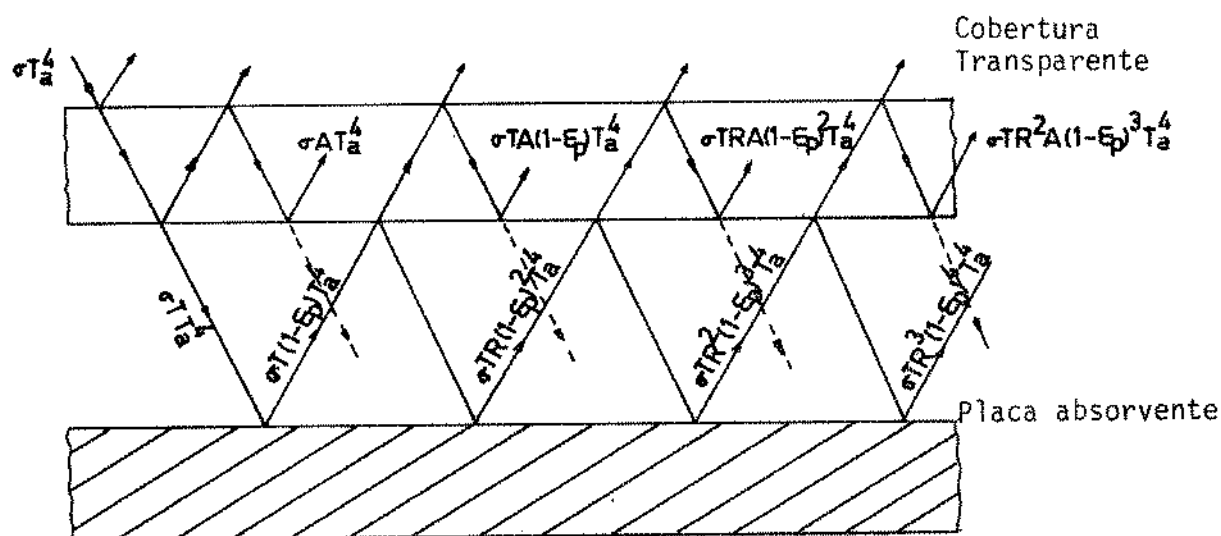


FIGURA 3.11. Traçado de radiação térmica proveniente do ambiente.

Pelo traçado de radiação térmica da figura 3.11, obtêm-se a soma das energias absorvidas pela cobertura transparente, através do método de série.

$$\begin{aligned} & \sigma T_a^4 \cdot A + \sigma T_a^4 \cdot A \cdot T(1-\epsilon_p) + \sigma T_a^4 \cdot A \cdot R \cdot T(1-\epsilon_p)^2 + \sigma T_a^4 \cdot A \cdot R^2 T(1-\epsilon_p)^3 + \\ & + \dots = \sigma A T_a^4 \left[1 + \frac{T(1-\epsilon_p)}{1-R(1-\epsilon_p)} \right] \end{aligned} \quad (3.2)$$

Energia emitida pela placa absorvente:

Quando esta energia atinge a cobertura transparente, ela é refletida, absorvida e transmitida, a parte refletida volta para a placa absorvente, que absorve uma certa quantia, e o restante é refletido para a cobertura transparente. Todos os processos de reflexões, absorções e transmissões, ocorrem semelhantes aos descritos anteriormente.

Energia absorvida pela cobertura transparente:

$$\begin{aligned} & \sigma \epsilon_p T_p^4 \cdot A + \sigma \epsilon_p T_p^4 \cdot A \cdot R(1-\epsilon_p) + \sigma \epsilon_p T_p^4 \cdot A \cdot R^2(1-\epsilon_p)^2 + \sigma \epsilon_p T_p^4 \cdot A \cdot R^3 \cdot \\ & (1-\epsilon_p)^3 + \dots = \sigma \epsilon_p A T_p^4 \left[\frac{1}{1-R(1-\epsilon_p)} \right] \end{aligned} \quad (3.3)$$

Energia emitida pela face inferior da própria cobertura transparente:

Quando esta energia chega a placa absorvente, uma parte é absorvida, e o restante é refletido para a cobertura transparente, onde ocorre absorção e transmissão, ocorrendo também reflexão para a placa absorvente. Este procedimento repete-se indefinidamente, e os processos para as re

flexões, absorções e transmissões, são semelhantes aos citados anteriormente.

Energia absorvida pela cobertura transparente:

$$\sigma \epsilon_c T_c^4 \cdot A \cdot (1 - \epsilon_p) + \sigma \epsilon_c T_c^4 \cdot A \cdot R (1 - \epsilon_p)^2 + \sigma \epsilon_c T_c^4 \cdot A \cdot R^2 (1 - \epsilon_p) + \sigma \epsilon_c T_c^4 \cdot A \cdot R^3 (1 - \epsilon_p)^4 + \dots = \sigma \epsilon_c (1 - \epsilon_p) A \cdot T_c^4 \left[\frac{1}{1 - R(1 - \epsilon_p)} \right] \quad (3.4)$$

Energia térmica total absorvida pela cobertura transparente:

A energia total absorvida pela cobertura transparente corresponde a soma dos lados direitos das equações (3.2), (3.3) e (3.4), sendo representada por (E_{ct}):

$$E_{ct} = \sigma \epsilon_c (1 - \epsilon_p) A \cdot T_c^4 \left[\frac{1}{1 - R(1 - \epsilon_p)} \right] + \sigma \epsilon_p A \cdot T_p^4 \left[\frac{1}{1 - R(1 - \epsilon_p)} \right] + \sigma \cdot A \cdot T_a^4 \left[1 + \frac{(1 - \epsilon_p) \cdot T}{1 - R(1 - \epsilon_p)} \right] \quad (3.5)$$

3.2.2. Placa absorvente

Para a placa absorvente foi feito o balanço de energia térmica proveniente do ambiente da cobertura transparente, e da emissão da própria placa absorvente. Todos os processos ocorreram semelhantes aos descritos para a cobertura transparente.

Energia proveniente do ambiente:

$$\sigma \epsilon_p T_a^4 + \sigma \epsilon_p \cdot R \cdot T_a^4 (1 - \epsilon_p) + \sigma \epsilon_p R^2 \cdot T_a^4 (1 - \epsilon_p)^2 + \dots = \sigma \epsilon_p \cdot T_a^4 \left[\frac{1}{1 - R(1 - \epsilon_p)} \right] \quad (3.6)$$

Energia emitida pela face interna da cobertura transparente:

$$\begin{aligned} & \sigma \epsilon_p \epsilon_c T_c^4 + \sigma \epsilon_p \epsilon_c \cdot R \cdot T_c^4 (1 - \epsilon_p) + \sigma \epsilon_p \epsilon_c \cdot R^2 \cdot T_c^4 (1 - \epsilon_p)^2 + \dots = \\ & = \sigma \epsilon_p \epsilon_c T_c^4 \left[\frac{1}{1 - R(1 - \epsilon_p)} \right] \end{aligned} \quad (3.7)$$

Energia emitida pela própria placa absorvente:

$$\begin{aligned} & \sigma \epsilon_p^2 R T_p^4 + \sigma \epsilon_p^2 R^2 T_p^4 (1 - \epsilon_p) + \sigma \epsilon_p^2 R^3 T_p^4 (1 - \epsilon_p)^2 + \dots = \sigma \epsilon_p^2 R T_p^4 \\ & \left[\frac{1}{1 - R(1 - \epsilon_p)} \right] \end{aligned} \quad (3.8)$$

Energia térmica total absorvida pela placa absorvente:

A energia total absorvida pela placa absorvente corresponde a soma dos lados direitos das equações (3.6), (3.7) e (3.8), sendo representada por (E_{pa}):

$$\begin{aligned} E_{pa} = & \sigma \epsilon_p \epsilon_c T_c^4 \left[\frac{1}{1 - R(1 - \epsilon_p)} \right] + \sigma \epsilon_p^2 R T_p^4 \left[\frac{1}{1 - R(1 - \epsilon_p)} \right] + \\ & + \sigma \epsilon_p \cdot T_a^4 \left[\frac{1}{1 - R(1 - \epsilon_p)} \right] \end{aligned} \quad (3.9)$$

4. ESTUDO DO COLETOR SOLAR TIPO "A" EM REGIME PERMANENTE

Quando o calor transmitido por unidade de tempo em um sistema não depende do tempo, isto é, quando ele é constante, a temperatura em cada ponto não varia, e as condições de regime permanente prevalecem. Sob essas condições, o influxo de calor em qualquer ponto do sistema deve ser exatamente igual ao efluxo de calor, e nenhuma mudança de energia interna ocorre (32, 38, 40).

4.1. Balanco de energia do coletor solar tipo "A" em regime permanente:

O balanço de energia deste coletor solar, é feito para a cobertura transparente, placa absorvente e o ar, utilizando-se também as equações (3.5) e (3.9).

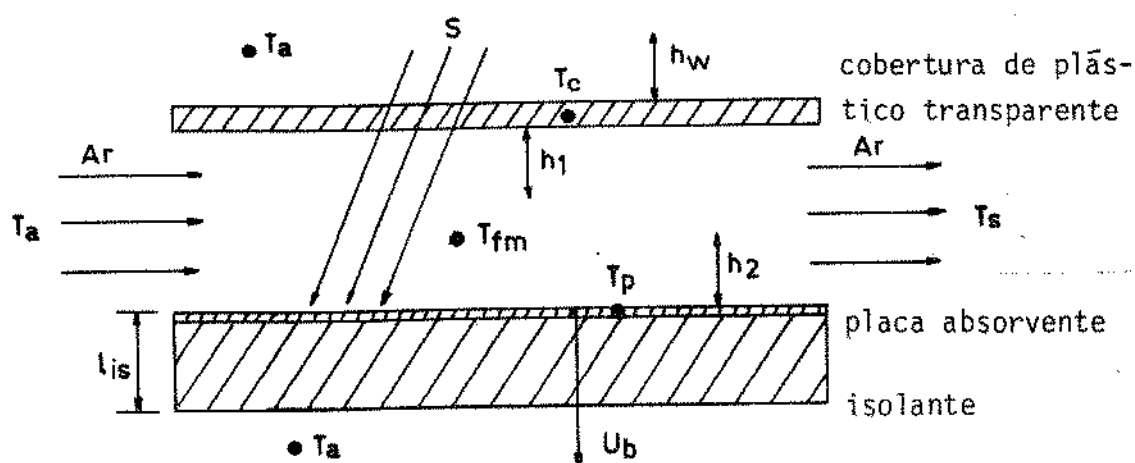


FIGURA 4.1. Coletor solar tipo "A" regime permanente

Para a cobertura transparente:

$$\begin{aligned}
 & -2\epsilon_c \sigma T_c^4 + \sigma \epsilon_c (1 - \epsilon_p) A \left[\frac{1}{1 - R(1 - \epsilon_p)} \right] T_c^4 + \sigma \epsilon_p A \left[\frac{1}{1 - R(1 - \epsilon_p)} \right] T_p^4 + \\
 & + \sigma A \left[1 + \frac{T(1 - \epsilon_p)}{1 - R(1 - \epsilon_p)} \right] T_a^4 + h_1 (T_{fm} - T_c) - h_w (T_c - T_a) = 0 \quad (4.1)
 \end{aligned}$$

Para a placa absorvente:

$$\begin{aligned}
 & -\sigma \epsilon_p T_p^4 + \sigma \epsilon_p^2 R \left[\frac{1}{1 - R(1 - \epsilon_p)} \right] T_p^4 + \sigma \epsilon_c \epsilon_p \left[\frac{1}{1 - R(1 - \epsilon_p)} \right] T_c^4 + \\
 & + \sigma \epsilon_p T \left[\frac{1}{1 - R(1 - \epsilon_p)} \right] T_a^4 - h_2 (T_p - T_{fm}) - U_b (T_p - T_a) + S = 0 \quad (4.2)
 \end{aligned}$$

Para o ar:

$$h_1 (T_c - T_{fm}) + h_2 (T_p - T_{fm}) = q_u \quad (4.3)$$

sendo:

T_{fm} : temperatura média do fluído (°C)

q_u : energia útil recebida pelo fluído por unidade de área (Watt/m²)

S : radiação solar absorvida pela placa absorvente (Watt/m²)

h_w : coeficiente de troca de calor por convenção entre as superfícies externas do coletor solar e o ambiente, para velocidade do vento inferior a 5m/s (40 com:

$$h_w = 5,7 + 3,8v \quad (\text{Watt/m}^2 \text{°C})$$

h_1 : coeficiente de troca de calor por convecção, para escoamento turbulento do ar entre placas paralelas,

definido com relação ao diâmetro hidráulico (18), com:

$$h_1 = 0,0158 \left(\frac{2\dot{m}}{\mu_a W} \right)^{0,8} \cdot \frac{K_{is}}{2H} \quad (\text{Watt/m}^2\text{ }^\circ\text{C})$$

h_2 : coeficiente de troca de calor por convecção para escoamento turbulento do ar entre placas paralelas, considerado igual a h_1 .

U_b : coeficiente de troca de calor por condução na parte inferior do coletor solar, com:

$$U_b = \frac{K_{is}}{l_{is}}$$

em que:

v : velocidade do vento (m/s)

$\dot{m}$: vazão mássica do ar (Kg/S)

μ_a : viscosidade dinâmica do ar (kg/m.S)

W : largura do coletor solar (m)

K_{is} : condutividade térmica do isolante (Watt/m $^\circ\text{C}$)

H : altura da passagem do ar no coletor solar (m)

l_{is} : espessura do isolante (m)

Dentro do isolante não foi considerada a troca de calor por convecção, segundo McAdams (40) e Tabor (59), para espaço de ar confinado em que o número de Grashof é inferior a 2000, a transmissão de calor é essencialmente toda por condução.

4.2. Linearização do sistema de equações:

A linearização do sistema de equações nos termos de radiação infravermelha, tem como finalidade a simplificação das equações (4.1), (4.2) e (4.3) em termos de $(T_c - T_a)$ e $(T_p - T_a)$

$$-h_{r1ca}(T_c - T_a) + h_{r1pa}(T_p - T_a) + h_1(T_{fm} - T_c) - h_w(T_c - T_a) + MT_a^4 = 0 \quad (4.4)$$

$$h_{r2ca}(T_c - T_a) - h_{r2pa}(T_p - T_a) - h_2(T_p - T_{fm}) - U_b(T_p - T_a) + NT_a^4 + S = 0 \quad (4.5)$$

$$h_1(T_c - T_{fm}) + h_2(T_p - T_{fm}) = q_u \quad (4.6)$$

em que:

$$h_{r1ca} = \{2\sigma\epsilon_c - \sigma\epsilon_c(1-\epsilon_p)A\left[\frac{1}{1-R(1-\epsilon_p)}\right]\}(T_c^2 + T_a^2)(T_c + T_a)$$

$$h_{r1pa} = \sigma\epsilon_p A\left[\frac{1}{1-R(1-\epsilon_p)}\right](T_p^2 + T_a^2)(T_p + T_a)$$

$$h_{r2ca} = \sigma\epsilon_c \epsilon_p \left[\frac{1}{1-R(1-\epsilon_p)}\right](T_c^2 + T_a^2)(T_c + T_a)$$

$$h_{r2pa} = \{\sigma\epsilon_p - \sigma\epsilon_p^2 R\left[\frac{1}{1-R(1-\epsilon_p)}\right]\}(T_p^2 + T_a^2)(T_p + T_a)$$

$$M = \sigma A\left\{1 + \left[\frac{1}{1-R(1-\epsilon_p)}\right][T + \epsilon_c - \epsilon_p(T + \epsilon_c - 1)]\right\} - 2\sigma\epsilon_c$$

$$N = \sigma\epsilon_p \left[\frac{1}{1-R(1-\epsilon_p)}\right](\epsilon_c + \epsilon_p R + T) - \sigma\epsilon_p$$

4.3. Energia útil do fluído

O sistema representado pelas equações (4.4), (4.5) e (4.6), deve ser resolvido tal que a energia útil total recebida pelo fluído seja expressa como uma função de todos os termos do sistema exceto as temperaturas T_p e T_c . A resolução do sistema encontra-se no apêndice (A1).

$$Q_u = A_c F' [(S+C) - U_L (T_{fm} - T_a)] \quad (4.7)$$

sendo:

A_c : área da superfície do coletor solar (m^2)

F' : o fator de eficiência do coletor com relação ao fluído e o ambiente, com:

$$F' = \frac{h_1 h_{r1pa} + h_2 (h_{r1ca} + h_1 + h_w)}{[(h_{r1ca} + h_1 + h_w)(h_{r2pa} + h_2 + U_b) - h_{r1pa} \cdot h_{r2ca}]}$$

U_L : coeficiente global de perda de calor ($Watt/m^2 \text{ } ^\circ C$), com:

$$U_L = \frac{(h_{r1ca} + h_w + h_{r1pa}) [h_1 (h_{r2pa} + h_2 + U_b) + h_2 \cdot h_{r2ca}]}{[h_1 h_{r1pa} + h_2 (h_{r1ca} + h_1 + h_w)]} - \frac{(h_{r2ca} - h_{r2pa} - U_b) [h_2 (h_{r1ca} + h_1 + h_w) + h_1 h_{r1pa}]}{[h_1 h_{r1pa} + h_2 (h_{r1ca} + h_1 + h_w)]}$$

C : fator de ganho de energia proveniente do ambiente ($Watt/m^2$), com:

$$C = \left\{ \frac{h_2 [h_{r2ca} \cdot M + N (h_{r1ca} + h_1 + h_w)]}{[h_1 h_{r1pa} + h_2 (h_{r1ca} + h_1 + h_w)]} + \frac{h_1 [M (h_{r2pa} + h_2 + U_b) + N \cdot h_{r1pa}]}{[h_1 h_{r1pa} + h_2 (h_{r1ca} + h_1 + h_w)]} \right\} T_a^4$$

A energia útil do coletor também pode ser expressa pela seguinte equação (18):

$$Q_u = A_c F_R [(S+C) - U_L (T_e - T_a)] \quad (4.8)$$

sendo T_e a temperatura do fluido na entrada do coletor (°C), e F_R o fator de remoção de calor do coletor.

Define-se o fator de remoção de calor do coletor (F_R), como sendo uma quantidade que relaciona a energia real útil ganha de um coletor, para um ganho útil, se toda a superfície do coletor estivesse na temperatura de entrada do fluido (9, 39).

$$F_R = \frac{\dot{m} C_a}{A_c U_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_c U_L F'}{\dot{m} C_a}\right) \right] \quad (4.9)$$

sendo C_a o calor específico do ar (J/kg °C).

A energia útil recebida pelo fluido também pode ser expressa como sendo:

$$Q_u = \dot{m} C_a (T_s - T_a) \quad (4.10)$$

A temperatura do ar na saída do coletor solar é obtida das equações (4.8), (4.9) e (4.10).

$$T_s = T_a + \frac{(S+C)}{U_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_c U_L F'}{\dot{m} C_a}\right) \right] \quad (4.11)$$

A temperatura média do fluido pode ser calculada pelo método de Duffie (18), como sendo:

$$T_{fm} = T_a + \frac{Q_u}{A_c U_L F_R} \left(1 - \frac{F_R}{F'} \right) \quad (4.12)$$

A temperatura da cobertura transparente $\bar{T}_c$ é obtida da equação (4.4)

$$T_c = \frac{(h_{rlca} + h_w - h_{rlpa})T_a + h_{rlpa} \cdot T_p + h_l \cdot T_{fm} + MT_a^4}{(h_{rlca} + h_l + h_w)} \quad (4.13)$$

A temperatura da placa absorvente $\bar{T}_p$ é obtida da equação (4.6)

$$T_p = \frac{Q_u}{h_l A_c} + 2T_{fm} - T_c \quad (4.14)$$

4.4. Radiação solar sobre a superfície do coletor solar:

Para a obtenção da radiação solar na superfície do coletor solar, deve-se calcular o fator R_s de conversão de radiação em superfície horizontal para radiação em superfície inclinada (18)

$$R_s = \frac{\cos(\theta - i) \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin(\theta - i) \sin \delta}{\cos \theta \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \theta \cdot \sin \delta}$$

A radiação solar absorvida pela superfície do coletor é dada pela seguinte equação:

$$S = SH \cdot R_s \cdot \alpha \cdot T_{sc}$$

sendo:

θ : latitude do local

i : inclinação do coletor solar

δ : declinação, ou seja, posição angular do sol no meio dia solar, com respeito ao plano do equador, calculada pela equação:

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left[\frac{360(284 + n_d)}{365} \right]$$

ω : ângulo horário apêndice (A2).

SH: radiação solar incidente em superfície horizontal.

α : fator de absorção da superfície absorvente.

T_{sc} : fator de transmitância da cobertura transparente para radiação solar.

em que n_d é o número de dias transcorrido do ano.

4.5. Rendimentos do coletor solar:

Rendimento instantâneo (η_{ins}), corresponde a energia útil em relação a energia recebida no referido instante:

$$\eta_{ins} = \frac{Q_u}{A_c \cdot (SH \cdot R_s + C)}$$

Rendimento solar diário (η_{sd}), corresponde a energia útil em relação a energia total recebida, desde o instante do nascimento do sol, t_1 , até o pôr do sol, t_2 .

$$\eta_{sd} = \frac{\sum_{t_1}^{t_2} Q_u}{\sum_{t_1}^{t_2} A_c (SH \cdot R_s + C)}$$

Como o sistema é dimensionado para regime permanente, e não considera armazenamento de energia, após o pôr do sol a energia útil fica nula, com a temperatura do ar na saída do coletor solar igualando-se a temperatura do ar na entrada.

4.6. Modelos climatológicos usados no coletor solar

A temperatura e a umidade do ar, na secagem com coletor solar, são dependentes das condições ambientais (radiação solar, temperatura ambiente e umidade relativa), sofrendo variações em função do tempo.

As condições ambientais podem variar não apenas diariamente, mas a cada hora. Especialmente a radiação solar, que varia de instante para instante, dependendo do surgimento de nuvens.

Assim sendo, as variações instantâneas dessas condições são importantes na simulação matemática do sistema total coletor solar-secador.

Para este fim, foram escolhidos alguns modelos de dados climatológicos reais diários de radiações solares, temperaturas ambientes e umidades relativas em função do tempo (Instituto Agronômico de Campinas).

As figuras 4.2, 4.3 e 4.4 mostram as radiações solares em superfícies horizontais dos dias 11/04, 28/04 e 08/05/79, chamados modelos climatológicos I, II e III respectivamente.

As figuras 4.5 e 4.6 mostram as temperaturas ambientes e umidades relativas para os três modelos que correspondem aos mesmos dias das referidas radiações solares.

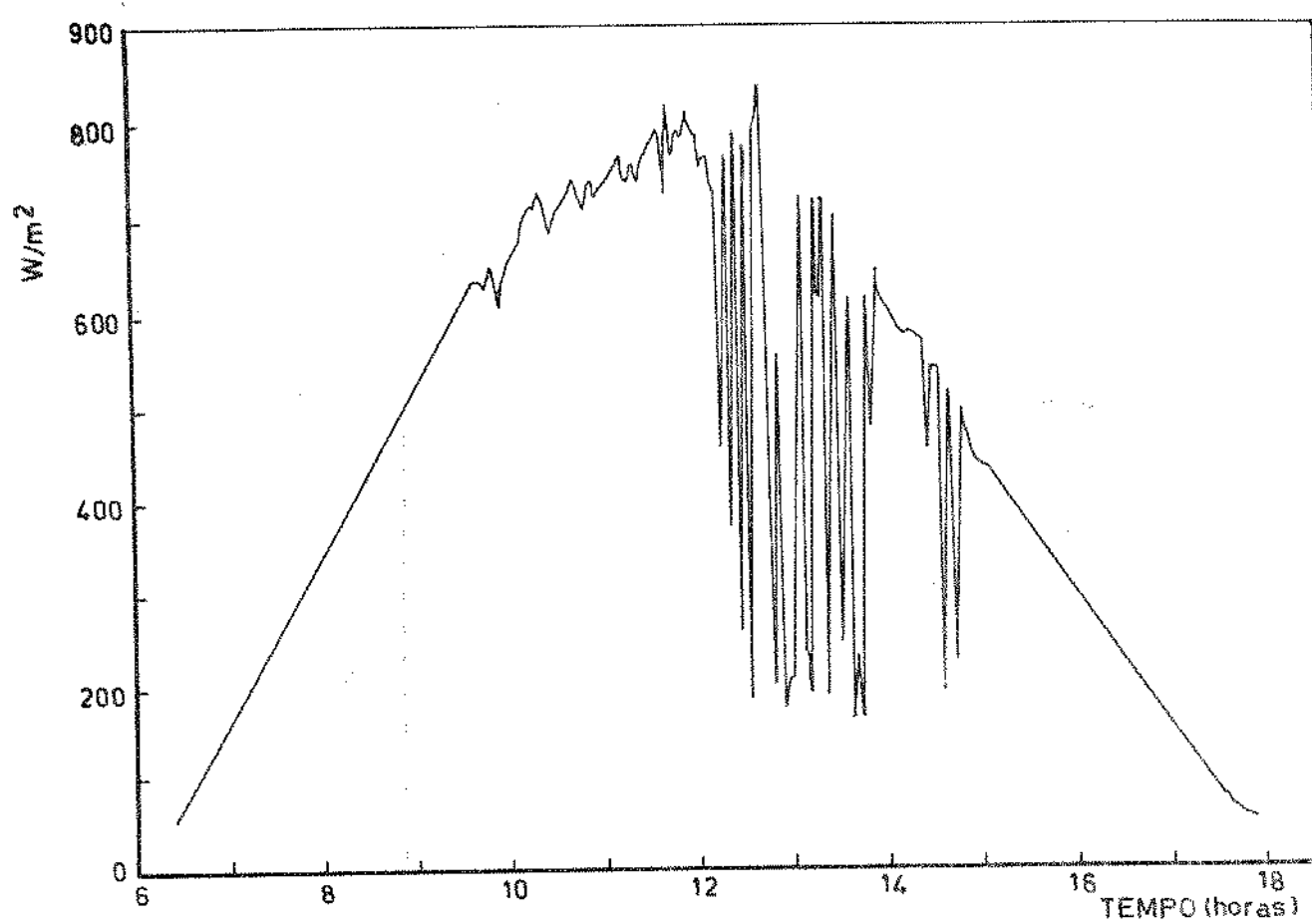


FIGURA 4.2. Radiação solar do dia 11/04/79 (Modelo I) em função do tempo.

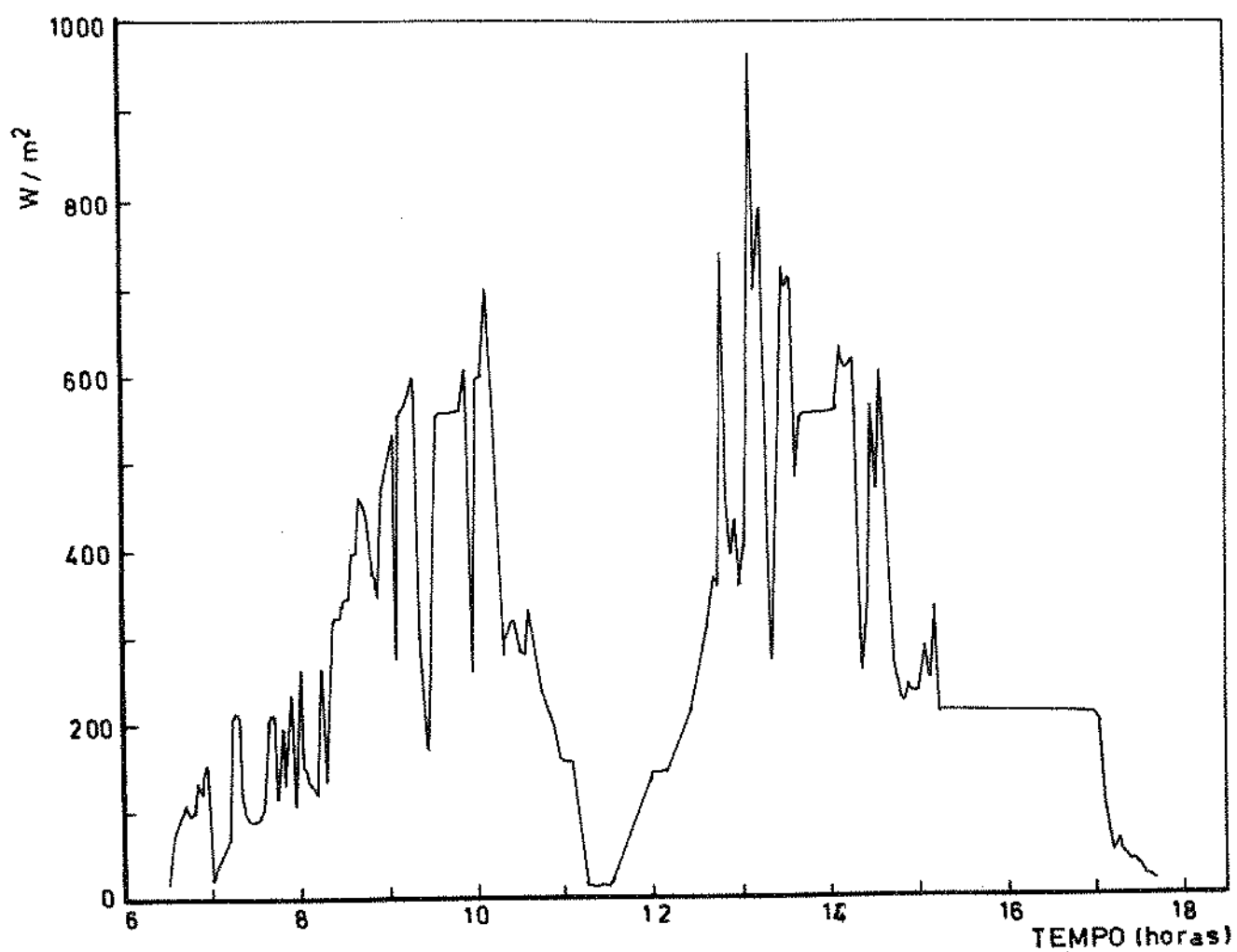


FIGURA 4.3. Radiação solar do dia 28/04/79 (Modelo II) em função do tempo.

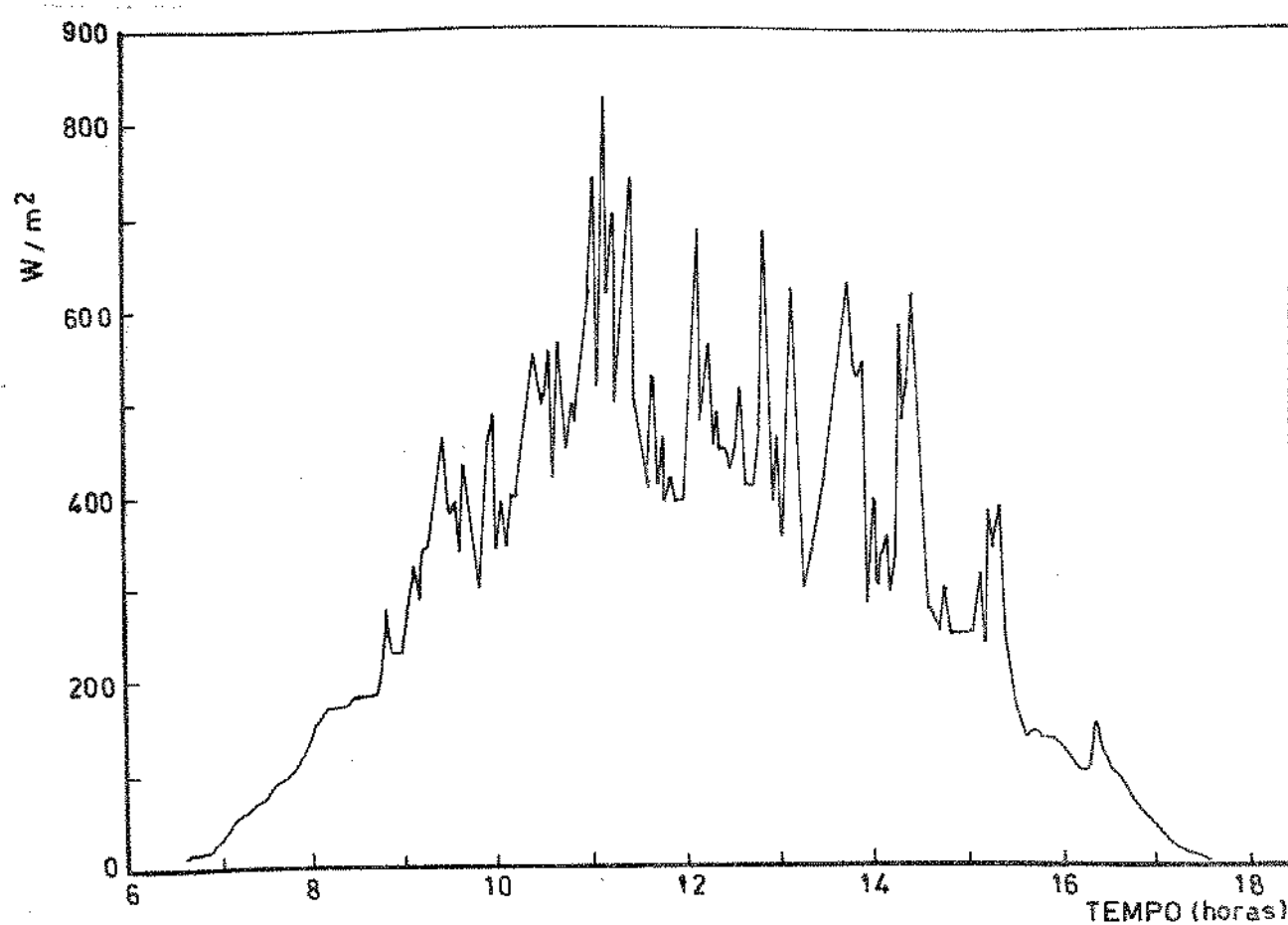


FIGURA 4.4. Radiação solar do dia 08/05/79 (Modelo III) em função do tempo.

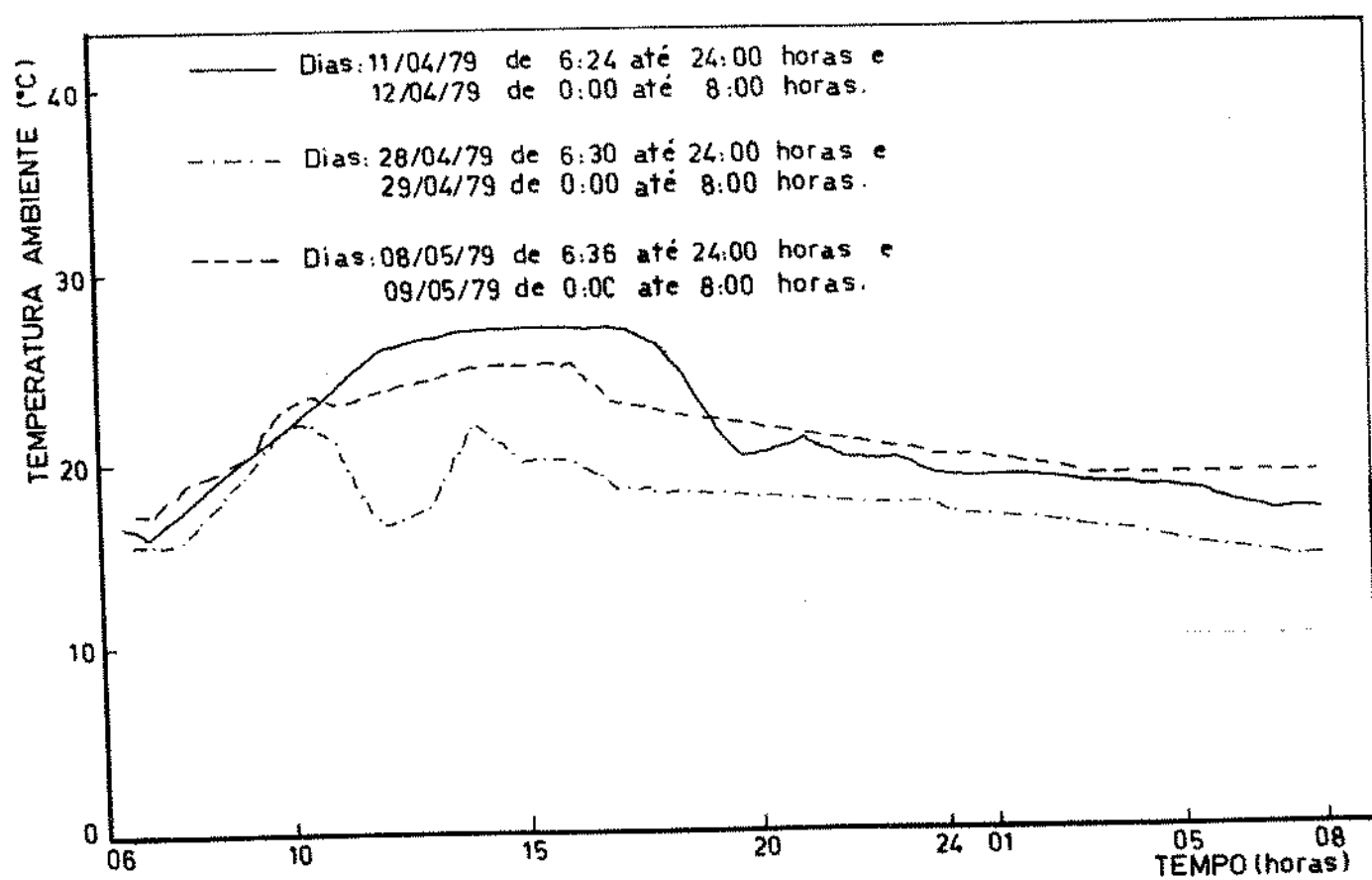


FIGURA 4.5. Temperaturas ambientes dos modelos I, II e III em função do tempo.

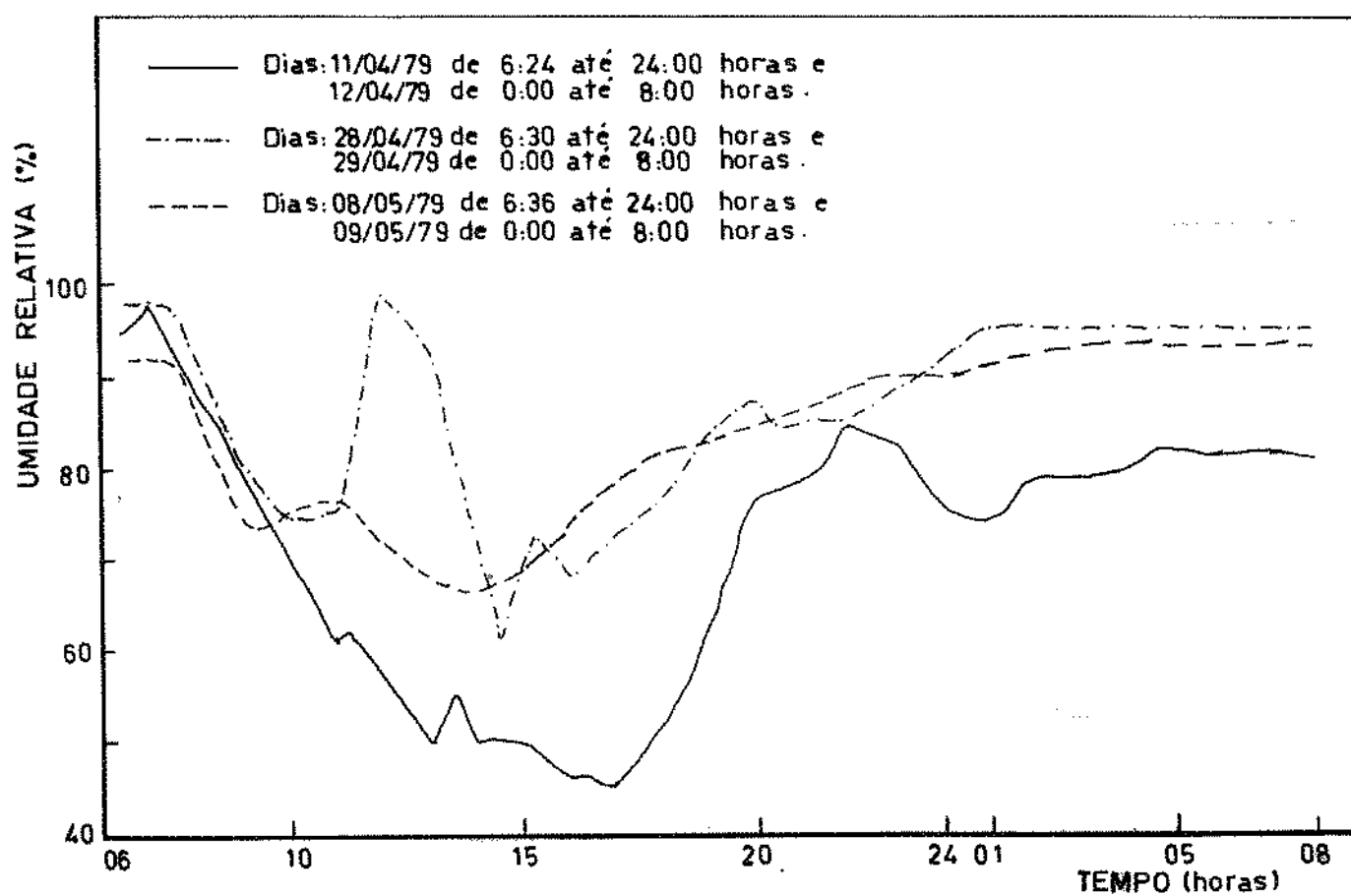


FIGURA 4.6. Umidades relativas dos modelos I, II e III em função do tempo.

A partir dos citados modelos climatológicos, foram feitas as leituras das radiações solares, temperaturas ambientes e umidades relativas de três em três minutos e arquivados em um banco de dados.

4.7. Razão de mistura e vazão do ar

Para cada valor da temperatura ambiente lida do arquivo, calcula-se a pressão de vapor saturado correspondente (11).

$$P_{vs} = \exp \left[54,63 - \frac{12301,63}{(1,8T_a + 492)} - 5,19 \ln(1,8T_a + 492) \right]$$

Com a pressão de vapor saturado (P_{vs}) calculada, e a umidade relativa (UR) lida do arquivo, determina-se a razão de mistura do ar (RM).

$$RM = \frac{0,622 \cdot UR \cdot P_{vs}}{P_{atm} - UR \cdot P_{vs}}$$

sendo P_{atm} a pressão atmosférica local (mm Hg).

Para obter-se a vazão mássica do ar na entrada do coletor solar, determina-se o volume específico do ar V_{esp} (m^3/kg de ar seco) utilizando a temperatura ambiente do arquivo.

$$V_{esp} = \frac{R_a \cdot T_a}{P_{atm}} (1 + 1,608 RM)$$

sendo R_a a constante para o ar seco ($287J/kg^{\circ}K$).

Pode-se, portanto, calcular a vazão mássica do ar,

a partir da vazão volumétrica Q_v (m^3/min) e do volume específico V_{esp} :

$$\dot{m} = \frac{Q_v}{V_{esp}} \cdot \frac{1}{60}$$

Com os dados arquivados, e através do programa elaborado para o coletor solar tipo "A" regime permanente, apêndice (B2), foram calculados todos os componentes do coletor solar, em intervalos de três minutos. A razão de mistura e temperatura do ar na saída do coletor solar, foram arquivadas em um banco de dados, e posteriormente usados na simulação matemática da secagem.

Para cada modelo climatológico, após o por do sol, a radiação solar foi considerada igual a zero, para a temperatura ambiente e umidade relativa, foram feitas as leituras no intervalo de uma hora. O programa do apêndice (B2), após este horário, chama os dados do arquivo e interpola para cada três minutos.

5. ESTUDO DO COLETOR SOLAR TIPO "A" EM REGIME TRANSITÓRIO

Quando um sistema é aquecido ou resfriado, antes que ele alcance o estado de equilíbrio, a sua temperatura em vários pontos varia com o tempo. Uma vez que uma variação de temperatura indica uma variação de energia interna, conclui-se que a energia recebida ou cedida pelo sistema, faz parte da variação do fluxo de calor, e o regime é considerado transitório (7, 19).

Os inúmeros trabalhos existentes para calcular os desempenhos dos coletores solares planos, baseiam-se em estado estacionário. Entretanto, o dimensionamento de coletores solares em condições intermitentes de radiação solar, exige o conhecimento de seu comportamento transitório (23, 34, 63).

5.1. Balanco de energia do coletor solar tipo "A" em regime transitório:

O balanço de energia deste coletor foi feito para a cobertura transparente, o fluído e o isolante, conforme figura 5.1.

A espessura total (l_{is}) do isolante foi dividida em "n" camadas de espessura Δl , exceto a primeira e a última que tem espessuras $\Delta l/2$.

As temperaturas das camadas do isolante, foram expressas por:

T_{is1} , T_{is2} , T_{is3} , ..., T_{isn-1} e T_{isn} , respectivamente.

Explicitando a temperatura da cobertura transparente $T_{c,t+\Delta t}$:

$$T_{c,t+\Delta t} = \frac{(h_{rlca} + h_w - h_{rlpa})T_{a,t+\Delta t} + h_{rlpa} \cdot T_{isl,t+\Delta t} + h_l T_{fm,t+\Delta t} + MT_{a,t+\Delta t}^4}{(h_{rlca} + h_w + h_l)} \quad (5.2)$$

Equações das transferências de calores nas camadas do isolante:

O fluxo de calor para cada camada é calculado através do princípio das diferenças finitas, em regime transitório.

Para a primeira camada do isolante:

A superfície superior desta camada fica em contato com o fluxo de ar, cuja temperatura é T_{fm} .

$$\begin{aligned} \frac{\rho_{is} C_{is} \Delta l A_c}{2\Delta t} (T_{isl,t+\Delta t} - T_{isl,t}) &= h_2 A_c K_1 \cdot K_2 (T_{fm,t} - T_{isl,t}) + \\ &+ A_c h_{r2ca} (T_{c,t} - T_{a,t}) - A_c h_{r2pa} (T_{isl,t} - T_{a,t}) + A_c (N \cdot T_{a,t}^4) + \\ &+ A_c \cdot S + \frac{K_{is} A_c}{\Delta l} (T_{is2,t} - T_{isl,t}) \end{aligned}$$

Após algumas transformações algébricas, obtém-se a temperatura da primeira camada do isolante para o instante $t + \Delta t$:

$$T_{isl,t+\Delta t} = A_1 \cdot A_2 T_{fm,t} + A_1 \cdot A_3 T_{c,t} + (A_1 \cdot A_4 - A_1 \cdot A_3) T_{a,t} + A_1 \cdot T_{is2,t} +$$

$$+ A_1 \cdot A_5 (NT_{a,t}^4 + S) + (1 - A_1 \cdot A_2 - A_1 \cdot A_4 - A_1) T_{isi,t} \quad (5.3)$$

sendo:

$$A_1 = \frac{2K_{is} \Delta t}{\rho_{is} C_{is} (\Delta l)^2}, \quad A_2 = \frac{h_2 K_1 \cdot K_2 \Delta l}{K_{is}}, \quad A_3 = \frac{h_{r2ca} \Delta l}{K_{is}}$$

$$A_4 = \frac{h_{r2pa} \Delta l}{K_{is}} \quad \text{e} \quad A_5 = \frac{\Delta l}{K_{is}}$$

em que:

ρ_{is} : densidade do isolante (kg/m^3).

C_{is} : calor específico do isolante ($\text{J/kg } ^\circ\text{C}$)

K_1 : parâmetro de acréscimo da superfície do isolante (no caso pedra) em contato com o ar, comparada com a sua superfície plana.

K_2 : parâmetro de redução do fluxo de calor para o interior do isolante, devido as rugosidades da parte superior do isolante em contato com o ar, onde ocorre a condução do fluxo de calor pelas laterais.

Para a i-ésima camada do isolante:

$$\frac{\rho_{is} C_{is} \Delta l A_c}{\Delta t} (T_{isi,t+\Delta t} - T_{isi,t}) = \frac{K_{is} A_c}{\Delta l} (T_{isi-1,t} - T_{isi,t}) + \frac{K_{is} A_c}{\Delta l} (T_{isi+1,t} - T_{isi,t})$$

Por meio de alguns arranjos algébricos obtem-se:

$$T_{isi,t+\Delta t} = \frac{A_1}{2} (T_{isi+1,t} + T_{isi-1,t}) + (1-A_1)T_{isi,t} \quad (5.4)$$

Para a n-ésima camada do isolante:

A superfície inferior desta camada fica em contato com o ambiente, cuja temperatura é T_a .

$$\begin{aligned} \frac{\rho_{is} C_{is} \Delta l A_c}{2\Delta t} (T_{isn,t+\Delta t} - T_{isn,t}) &= \frac{K_{is} A_c}{\Delta l} (T_{isn-1,t} - T_{isn,t}) + \\ &+ h_w A_c (T_{a,t} - T_{isn,t}) + h_{ria} (T_{a,t} - T_{isn,t}) \end{aligned}$$

Arranjando os termos de maneira semelhante as anteriores, obtem-se:

$$T_{isn,t+\Delta t} = A_1 T_{isn-1,t} + A_1 \cdot A_6 T_{a,t} + (1-A_1-A_1 \cdot A_6) T_{isn,t} \quad (5.5)$$

sendo:

$$A_6 = (h_w + h_{ria}) \frac{\Delta l}{K_{is}}$$

onde:

h_{ria} : coeficiente de transferência de calor por radiação entre a superfície inferior do isolante e o ambiente, com $h_{ria} = \epsilon_p \sigma (T_{isn,t}^2 + T_{a,t}^2) (T_{isn,t} + T_{a,t})$

Equação de transferência de calor no ar:

Para o balanço do ar no instante $t+\Delta t$, tem-se a seguinte equação:

$$\dot{m}C_a(T_{s,t+\Delta t}-T_{a,t+\Delta t})=A_c h_1(T_{c,t+\Delta t}-T_{fm,t+\Delta t})-h_2 A_c K_1(T_{fm,t+\Delta t}-T_{isl,t+\Delta t}) \quad (5.6)$$

Explicitando a temperatura de saída do coletor solar na equação (5.6), obtém-se:

$$T_{s,t+\Delta t} = T_{a,t+\Delta t} + \frac{h_1 A_c}{\dot{m}C_a} (T_{c,t+\Delta t}-T_{fm,t+\Delta t}) - K \cdot K_1 (T_{fm,t+\Delta t}-T_{isl,t+\Delta t}) \quad (5.7)$$

Para o desenvolvimento da equação (5.6), considere-se $h_2 = K \cdot h_1$, onde K representa o acréscimo do coeficiente de troca de calor por convecção, devido a rugosidade da superfície do isolante (no caso pedra).

Para resolução das equações acima é necessário conhecer a temperatura média do ar T_{fm} .

5.2. Equação da temperatura média do ar:

A figura 5.2 representa o volume de controle do ar dentro do coletor solar.

Sendo L o comprimento total do coletor solar. A temperatura do ar na entrada de um volume de controle, para

um ponto qualquer na direção do fluxo, é $T_f|_x$, para um acréscimo Δx nesta direção tem-se $T_f|_{x+\Delta x}$, como sendo a temperatura do ar na saída do volume de controle.

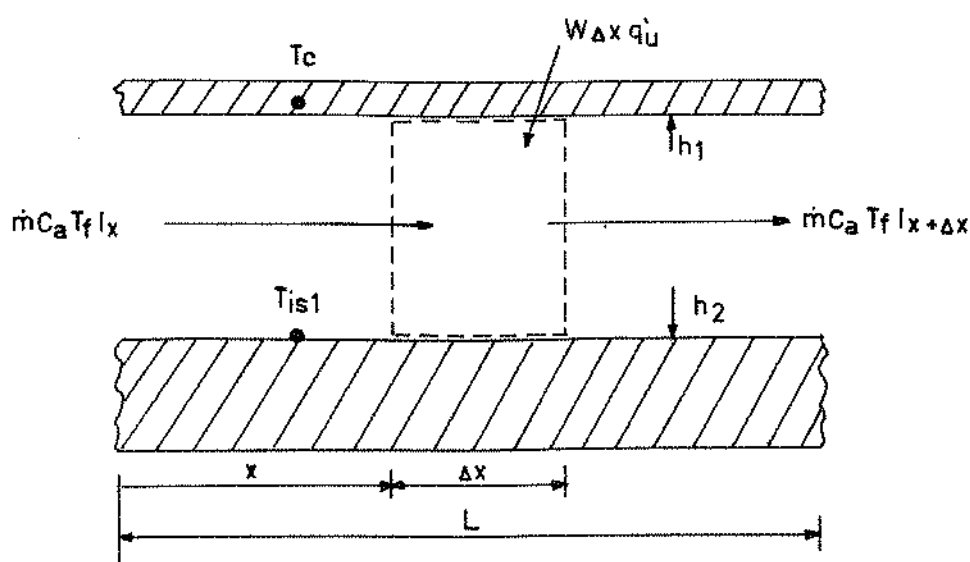


FIGURA 5.2. Balanço de energia do ar

Temperatura média do ar:

A partir da equação (5.6), obtem-se:

$$q_u = h_1 [(T_c - T_{fm}) - K \cdot K_1 (T_{fm} - T_{is1})] \quad (5.8)$$

fazendo $\theta_e = T_c - K \cdot K_1 (T_{fm} - T_{is1})$, e substituindo na equação (5.8):

$$q_u = h_1 (\theta_e - T_{fm}) \quad (5.9)$$

em que θ_e , é a temperatura de equivalência externa.

Para uma área elementar em um ponto qualquer do

ar dentro do coletor solar, a energia útil é definida como sendo:

$$q'_u = h_l(\theta_e - T_f) \quad (5.10)$$

Através da figura 5.2 o balanço da energia para um volume elementar do ar, também pode ser obtido por:

$$\dot{m}C_a T_f|_x - \dot{m}C_a T_f|_{x+\Delta x} + W \Delta x q'_u = 0 \quad (5.11)$$

Após o desenvolvimento do segundo termo da equação (5.11), dividindo o resultado por Δx , e encontrando o limite quando Δx tende a zero, chega-se:

$$q'_u = \frac{\dot{m} C_a}{W} \cdot \frac{d T_f}{dx} \quad (5.12)$$

Igualando as equações (5.10) e (5.12):

$$h_l(\theta_e - T_f) = \frac{\dot{m} C_a}{W} \frac{d T_f}{dx}, \text{ separando as variáveis, e fazen}$$

do a integração entre T_a e T_f , para um deslocamento do ar de zero até x :

$$\int_{T_a}^{T_f} \frac{d T_f}{(\theta_e - T_f)} = \int_0^x \frac{h_l W}{\dot{m} C_a} dx$$

$$\therefore (\theta_e - T_f) = (\theta_e - T_a) \exp \left(- \frac{h_l W}{\dot{m} C_a} \cdot x \right) \quad (5.13)$$

para $x = L$, significa $T_f = T_s$:

$$(\theta_e - T_s) = (\theta_e - T_a) \exp \left(- \frac{h_l A_c}{\dot{m} C_a} \right) \quad (5.14)$$

Substituindo o valor de Θ_e na equação (5.14), e explicitando T_s para um instante $t+\Delta t$:

$$T_{s,t+\Delta t} = T_{c,t+\Delta t} - K \cdot K_1 (T_{fm,t+\Delta t} - T_{isl,t+\Delta t}) - \\ - [T_{c,t+\Delta t} - T_{a,t+\Delta t} - K \cdot K_1 (T_{fm,t+\Delta t} - T_{isl,t+\Delta t})] \exp\left(-\frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a}\right) \quad (5.15)$$

Igualando as equações (5.7) e (5.15), obtem-se $T_{fm,t+\Delta t}$, como sendo:

$$T_{fm,t+\Delta t} = \left\{ \left[\exp\left(-\frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a}\right) - 1 \right] T_{a,t+\Delta t} + \left[1 - \frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a} - \exp\left(-\frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a}\right) \right] (T_{c,t+\Delta t} + K \cdot K_1 \cdot T_{isl,t+\Delta t}) \right\} / \left[K \cdot K_1 - (1 + K \cdot K_1) \left(\frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a} \right) - K \cdot K_1 \exp\left(-\frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a}\right) \right] \quad (5.16)$$

Para determinar o valor de $T_{fm,t+\Delta t}$ na equação (5.16), é necessário conhecer o valor de $T_{c,t+\Delta t}$. No entanto, $T_{c,t+\Delta t}$ é função de $T_{fm,t+\Delta t}$ na equação (5.2):

Em face as tais condições, deve-se obter $T_{c,t+\Delta t}$ por substituição de $T_{fm,t+\Delta t}$ da equação (5.16) na equação (5.2):

$$T_{c,t+\Delta t} = \left\{ \left[K \cdot K_1 - (1 + K \cdot K_1) \frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a} - K \cdot K_1 \cdot \exp\left(-\frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a}\right) \right] \cdot (h_{r1ca} + h_w - h_{r1pa}) + h_1 \left[\exp\left(-\frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a}\right) - 1 \right] T_{a,t+\Delta t} + \left[K \cdot K_1 - (1 + K \cdot K_1) \frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a} - K \cdot K_1 \exp\left(-\frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a}\right) \right] h_{r1pa} \right\} +$$

$$\begin{aligned}
& + h_1 \left[1 - \frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a} - \exp\left(-\frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a}\right) \right] K \cdot K_1 \} T_{isl, t+\Delta t} + \\
& + \left[K \cdot K_1 - (1 + K \cdot K_1) \frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a} - K \cdot K_1 \exp\left(-\frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a}\right) \right] (CM) T_{a, t+\Delta t}^4 / \\
& \{ \left[K \cdot K_1 - (1 + K \cdot K_1) \frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a} - K \cdot K_1 \exp\left(-\frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a}\right) \right] (h_{rlca} + h_w + h_1) - \\
& - h_1 \left[1 - \frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a} - \exp\left(-\frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a}\right) \right] \} \quad (5.17)
\end{aligned}$$

5.3. Rendimentos do coletor solar tipo "A" em regime transi- tório:

Para este coletor foram determinados três rendi-
mentos, sendo que o rendimento instantâneo (η_{ins}) e o rendi-
mento solar diário (η_{sd}) são definidos no item 4.4, no en-
tanto o terceiro denominado rendimento útil diário, define-
-se como sendo a energia útil em relação à energia total
recebida, desde o nascimento do sol t_1 , até o instante em
que a energia armazenada no isolante seja totalmente retira-
da, t_3 (considerado como 22 horas).

São as seguintes as equações dos dois primeiros
rendimentos:

$$\eta_{ins} = \frac{Q_u}{A_c (SH \cdot R_s + CC + CB)}$$

$$\eta_{sd} = \frac{\sum_{t_1}^{t_2} Q_u}{\sum_{t_1}^{t_2} A_c (SH \cdot R_s + CC + CB)}$$

sendo CC a troca de energia entre o ambiente e a superfície inferior do isolante, definido por:

$$CC = (h_w + h_{ria}) (T_{a,t} - T_{isn,t}).$$

O termo CB representa a troca de energia entre a cobertura transparente e o ambiente, e entre a placa absorvente e o ambiente, sendo determinado no apêndice (A3).

O terceiro rendimento (útil diário), é representado pela seguinte equação:

$$\eta_{ud} = \frac{\sum_{t_1}^{t_3} Q_u}{\sum_{t_1}^{t_3} A_c (SH.R_s + CC + CB)}$$

Energia armazenada:

A energia armazenada, e portanto disponível ao por do sol, corresponde a energia total recebida pelo coletor solar desde o nascimento até o pôr do sol, menos a quantidade de energia ganha pelo fluido e destinada à secagem durante este intervalo de tempo.

$$ARM = \sum_{t_1}^{t_2} [A_c (S + CC + CB) - \dot{m} C_a (T_{s,t} - T_{a,t})]$$

Nas equações acima os termos CC e CB são nulos quando a temperatura $T_{a,t}$ é inferior a $T_{isn,t}$ ou $T_{c,t}$, exceto na equação de ARM.

Após o pôr do sol, parte da energia armazenada é distribuída para uso, enquanto que o restante é perdido para o ambiente. A porção de energia para uso é dada por:

$$\eta_{\text{arm}} = \left[\sum_{t_2}^{t_3} \dot{m} C_a (T_{s,t} - T_{a,t}) \right] / \text{ARM.}$$

Assim podem ser calculados todos os termos do coletor solar no instante $t+\Delta t$, através do programa elaborado para o coletor solar tipo "A" regime transitório, apêndice (B3). A razão de mistura e temperatura do ar na saída do coletor solar são arquivadas em um banco de dados, para uso posterior na simulação matemática da secagem.

5.4. Estudo do isolante composto, como um meio semi-infinito:

Este coletor solar, também foi estudado com um isolante composto com dois tipos diferentes de materiais, sendo considerado como um meio semi-infinito.

Para o primeiro tipo que constitui a parte superior do isolante, utilizou-se pedra ou lã de vidro, enquanto que, na parte inferior o segundo material utilizado foi a terra.

As temperaturas das camadas do primeiro tipo do material são calculadas a partir das equações (5.3) e (5.4) até a última camada deste material.

As temperaturas das camadas do segundo tipo do material também são calculadas através da equação (5.4), substituindo-se nesta equação as propriedades físicas do primei

ro material, pelas propriedades físicas do segundo material (terra).

Este cálculo pode ser processado até a espessura desejada.

As temperaturas das camadas deste isolante composto, são determinadas através da substituição de suas equações no programa do apêndice (B3), fazendo-se o termo CC igual a zero.

6. ESTUDO DO COLETOR SOLAR TIPO "B" EM REGIMES PERMANENTE E TRANSITÓRIO

Este tipo de coletor solar é um dos mais simples sistemas de aproveitamento da energia solar para o aquecimento do ar. Em face a sua simplicidade de construção ele pode ser facilmente utilizado no processo de secagem na zona rural.

Com o objetivo de compará-lo com o coletor solar tipo A desenvolvido nos capítulos anteriores o referido coletor também foi estudado em regimes permanente e transitório.

6.1. Estudo do coletor solar tipo "B" em regime permanente

Através da figura 6.1, determinou-se o balanço de energia para o ar, placa absorvente e o isolante:

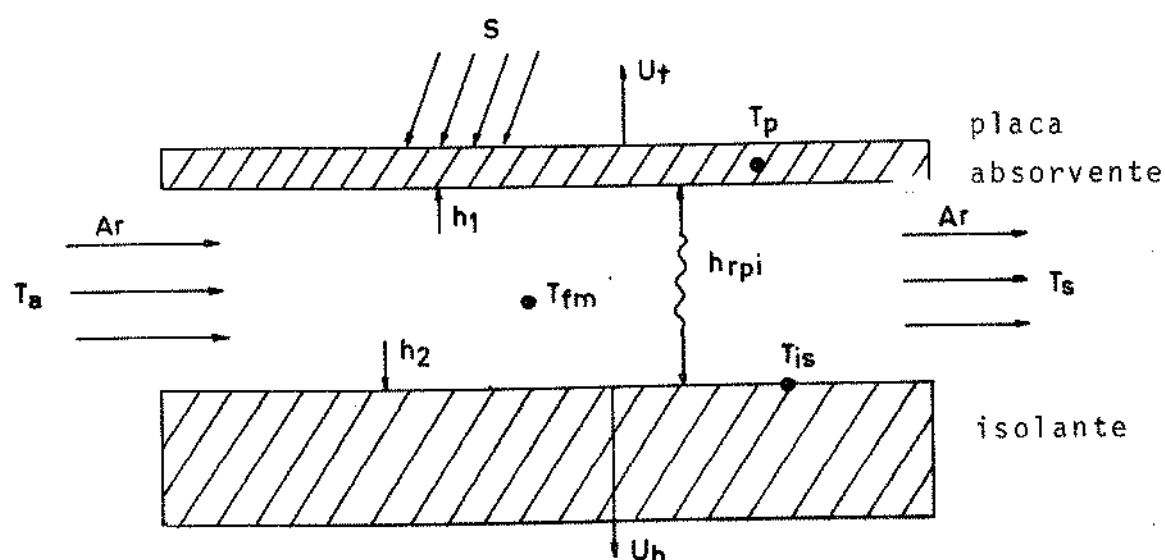


FIGURA 6.1. Coletor solar tipo "B" em regime permanente.

Para o ar:

$$h_1(T_p - T_{fm}) + h_2(T_{is} - T_{fm}) = q_u \quad (6.1)$$

Para a placa absorvente:

$$U_t(T_a - T_p) + h_1(T_{fm} - T_p) + h_{rpi}(T_{is} - T_p) + S = 0 \quad (6.2)$$

Para o isolante:

$$U_b(T_a - T_{is}) + h_2(T_{fm} - T_{is}) + h_{rpi}(T_p - T_{is}) = 0 \quad (6.3)$$

sendo:

$$U_t = h_w + h_{rpa}$$

$$h_{rpa} = \epsilon_{ps} \sigma (T_p^2 + T_a^2) (T_p + T_a)$$

$$h_{rpi} = \frac{\sigma (T_p^2 + T_{is}^2) (T_p + T_{is})}{\frac{1}{\epsilon_{pi}} + \frac{1}{\epsilon_{is}} - 1}$$

$$S = SH \cdot R_s \cdot \alpha$$

em que:

T_{is} : temperatura da superfície superior do isolante.

U_t : coeficiente de transferência de calor por convecção e radiação entre a superfície superior da placa absorvente e o ambiente.

h_{rpa} : coeficiente de transferência de calor por radiação entre a superfície superior da placa absorvente e o ambiente.

h_{rpi} : coeficiente de transferência de calor por radiação entre a placa absorvente e o isolante.

ϵ_{ps} : emissividade da superfície superior da placa absorvente.

ϵ_{pi} : emissividade da superfície inferior da placa absorvente.

6.1.1. Energia útil do coletor:

As três equações (6.1), (6.2) e (6.3), devem ser resolvidas tal que a energia útil recebida pelo fluido, se ja expressa como função de U_t , U_b , h_1 , h_2 , h_{rpi} , T_{fm} e T_a .

Através do método usado no capítulo 4, pode obter-se a seguinte equação:

$$Q_u = A_c F' [S - U_L (T_{fm} - T_a)] \quad (6.4)$$

sendo:

$$F' = \frac{h_1 (U_b + h_2 + h_{rpi}) + h_2 \cdot h_{rpi}}{(U_t + h_1 + h_{rpi}) (U_b + h_2 + h_{rpi}) - h_{rpi}^2}$$

$$U_L = \frac{h_1 [U_b h_{rpi} + U_t (U_b + h_2 + h_{rpi})] + h_2 [U_b (U_t + h_1 + h_{rpi}) + U_t h_{rpi}]}{h_1 (U_b + h_2 + h_{rpi}) + h_2 h_{rpi}}$$

6.1.2. Temperaturas médias dos componentes do coletor solar:

A temperatura do ar na saída do coletor é obtida de maneira idêntica a do capítulo 4:

$$T_s = T_a + \frac{S}{U_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{W.L.U_L F'}{m C_a} \right) \right] \quad (6.5)$$

A temperatura média do fluído é determinada usando-se o método empregado na equação (4.12)

$$T_{fm} = T_a + \frac{Q_u}{A_c U_L F_R} \left(1 - \frac{F_R}{F'} \right) \quad (6.6)$$

As temperaturas médias do isolante e da placa absorvente são obtidas através das equações (6.3) e (6.1), para $h_1 = h_2$:

$$T_{is} = \frac{h_1 T_{fm} + U_b T_a + h_{rpi} \cdot T_p}{(U_b + h_1 + h_{rpi})} \quad (6.7)$$

$$T_p = \frac{Q_u}{h_1 A_c} + 2T_{fm} - T_{is} \quad (6.8)$$

Rendimentos do coletor solar:

Os rendimentos instantâneo (η_{ins}) e solar diário (η_{sd}) deste coletor, são definidos e calculados como os do item 4.4, sendo que, para este caso os denominadores dos rendimentos não têm o termo C.

6.2. Estudo do coletor solar tipo "B" em regime transitório

As equações a seguir representam o balanço de energia para a placa absorvente, o ar e o isolante (figura 6.2).

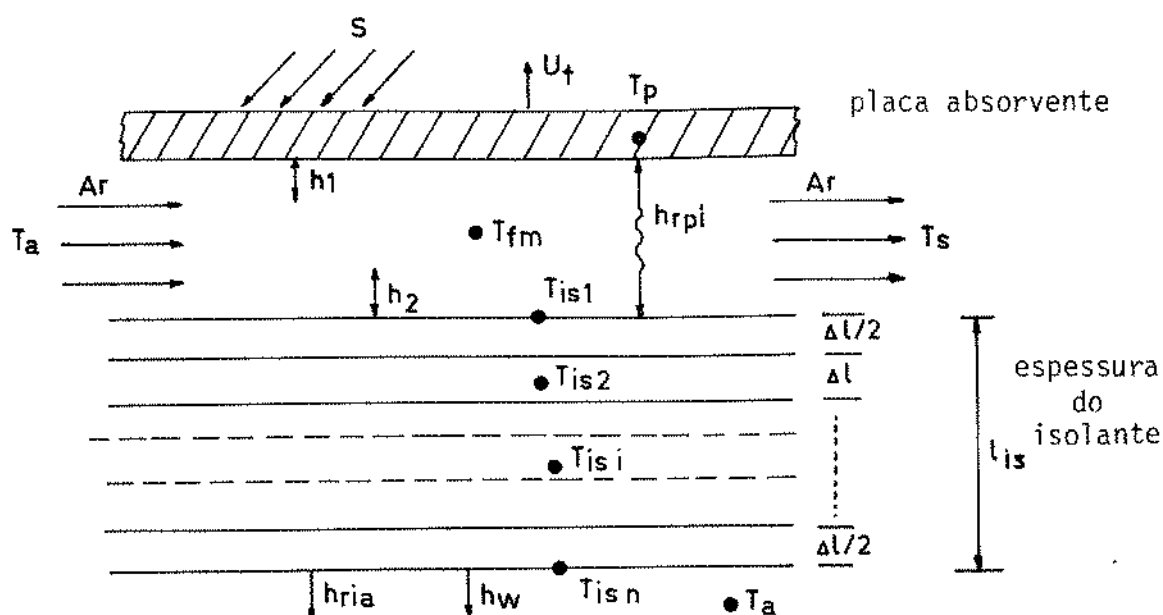


FIGURA 6.2. Coletor solar tipo "B" em regime transitório.

Para a placa absorvente:

Para a placa absorvente considerou-se o calor armazenado, em virtude do alto calor específico (exp. metal), apesar da pequena espessura da placa:

$$(mc)_p \frac{(T_{p,t+\Delta t} - T_{p,t})}{\Delta t} = [S - U_t(T_{p,t} - T_{a,t}) - h_1(T_{p,t} - T_{fm,t}) - h_{rpi}(T_{p,t} - T_{is1,t})] A_c \quad (6.9)$$

sendo $(mc)_p$ a capacidade térmica da placa absorvente, em que m e c , são massa e calor específico da placa absorvente, respectivamente.

Explicitando $T_{p,t+\Delta t}$ da equação (6.9):

$$T_{p,t+\Delta t} = T_{p,t} + \frac{\Delta t A_c}{(mc)_p} [S - U_t(T_{p,t} - T_{a,t}) - h_l(T_{p,t} - T_{fm,t}) - h_{rpi}(T_{p,t} - T_{isl,t})] \quad (6.10)$$

Para o ar:

$$\dot{m} C_a (T_{s,t+\Delta t} - T_{a,t+\Delta t}) = A_c h_l (T_{p,t+\Delta t} - T_{fm,t+\Delta t}) - K_1 A_c h_2 (T_{fm,t+\Delta t} - T_{isl,t+\Delta t}) \quad (6.11)$$

Explicitando $T_{s,t+\Delta t}$ da equação (6.11):

$$T_{s,t+\Delta t} = \frac{A_c h_l}{\dot{m} C_a} [(T_{p,t+\Delta t} - T_{fm,t+\Delta t}) - K_1 K_l (T_{fm,t+\Delta t} - T_{isl,t+\Delta t})] + T_{a,t+\Delta t} \quad (6.12)$$

Para o isolante:

Para obter-se as temperaturas das camadas do isolante, o mesmo foi dividido de modo idêntico ao do item 5.1.2.

Para a primeira camada do isolante:

$$\frac{\rho_{is} C_{is} A_c \Delta l}{2 \Delta t} (T_{isl,t+\Delta t} - T_{isl,t}) = h_2 K_1 \cdot K_2 A_c (T_{fm,t} - T_{isl,t}) + h_{rpi} A_c (T_{p,t} - T_{isl,t}) + \frac{K_{is} A_c}{\Delta l} (T_{is2,t} - T_{isl,t})$$

De maneira semelhante a equação (5.3), obtem-se:

$$T_{is1,t+\Delta t} = A_1 \cdot A_2 T_{fm,t} + A_1 \cdot P \cdot T_{p,t} + A_1 T_{is2,t} + (1 - A_1 \cdot A_2 - A_1 \cdot P - A_1) \cdot T_{is1,t} \quad (6.13)$$

$$\text{sendo } p = \frac{h_r p_i \Delta l}{K_{is}}$$

As equações para calcular as temperaturas das camadas intermediárias ($i = 2, 3, \dots, n-1$), e da camada final do isolante, são iguais as equações (5.4) e (5.5).

A equação da temperatura média do ar é necessária para resolver os balanços de energia acima, e é obtida de modo idêntico a da equação (5.16)

$$T_{fm,t+\Delta t} = \left\{ \left[\exp\left(-\frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a}\right) - 1 \right] T_{a,t+\Delta t} + \left[1 - \frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a} - \exp\left(-\frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a}\right) \right] \cdot (T_{p,t+\Delta t} + K \cdot K_1 T_{is1,t+\Delta t}) \right\} / \left[K \cdot K_1 - (1 + K \cdot K_1) \left(\frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a} \right) - K \cdot K_1 \exp\left(-\frac{h_1 A_c}{\dot{m} C_a}\right) \right] \quad (6.14)$$

Rendimentos do coletor solar:

Os rendimentos do coletor solar, neste caso são calculados a partir das equações do item 5.4, sendo que:

$$CB = U_t (T_{a,t} - T_{p,t})$$

O armazenamento de energia (ARM) e a porção disponível para uso (η_{arm}), são obtidos identicamente aos do item 5.5.

No processamento deste coletor solar, também foram utilizados os modelos climatológicos I, II e III, de modo semelhante aos demais, através dos programas para regime permanente apêndice (B4) e regime transitório apêndice (B5).

6.3. Estudo do isolante composto como um meio semi-infinito:

Para este coletor também foram desenvolvidos dois modelos matemáticos para o isolante, de modos idênticos aos do coletor solar tipo "A" regime transitório item 5.4.

7. SIMULAÇÃO MATEMÁTICA DE SECAGEM UTILIZANDO O MODELO DE MOREY PARA BAIXAS TEMPERATURAS

As temperaturas e razões de misturas do ar, calculadas nas saídas dos coletores solares, descritos nos capítulos anteriores e arquivadas em bancos de dados, foram utilizadas na simulação da secagem através do modelo de Morey (42) para baixas temperaturas.

A razão de mistura do ar na entrada do secador permaneceu a mesma de saída do coletor solar, enquanto a temperatura do ar é acrescida de $1,50^{\circ}\text{C}$, em virtude da ação do ventilador.

O modelo proposto por Morey para secagem a baixas temperaturas, é um aperfeiçoamento do modelo de Thompson (61), com a introdução de uma camada delgada.

Dependendo das condições climatológicas os coletores solares planos podem aquecer o ar até aproximadamente 20°C acima da temperatura ambiente (11). Como o modelo desenvolvido por Thompson foi para simular secagem com temperaturas próxima do ambiente, os coletores planos, apresentam-se como uma fonte alternativa para o aquecimento do ar aplicado neste processo.

Como o modelo de Thompson parte da hipótese que após um certo intervalo de tempo Δt , o produto e o ar entram em equilíbrio, torna-se necessário solucionar um conjunto de equações que envolve os seguintes balanços (46);

7.1. Balço de energia entre o ar e o produto:

$$0,24T_o + RM_o(588 + 0,45T_o) + C_{esp} \cdot T_{go} + (RM_f - RM_o)T_{go} =$$

$$0,24T_f + RM_f(588 + 0,45T_f) + C_{esp} \cdot T_f + \Delta h_{fg}(RM_f - RM_o) \quad (7.1)$$

sendo:

T_o : temperatura do ar no instante t ($^{\circ}C$)

RM_o : razão de mistura do ar no instante t (kg água / kg ar seco)

C_{esp} : calor específico do produto convertido para (Kcal / Kg ar seco $^{\circ}C$)

T_{go} : temperatura do produto no instante t ($^{\circ}C$)

T_f : temperatura do ar e do produto no instante $t + \Delta t$ ($^{\circ}C$)

RM_f : razão de mistura do ar no instante $t + \Delta t$ (kg água / kg ar seco)

Δh_{fg} : aumento do calor latente de vaporização (kcal/kg)

A equação do balanço de energia entre o ar e o produto, tem como finalidade calcular a temperatura no instante $t + \Delta t$ do ar e do produto.

O primeiro e o segundo termos de cada lado da equação (7.1) representam a entalpia no instante t e no instante $t + \Delta t$ do ar. O terceiro termo de cada lado é a energia contida no produto, antes e após a secagem por um intervalo de

tempo Δt . O quarto termo do lado esquerdo da igualdade é a quantidade de energia contida na água que está sendo evaporada. O último termo da equação é a quantidade de energia adicional necessária para evaporar a água do produto acima da quantidade necessária para evaporar a água livre (61).

7.2. Balanco de massa entre o ar e o produto:

$$RM_f - RM_o = \frac{(U - U_f) R_c}{100} \quad (7.2)$$

sendo:

U : teor de umidade do produto no instante t (%bs)

U_f : teor de umidade do produto no instante $t+\Delta t$ (%bs)

R_c : fator para conversão de unidades (kg matéria seca / kg ar seco)

O fator para conversão de unidades (R_c), é calculado pela seguinte equação:

$$R_c = \frac{\rho_p \cdot v_s \cdot A_s \cdot l_p}{Q_v \cdot \Delta t \cdot n \cdot 60}$$

em que:

ρ_p : densidade de matéria seca (kg/m^3)

v_s : volume específico do ar de entrada (m^3/kg)

A_s : área da secção transversal do silo (m^2)

l_p : altura total da camada do produto (m)

Q_v : vazão volumétrica do ar de entrada do silo (m^3/min)

Δt : intervalo de tempo (horas)

n : número de camadas do produto

A densidade de matéria seca foi determinada pela seguinte equação:

$$\rho_p = \frac{100 \cdot P}{100 + U_o}$$

sendo p o peso específico do produto (kg/m^3) e U_o a umidade inicial do produto (%bs).

A pressão de vapor do ar (mmHg) é calculada com os valores da razão de mistura do ar de entrada (RM_e), e a pressão atmosférica local (P_{atm}) em mmHg.

$$P_v = \frac{RM_e \cdot P_{atm}}{(RM_e + 0,622)}$$

Para obter-se o volume específico do ar de entrada foi utilizada a equação:

$$v_s = \frac{R_a \cdot (T_e + 273,16)}{133,322 (P_{atm} + P_v)}$$

sendo R_a a constante para o ar seco ($287J/kg^{\circ}K$) e T_e a temperatura do ar de entrada ($^{\circ}C$).

O aumento do calor latente de vaporização da água do milho é obtido pela equação proposta por Thompson et al (61), como sendo:

$$\Delta h_{fg} = (606 - 0,57T_0) \cdot 4,35 \cdot \exp(-0,2825 U).$$

O calor específico dos grãos de milho convertido para (kcal/kg de ar seco °C) é função do teor de umidade do produto (61), sendo expresso pela seguinte equação:

$$C_{esp} = \frac{[(0,35 + 0,851(0,01U))]R_c}{(1 - 0,01U)}$$

7.3. Umidade relativa do ar:

A umidade relativa do ar de secagem (UR_{ar}), é calculada como sendo:

$$UR_{ar} = \frac{P_{atm} \cdot RM_o}{(RM_o + 0,622) \cdot P_{vs}}$$

em que P_{vs} é a pressão de vapor de saturação à temperatura do ar (mm Hg).

Para efeito de cálculo no processo de secagens, se a umidade relativa do ar for maior ou igual a 100%, considera-se 99%.

A pressão de vapor de saturação é obtida pela equação de Wexler e Greenspan, referenciada por Wilhelm (64), para uma faixa de temperatura de 273,16 a 393,16 graus Kelvin, como sendo:

$$P_{vs} = 7,5006 \cdot \exp \left[- \frac{7511,52}{T_0} + 89,63121 + 0,02399897 \cdot T_0 - \right]$$

$$\begin{aligned}
 & - 1,1654551 \cdot 10^{-5} T_0^2 - 1,2810336 \cdot 10^{-8} \cdot T_0^3 + \\
 & + 2,0998405 \cdot 10^{-11} \cdot T_0^4 - 12,150799 \cdot \ln(T_0)]
 \end{aligned}$$

7.4. Umidade relativa de equilíbrio para o produto:

$$URE_s = 1 - \exp[-3,82 \cdot 10^{-5} \cdot (1,8T_0 + 82) \cdot U^2] \quad (7.3)$$

sendo U e T_0 o teor de umidade (%bs) e a temperatura do ar em graus centígrados (27,28).

No caso de reumidificação a umidade relativa de equilíbrio do produto (milho), é dada em % por:

$$URE_u = 1 - \exp[-1,045 \cdot 10^{-4} \cdot (1,8T_0 + 82) \cdot U^{1,72}] \quad (7.4)$$

Se $UR_{ar} < URE_s$, trata-se de secagem.

Se $UR_{ar} > URE_u$, trata-se de umidificação.

Se $UR_{ar} = URE$, o produto já está em equilíbrio com o ar.

Quando o equilíbrio ainda não foi alcançado, faz-se uso do seguinte artifício:

Se o processo estiver em fase de secagem, faz-se:

$$DEHF = 0,001 \quad \text{e} \quad RM_f = RM_o + DEHF$$

onde RM_o e RM_f são as razões de misturas do ar nos instantes t e t+Δt, respectivamente.

Se o processo estiver em fase de umidificação faz-se:

$$DEHF = -0,001 \quad \text{e} \quad RM_f = RM_o + DEHF$$

A temperatura do ar (T_f) é obtida pela sua exploração da equação do balanço de energia (7.1), como sendo:

$$T_f = [0,24T_o + RM_o(588 + 0,45T_o) + C_{esp}Tg_o + (RM_f - RM_o)Tg_o - 588RM_f - \Delta hf_g(RM_f - RM_o)] / (0,24 + 0,45RM_f + C_{esp}) \quad (7.5)$$

A umidade do grão (milho) é obtida pela equação do balanço de massa (7.2), como sendo:

$$U_f = U - \frac{(RM_f - RM_o)}{R} \quad (7.6)$$

Através dos valores acima calculados RM_f , T_f e U_f , calcula-se novamente URE_s e UR_{ar} (para o caso de secagem) e URE_u e UR_{ar} (para o caso de umidificação) de maneira idêntica a usada anteriormente.

Este processo iterativo continuará, até que seja satisfeita as condições:

$$-0,005 < URE_s - UR_{ar} < 0,005 \quad (\text{para o caso de secagem}) \quad \text{e}$$

$$-0,005 < UR_{ar} - URE_u < 0,005 \quad (\text{para o caso de umidificação}).$$

7.5. Equação da camada delgada:

O modelo de Thompson para baixas temperaturas, fun

damenta-se no fato de que o produto e o ar atinge um estado de equilíbrio após um período de secagem. Operando em condições onde este equilíbrio não seja alcançado, este modelo tende a superestimar a secagem.

Para simular melhor a secagem por camadas, Morey et al (42) incorporaram ao modelo de Thompson uma equação empírica de secagem para camada delgada, que prevê a perda de umidade do grão.

A equação escolhida para a secagem de milho, foi a de Misra e Brooker, referenciada por Pierce (44), para temperaturas de 21 a 43°C, como sendo:

$$RU = \exp (- Kt^n) \quad (7.7)$$

em que:

RU: razão de umidade do produto

t = tempo (horas)

$$K = 0,0821 + 1,37 \cdot 10^{-2}T - 1,31 \cdot 10^{-2}T^2$$

$$n = 0,375 + 8,76 \cdot 10^{-2} \ln (UR)$$

T: temperatura do ar (°C)

UR: umidade relativa do ar (%)

A razão de umidade do produto é obtida por:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_o - U_e}$$

sendo U_o e U_e o teor de umidade inicial e o de equilíbrio do produto respectivamente.

O teor de umidade de equilíbrio para o milho é obtido da equação (7.3), como sendo:

$$U_e = \left[\frac{-\ln(1 - UR_{ar})}{3,82 \cdot 10^{-5} (1,8T_o + 82)} \right]^{1/2}$$

A partir da equação (7.7), obtém-se o tempo equivalente de secagem:

$$t_{eq} = \left[-\frac{\ln(RU)}{K} \right]^{1/n}$$

Ao valor de t_{eq} calculado, soma-se um incremento de tempo Δt .

O valor do teor de umidade dos grãos é obtido pela colocação de $t = t_{eq} + \Delta t$, na equação (7.7):

$$U_f = (U_o - U_e) \exp(-Kt^n) + U_e$$

Através das equações (7.2) e (7.5), são calculados os valores de RM_f e T_f respectivamente.

Se o teor de umidade obtido pelo método de equilíbrio, for inferior ao obtido pelo método da camada delgada, toma-se como correto o teor de umidade no instante $t + \Delta t$ dos grãos, obtido pelo método da camada delgada.

Este processo é repetido para todas as camadas dos grãos e para cada incremento de tempo Δt , até que o teor de umidade final dos grãos, calculado como média das camadas,

seja menor que 13% b.u., e o teor máximo de umidade da camada superior, seja menor que 15,5% b.u. no final do dia, ou menor que 14,5% b.u. durante o dia. Este critério para o teor máximo de umidade existe para que não haja deterioração da camada superior do produto.

7.6. Deterioração do milho:

No modelo de equilíbrio para a secagem de milho, Thompson (60) introduziu um modelo de deterioração, também usado por Morey. Este modelo é baseado no trabalho desenvolvido por Steele (56), em que a perda de matéria seca depende da respiração do produto.

O modelo de deterioração prevê a perda de matéria seca dos grãos como função do tempo que o produto permanece sob determinadas condições de temperatura, teor de umidade e danos mecânicos.

$$PMS = 0,0884[\exp(0,006t-1)] + 0,00102t$$

sendo:

PMS: % de perda de matéria seca para o milho, com umidade de 25% b.u., temperatura de 15,6°C e 30% de danos.

t: tempo de exposição sob as citadas condições.

Para condições diferentes das citadas, deve-se calcular um tempo equivalente (t_{eq}) às condições de referência:

$$t_{eq} = \frac{\Delta t}{M_U \cdot M_T \cdot M_D}$$

em que:

Δt : período de tempo de exposição.

M_U : multiplicador de umidade.

M_T : multiplicador de temperatura.

M_D : multiplicador de danos mecânicos.

A equação que calcula o multiplicador de temperatura, varia em função da temperatura e teor de umidade dos grãos:

Para $T \leq 15,60^\circ\text{C}$ ou $U \leq 19\% \text{ b.u.}$

$$M_T = 128,76 \cdot \exp(-0,1458T - 2,592)$$

Para $T > 15,60^\circ\text{C}$ e $19\% \leq U \leq 28\%$

$$M_T = 32,3 \cdot \exp[(-0,1044T - 1,856)] + (U - 0,19) \cdot \exp\left[0,61 \cdot \frac{(1,8T - 28)}{60}\right]$$

Para $T > 15,60^\circ\text{C}$ e $U \geq 28\%$

$$M_T = 32,3 \cdot \exp(-0,1044T - 1,856) + 0,09 \cdot \exp\left[0,61 \cdot \frac{(1,8T - 28)}{60}\right]$$

sendo T e U a temperatura ($^\circ\text{C}$) e o teor de umidade dos grãos (% b.u.), respectivamente.

O multiplicador de umidade $\bar{e}$ é definido como sendo:

$$M_U = 0,103 \exp\left(\frac{455}{U+1,53}\right) - 0,00845 \cdot U + 1,558$$

para: $13\% \leq U \leq 28\%$

O multiplicador de danos mecânicos M_D , é assumido como sendo igual a 1 (um).

Para um dado instante do processamento da secagem, a perda de matéria seca é calculada com o tempo equivalente acumulado até o citado instante.

O processo de secagem ou reumidificação deve cessar quando a perda de matéria seca (PMS), atingir o valor de 0,5%, mesmo que o teor de umidade do milho seja superior a 13%.

Estudos desenvolvidos por Saul (no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, em 1968), indicam que com uma perda de matéria seca (PMS) de 0,5% o milho ainda conserva sua escala de classificação comercial. Acima deste limite, esta escala reduz-se com o percentual de PMS (60).

7.7. Sistema operacional de ventilador:

No período da noite e até mesmo nas primeiras horas da manhã do dia seguinte, ocorre uma queda na temperatura do ar, com uma conseqüente taxa de elevação da umidade relativa, estas ocorrências não são favoráveis ao processo de secagem, fazendo-se necessário um sistema de controle do ventilador durante este período.

Quando o teor médio de umidade do milho for superior a 16% b.u., o ventilador deve funcionar, mesmo durante a noite, para resfriamento dos grãos aquecidos devido à respiração.

Para o teor médio de umidade inferior a 16% b.u., durante a noite existe reumidificação nas camadas inferiores dos grãos, se o teor médio de umidade continuar decrescendo, deixa-se o ventilador ligado dia e noite.

Quando durante a noite este teor médio de umidade for crescente ou mesmo constante, a partir do dia seguinte, o ventilador não será mais ligado durante a noite (a partir das 20 horas).

O programa utilizado no processamento da secagem encontra-se no apêndice (B6).

8. EXECUÇÃO DA SIMULAÇÃO MATEMÁTICA DO SISTEMA TOTAL COLE- TOR SOLAR-SECADOR

Os modelos matemáticos desenvolvidos para os coletores solares tipos "A" e "B", foram simulados usando os dados dos modelos climatológicos I, II e III.

Através dos dados obtidos nas saídas dos coletores solares, simulou-se também o modelo de secagem.

Para a simulação dos coletores foram utilizados intervalos de três em três minutos para expressar as condições mais próximas possíveis dos modelos climatológicos.

Na simulação da secagem utilizou-se um intervalo de tempo (Δt) igual a 30 minutos, com o objetivo de reduzir o tempo de computação. A temperatura e a razão de mistura do ar usadas neste intervalo de tempo, correspondem as médias de 10 leituras consecutivas dos dados na saída do coletor solar.

Dados comuns aos dois tipos de coletores:

Comprimentos e larguras dos coletores: 20m e 3m

Altura da passagem do ar: 0,10m

Espessura do isolante (pedra): 6 e 15 cm

Espessura do isolante pedra (7,5cm) + terra(54cm)
e pedra (16,5cm) + terra (45cm)

Espessura do isolante lã de vidro: 6 cm

Espessura de cada camada dos isolantes: $\Delta l = 3\text{cm}$

Incremento de tempo: $\Delta t = 3$ minutos

Condutividade térmica aparente do isolante pedra ($K_{ap-ped} = 0,1053 \text{ Watt/m}^\circ\text{C}$), calculada pela equação:

$$K_{ap-ped} = \epsilon K_a + (1-\epsilon) K_{ped}$$

sendo:

K_a : condutividade térmica do ar igual a $0,0265 \text{ Watt/m}^\circ\text{C}$

K_{ped} : condutividade térmica da pedra igual a $0,125 \text{ Watt/m}^\circ\text{C}$

ϵ : porosidade do isolante pedra, igual a 0,2, com:

$$\epsilon = \frac{V_v}{V_T}$$

em que V_v e V_T , correspondem ao volume dos espaços vazios dentro do isolante, e volume total do isolante pedra.

Densidade aparente do isolante pedra ($\rho_{ap-ped} = 1888 \text{ kg/m}^3$), calculada pela seguinte equação:

$$\rho_{ap-ped} = (1-\epsilon) \rho_{ped}$$

sendo ρ_{ped} a densidade da pedra igual a 2360 kg/m^3 (53).

Calor específico da pedra igual a $850 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ (6, 55).

Condutividade térmica, densidade e calor específico da lã de vidro: $0,041 \text{ Watt/m}^\circ\text{C}$, 70 kg/m^3 e $657,2 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$, respectivamente (14).

Condutividade térmica, densidade e calor específico do isolante terra, com 20% de umidade: $0,346 \text{ Watt / m}^\circ\text{C}$,

722 kg/m³ e 1842 J/kg°C (14).

Ângulo de inclinação do coletor solar: 30°(ao norte)

Latitude de Campinas : -22,92°

Longitude de Campinas : 47,08°

Longitude padrão : 45°

Pressão atmosférica : 9601 kgf/m²

Velocidade do vento : 3 m/s

Dados pertencentes somente ao coletor tipo "A"

Coberturas de plásticos: P.V.C. e polietileno, com 0,30 e 0,20 mm de espessuras respectivamente.

Para o P.V.C., com relação a radiação infravermelha: emissividade (0,88), absorvância (0,88), refletância (0,06) e transmitância (0,06).

Para o polietileno, também com relação a radiação infravermelha: emissividade (0,29), absorvância (0,29), refletância (0,06) e transmitância (0,65).

Transmitância do P.V.C. e polietileno para radiação solar 0,90.

Vazão do ar 100 m³/min (também pertencente ao coletor tipo "B").

Modelo climatológico I (11/04/79), horário do nascimento e pôr do sol 6:24 e 17:54 horas (também pertencente ao coletor tipo "B").

Emissividade e absorvência da superfície absorvente do isolante (0,95).

Dados pertencentes somente ao coletor tipo "B"

Placa absorvente de alumínio:

Espessura: 2mm

Emissividade e absorvência: 0,95

Densidade: 2685 kg/m^3

Calor específico: $870 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$

Vazões do ar: 50, 100 e $150 \text{ m}^3/\text{min}$

Emissividade do isolante: 0,95

Horário do nascimento e pôr do sol, para os modelos climatológicos:

modelo I (11/04/79) 6:24 e 17:54 horas

modelo II (28/04/79) 6:30 e 17:42 horas

modelo III (08/05/79) 6:36 e 17:36 horas

Dados da secagem:

Quantidade do milho: 3, 10 e 50 toneladas.

Diâmetro do silo e altura da camada de milho, respectivamente: 3 ton. : 4,5 e 0,25m

10 ton. : 4,12 e 1,00m

50 ton. : 5,32 e 3,00m

Teor de umidade inicial e final do milho: 20% b.u e 13% b.u.

Vazões de ar de secagem: 50, 100 e $150 \text{ m}^3/\text{min}$

Acréscimo de tempo: $\Delta t = 30 \text{ min.}$

Número de camadas do milho igual a 10.

8.1. Resultados da simulação matemática do coletor solar tipo "A"

As figuras 8.1 e 8.2, mostram as temperaturas de saída do coletor solar em regime permanente, para coberturas transparentes de P.V.C. e polietileno, com o isolante lã de vidro de espessura de 6 cm. Através das referidas figuras observa-se que a temperatura de saída do coletor com cobertura de P.V.C., é superior a temperatura de saída do coletor com cobertura de polietileno, de aproximadamente 2 graus centígrados, o que já era esperado devido a superioridade das propriedades óticas do P.V.C., com relação as do polietileno, mostradas no capítulo 3.

As figuras 8.3 e 8.4 apresentam as temperaturas de saída do coletor solar, com isolante pedra de 6 cm de espessura, para as mesmas condições das figuras 8.1 e 8.2, respectivamente. A partir das figuras 8.3 e 8.4 pode ser tiradas conclusões semelhantes as das figuras 8.1 e 8.2.

Comparando-se as figuras 8.1 com 8.3 e 8.2 com 8.4, verifica-se que as curvas das temperaturas de saídas dos coletores solares para lã de vidro e pedra como isolantes, possuem comportamentos semelhantes, em face de não existir armazenamento de calor, e considerando-se apenas a condutividade térmica dos isolantes.

As figuras 8.5 e 8.6, mostram as temperaturas de saída do coletor solar regime transitório, para coberturas transparentes de P.V.C. e polietileno, com isolante lã de vidro de 6 cm de espessura, enquanto que as figuras 8.7 e

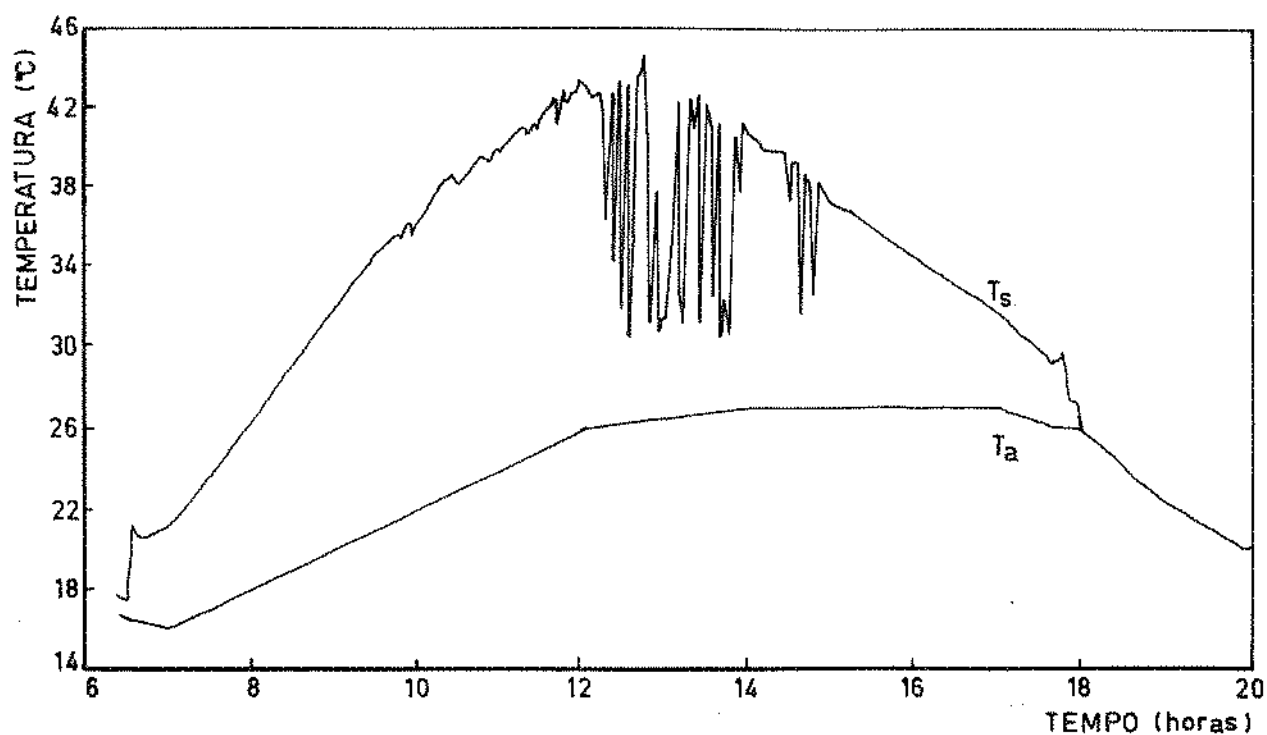


FIGURA 8.1. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime permanente, isolante lã de vidro (6cm), cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.

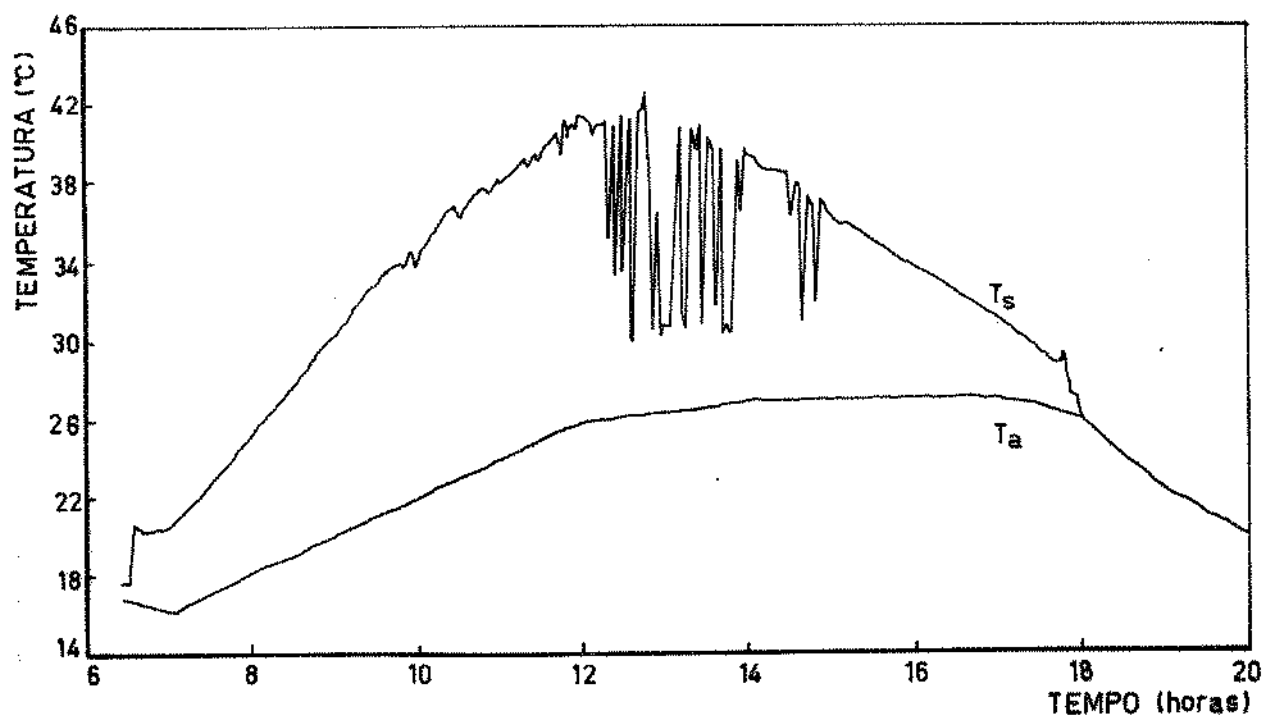


FIGURA 8.2. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime permanente, isolante lã de vidro (6cm), cobertura polietileno, (Mod-I), em função do tempo.

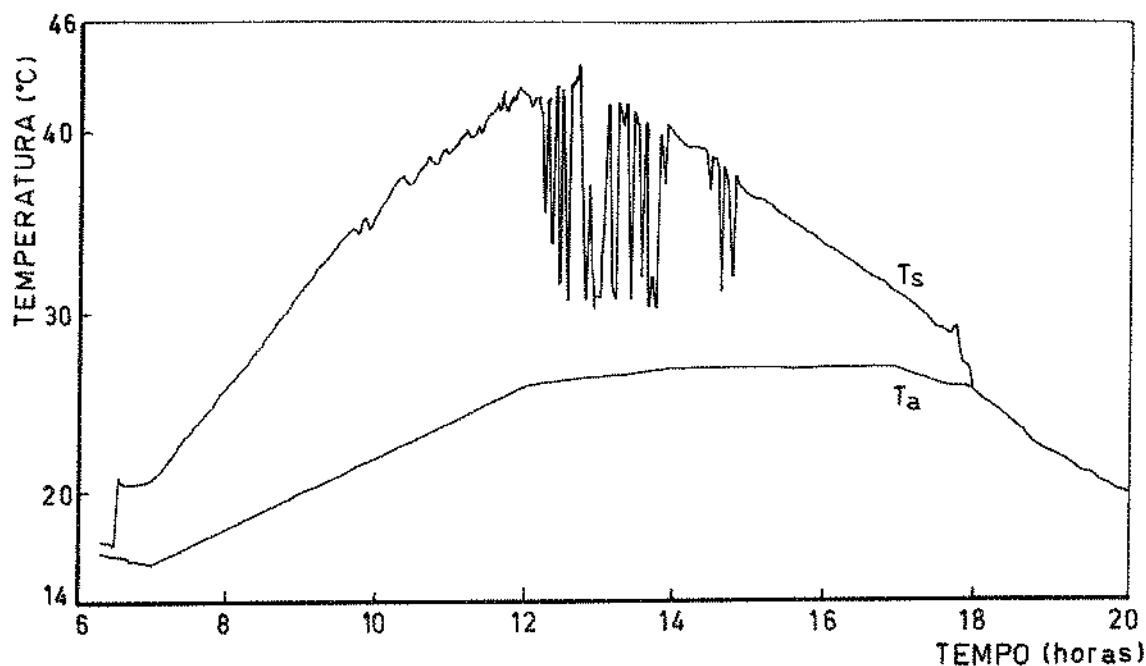


FIGURA 8.3. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a) em regime permanente, isolante pedra (6cm), cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.

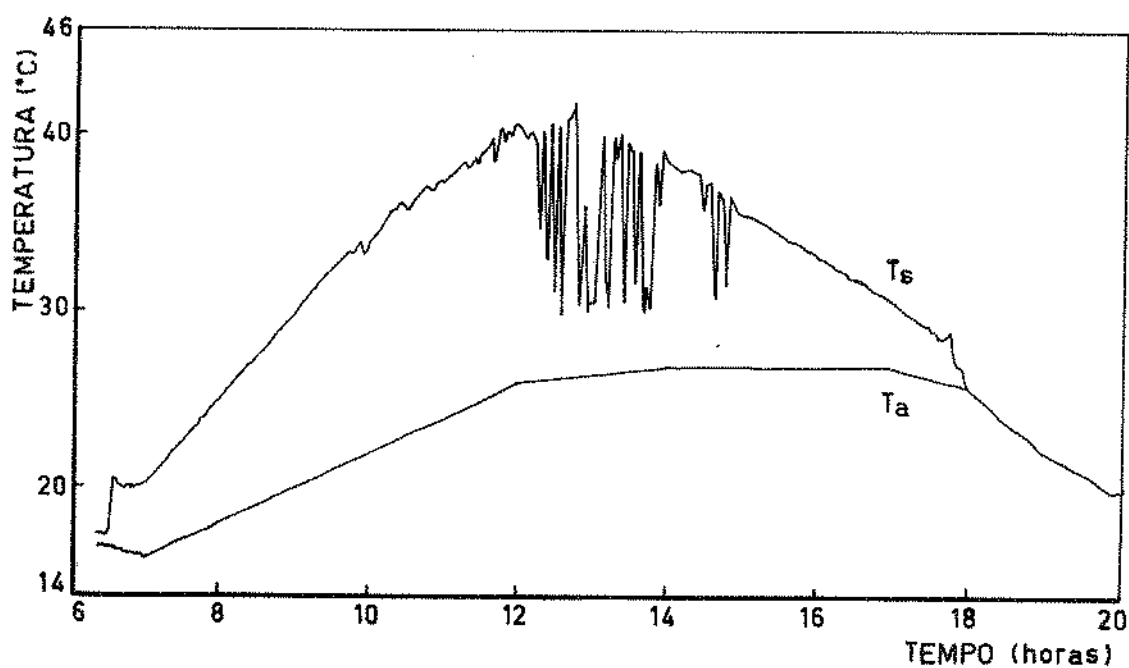


FIGURA 8.4. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime permanente, isolante pedra (6cm), cobertura polietileno, (Mod-I), em função do tempo.

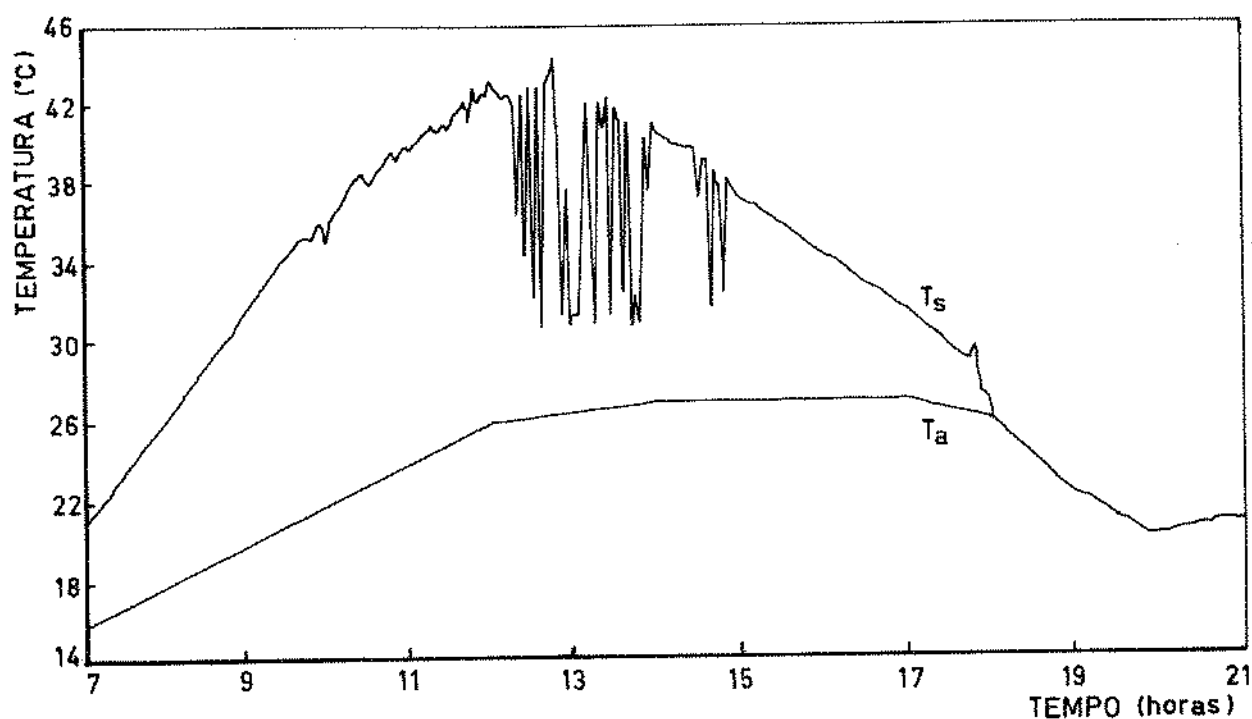


FIGURA 8.5. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante lã de vidro (6cm), cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.

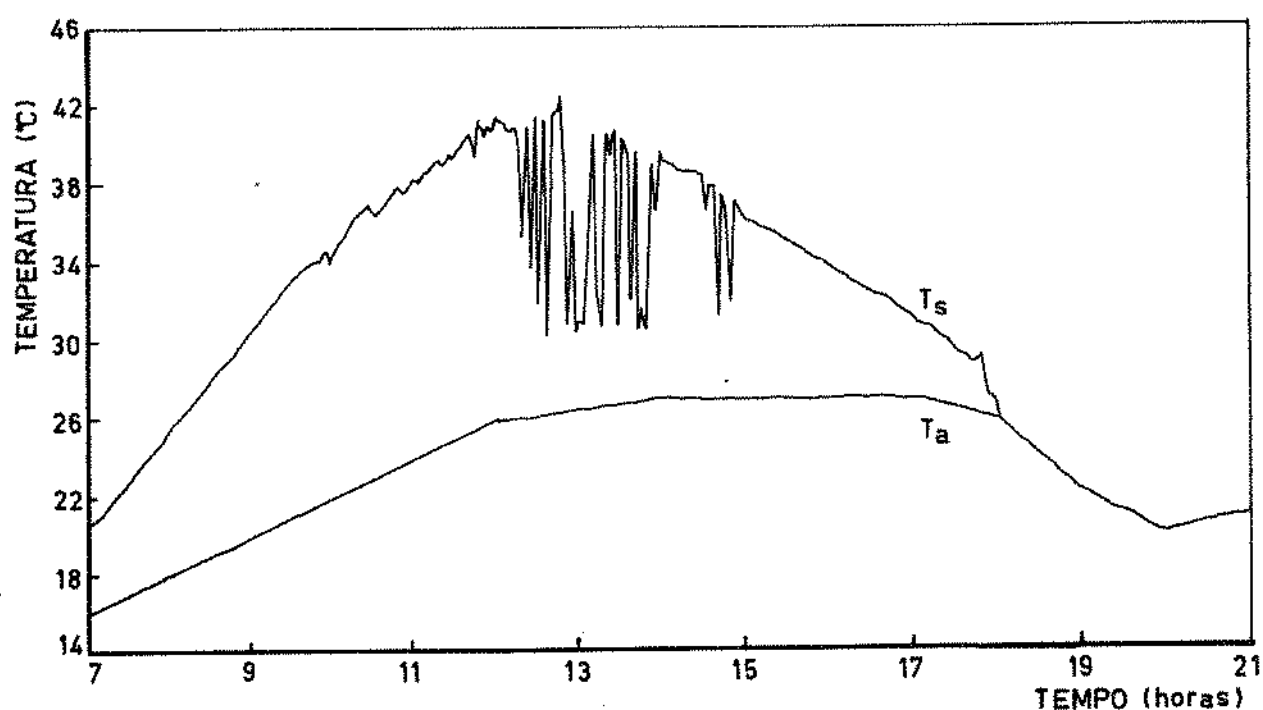


FIGURA 8.6. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante lã de vidro (6cm), cobertura polietileno, (Mod-I), em função do tempo.

8.8 mostram as temperaturas de saída do coletor solar com isolante pedra de 6 cm de espessura, para as mesmas condições das figuras 8.5 e 8.6.

Confrontando-se as figuras 8.5 e 8.7 e 8.6 e 8.8, observa-se uma grande diferença entre as curvas de temperaturas de saídas dos coletores solares para lã de vidro e pedra como isolantes, sendo que para o caso do isolante pedra durante a passagem de nuvens, ocorre um grande amortecimento das oscilações. Este fenômeno ocorre devido a alta capacidade térmica e armazenamento de calor da pedra, com relação a lã de vidro. Portanto conclui-se que a pedra atua como isolante mais adequado para o processo de secagem (com este coletor), devido as suas menores oscilações das temperaturas do ar na saída do coletor solar, evitando choques térmicos no produto de secagem.

As figuras 8.9 e 8.10 mostram as temperaturas de saída do coletor solar regime transitório, para o isolante pedra de 15 cm de espessura e coberturas de P.V.C. e polietileno, respectivamente.

Comparando-se as figuras 8.7 com 8.9 e 8.8 com 8.10, pode-se constatar que não existem diferenças entre as curvas das temperaturas das saídas dos coletores, com isto se deduz que a espessura do isolante (neste caso) não altera as citadas temperaturas, assim sendo, pode-se optar pelo isolante de 6 cm de espessura, tendo em vista o fator econômico do coletor.

No caso do isolante lã de vidro, para os regimes

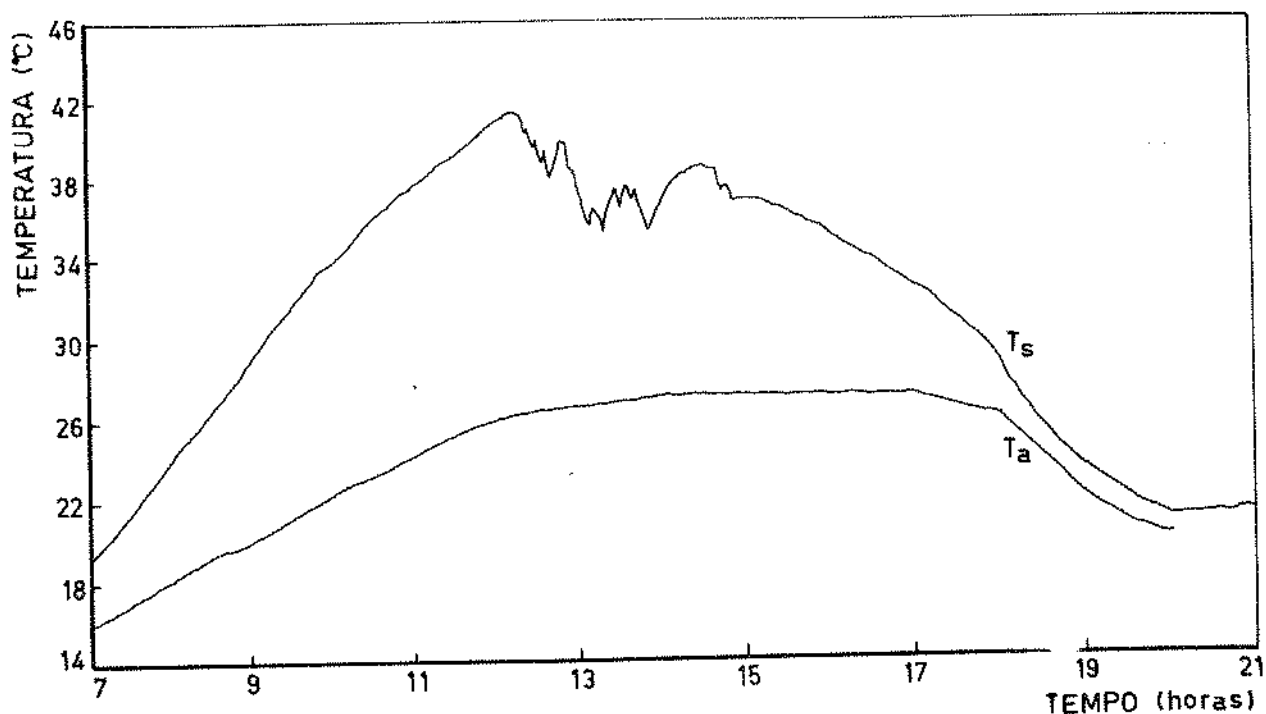


FIGURA 8.7. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante pedra (6 cm), cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.

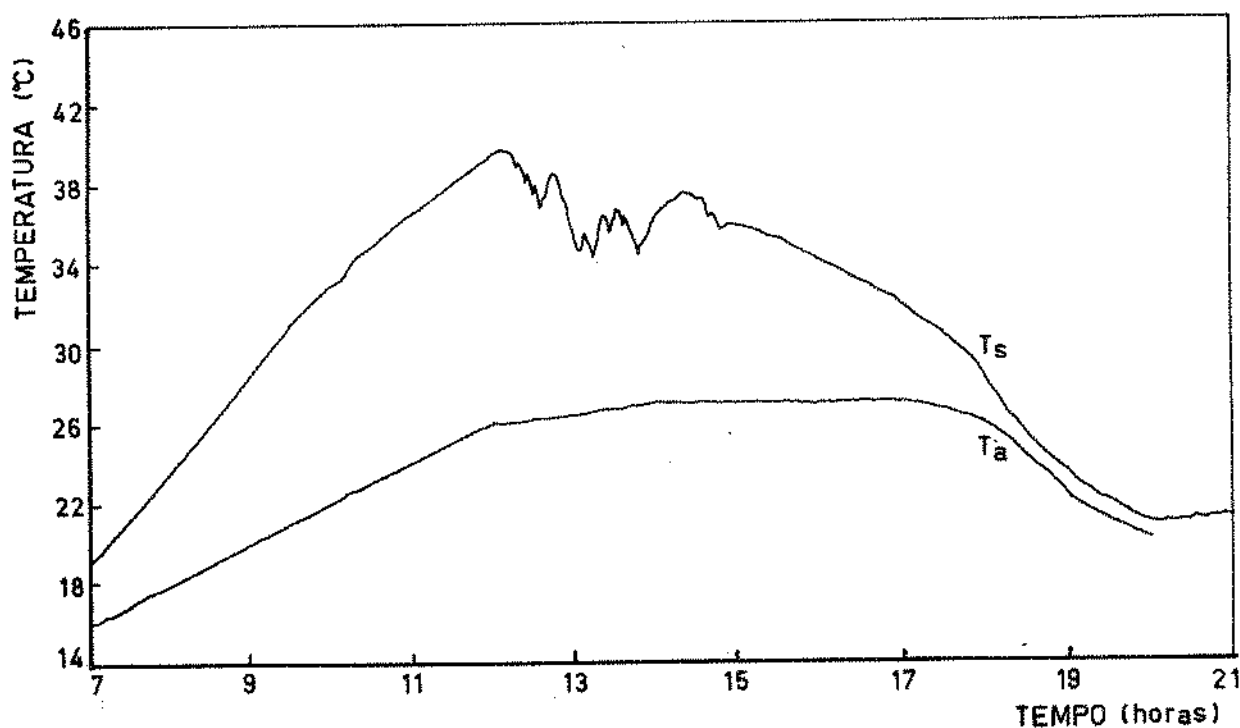


FIGURA 8.8. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante pedra (6 cm), cobertura polietileno, (Mod-I), em função do tempo.

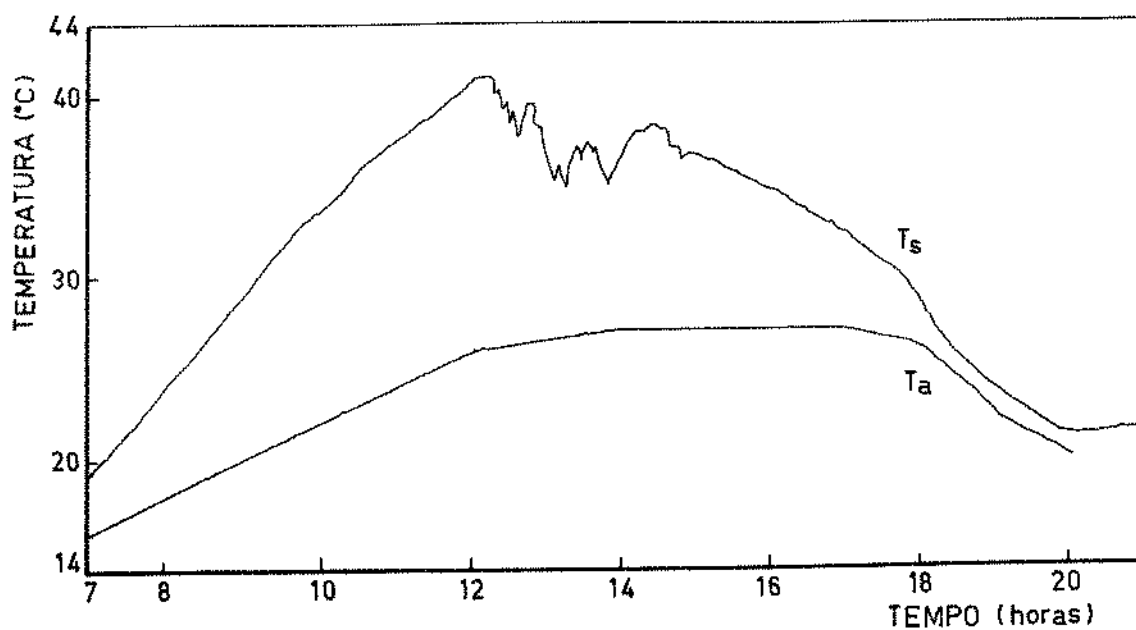


FIGURA 8.9. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante pedra (15cm), cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.

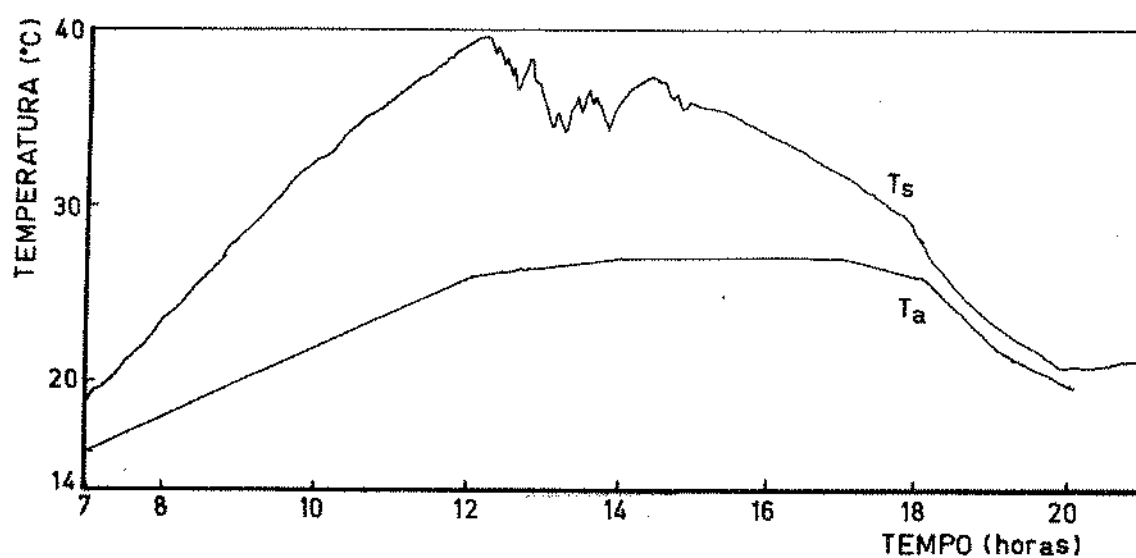


FIGURA 8.10. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante pedra (15 cm), cobertura polietileno, (Mod-I), em função do tempo.

permanente e transitório, com coberturas de P.V.C. (figuras 8.1 e 8.5) e polietileno (figuras 8.2 e 8.6), verifica-se que não existem diferenças entre as curvas das saídas dos coletores, isto ocorre devido a baixa capacidade térmica do isolante. No entanto para o caso do isolante pedra, para os regimes permanente e transitório, com coberturas de P.V.C. (figuras 8.3 e 8.7) e polietileno (figuras 8.4 e 8.8), observa-se que existem diferenças significativas nas curvas das temperaturas das saídas dos coletores, principalmente com respeito as intensidades das oscilações, devido a alta capacidade térmica da pedra.

Ainda com relação aos coletores (figuras 8.3 e 8.7, 8.4 e 8.8), observa-se que pela manhã as temperaturas das saídas dos coletores solares em modelo de regime permanente são sempre mais altas que as temperaturas das saídas dos coletores solares em modelo de regime transitório, com diferenças de mais ou menos dois graus centígrados. No período da tarde quando não existem nuvens, ocorre a inversão das referidas temperaturas.

Isto ocorre porque pela manhã o coletor em regime transitório utiliza parte do calor recebido para o aquecimento do isolante, enquanto o regime permanente considera o sistema já em equilíbrio. Pela tarde, o regime transitório apresenta temperaturas de saída mais altas, porque está utilizando o calor que tem armazenado, o que não ocorre no regime permanente.

Em virtude de tais condições, conclui-se ser ne-

cessário fazer o balanço de energia em regime transitório para o caso do isolante pedra, o qual não é necessário no caso do isolante lã de vidro.

As figuras 8.11 e 8.12 mostram as temperaturas dos isolantes lã de vidro e pedra com espessuras de 6 cm em função do tempo, para regime transitório.

Através das figuras 8.11 e 8.12, pode-se observar que devido a maior capacidade térmica do isolante pedra em relação a lã de vidro, as oscilações das temperaturas dos isolantes são menores no caso de pedra.

Ainda com relação ao isolante pedra verifica-se que após o pôr do sol a temperatura da camada intermediária do isolante é superior as temperaturas das camadas superior e inferior, enquanto que para a lã de vidro, após as 18 horas as temperaturas das três camadas são praticamente iguais.

A figura 8.13 mostra as temperaturas do isolante pedra com espessura de 15 cm em função do tempo, para regime transitório.

As figuras 8.14 e 8.15 mostram as temperaturas do isolante pedra cujas espessuras são as mesmas das figuras 8.12 e 8.13 em função das profundidades, para diversos tempos.

Pelas figuras 8.12 e 8.14, para o isolante pedra de 6 cm, observa-se que pela manhã ocorre armazenamento de calor no isolante, para aproximadamente meio dia existe um equilíbrio entre as temperaturas das camadas, e a partir do pôr do sol a temperatura da camada intermediária tor

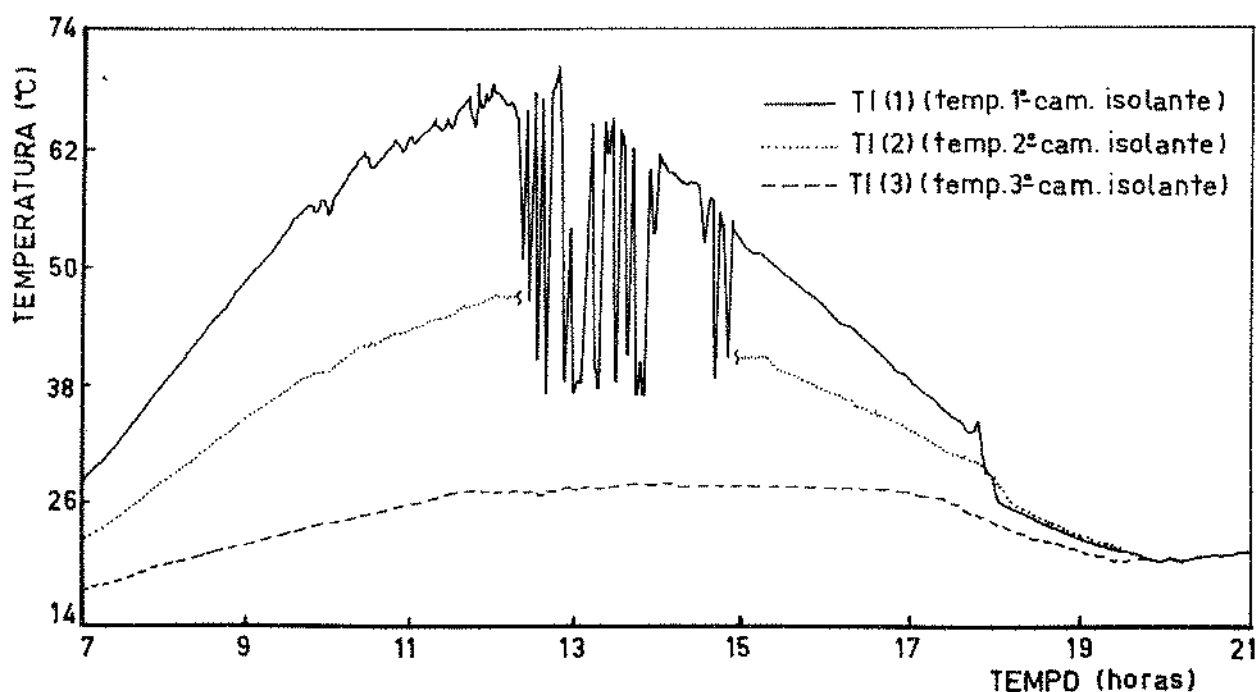


FIGURA 8.11. Temperaturas das diferentes camadas elementares do isolante lã de vidro (6cm), em regime transitório, cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.

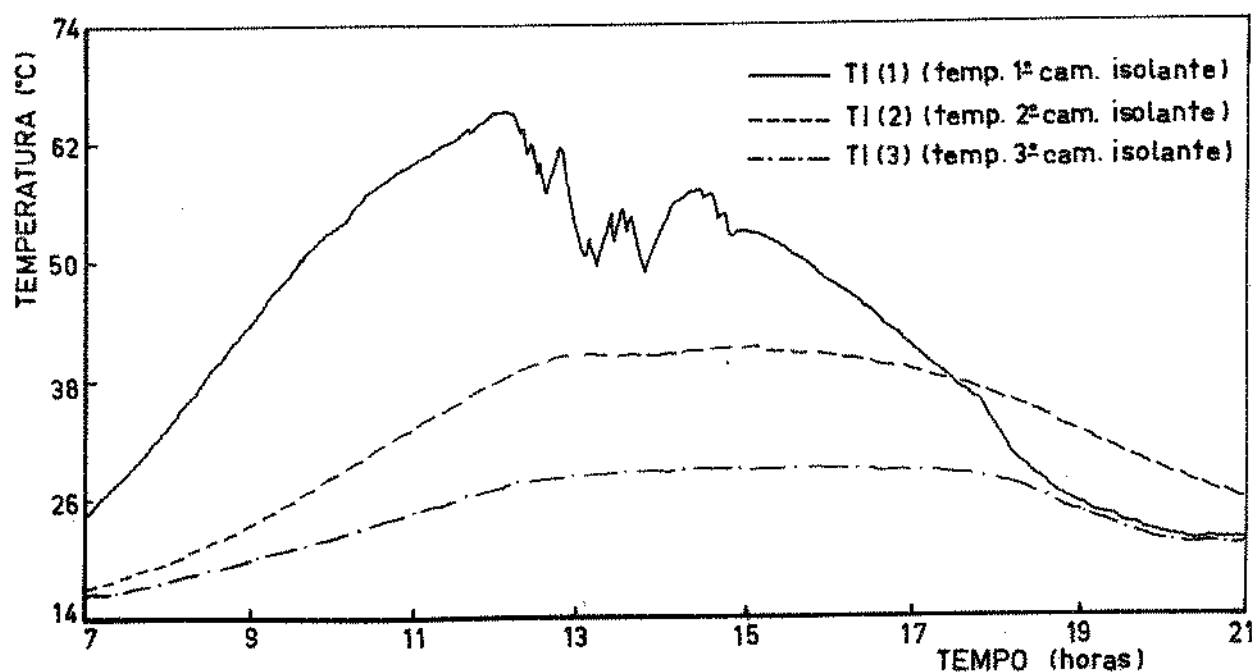


FIGURA 8.12. Temperaturas das diferentes camadas elementares do isolante pedra (6cm), em regime transitório, cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.

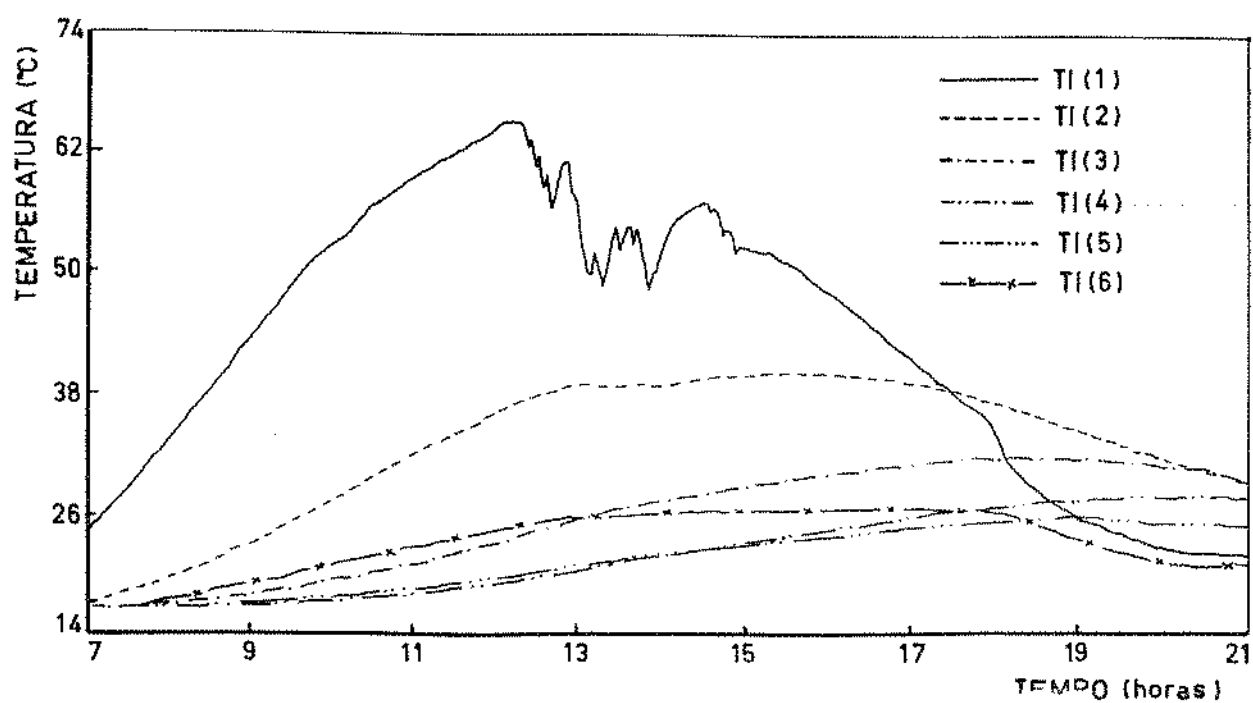


FIGURA 8.13. Temperaturas das diferentes camadas elementares do isolante pedra (15 cm), em regime transitório, cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.

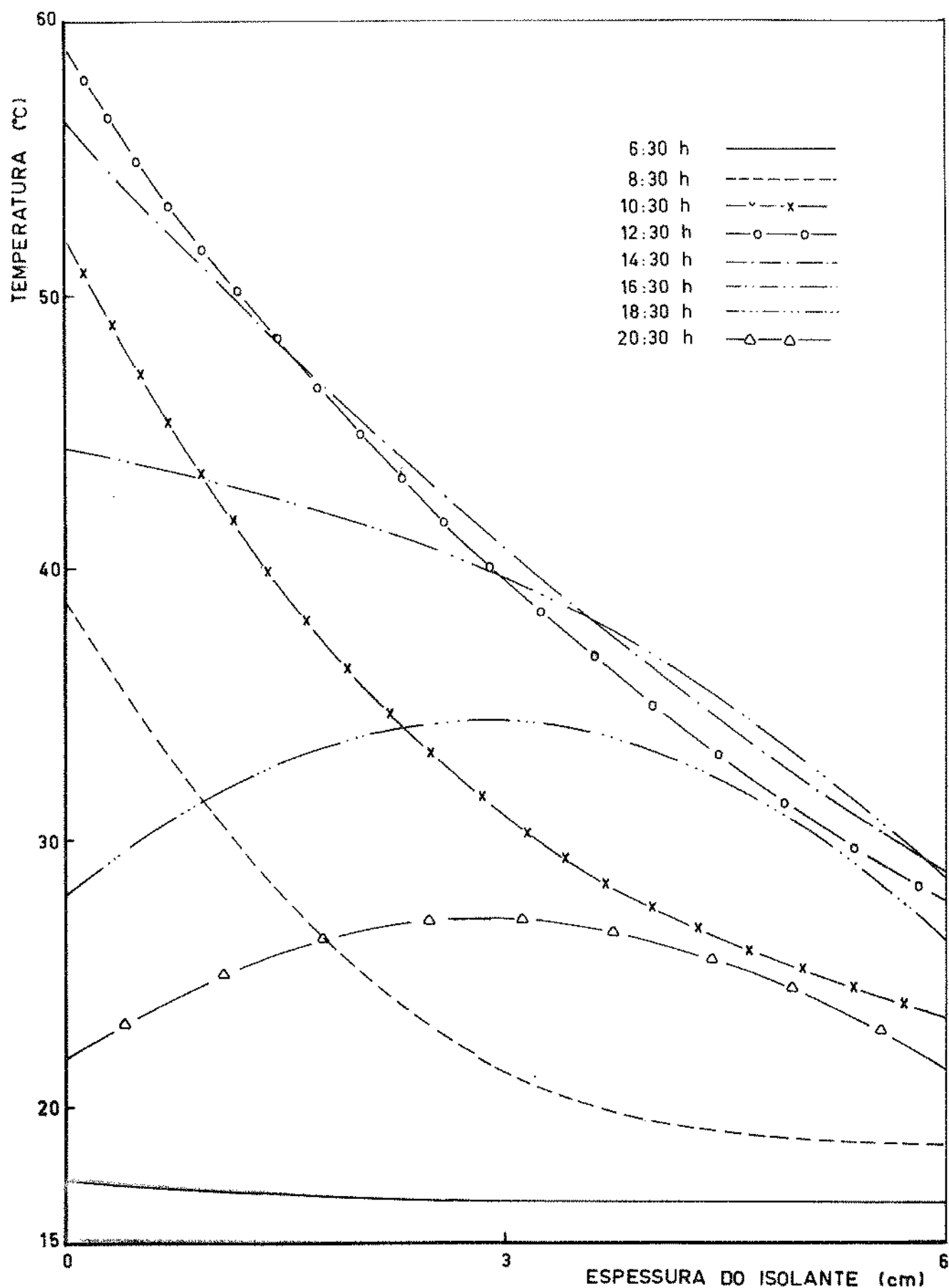


FIGURA 8.14. Temperaturas do isolante pedra (6cm), em função da espessura e do tempo, em regime transitório, cobertura P.V.C., (Mod-1).

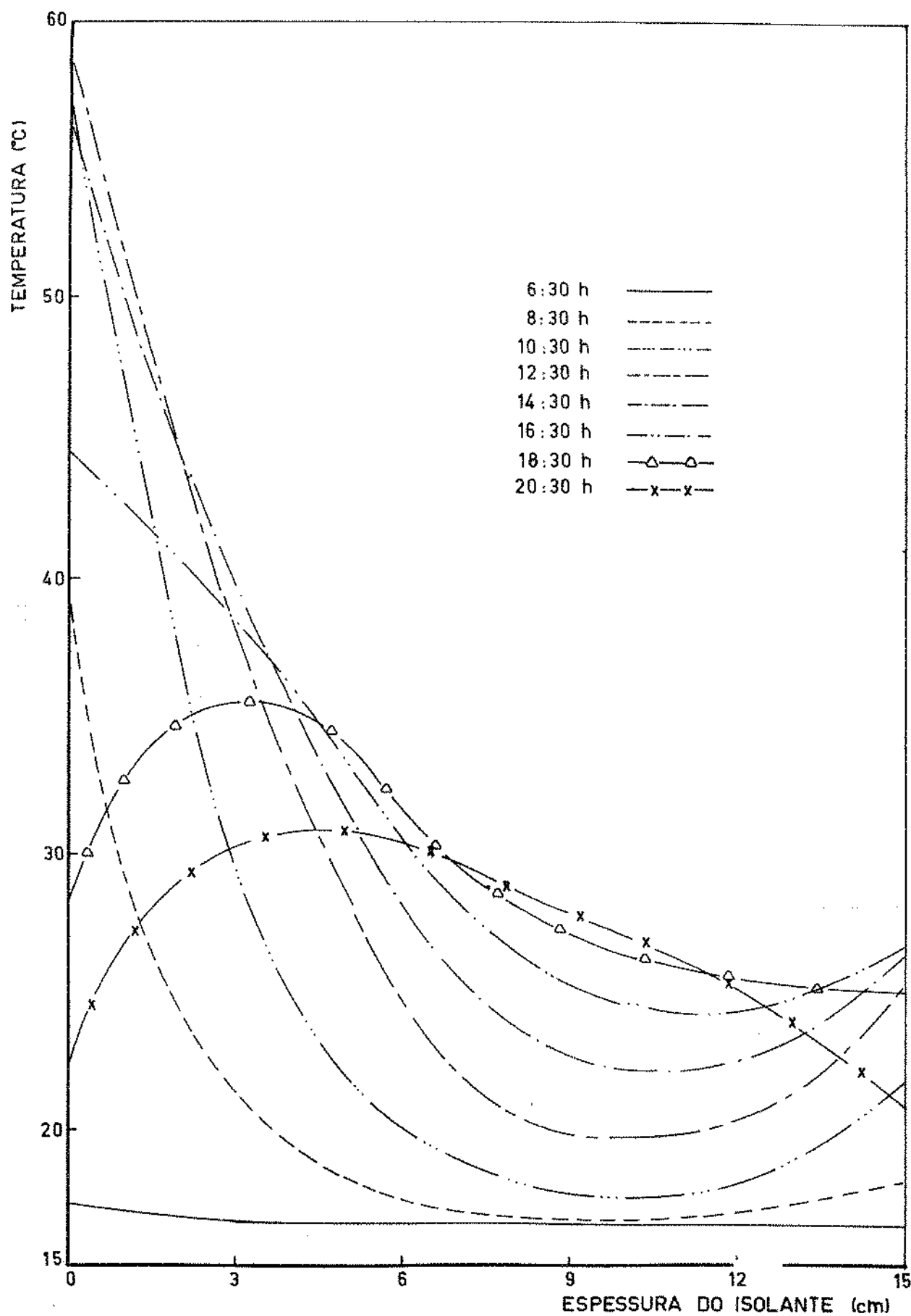


FIGURA 8.15. Temperaturas do isolante pedra (15cm), em função da espessura e do tempo, em regime transitório, cobertura P.V.C., (Mod-I).

na-se maior que as temperaturas das camadas externas, fornecendo-lhes calor.

Por meio das figuras 8.13 e 8.15 para o isolante pedra de 15 cm, verifica-se que durante o dia até cerca das 18 horas, as temperaturas das camadas intermediárias são sempre inferiores as temperaturas das camadas externas.

Assim, contrariamente à espessura de 6 cm, parte do calor armazenado pela camada superior é perdido por transferência para as camadas intermediárias, o que indica que a espessura do isolante foi superdimensionada.

As figuras 8.16 e 8.17 apresentam as temperaturas de saída do coletor solar para o isolante considerado como um meio semi-infinito, constituído de lã de vidro de 7,5 cm de espessura, mais terra de 54 cm de espessura, com as coberturas de P.V.C. e polietileno, respectivamente.

As figuras 8.18 e 8.19 são idênticas as figuras 8.16 e 8.17, sendo substituído o isolante lã de vidro por pedra.

Comparando-se as figuras 8.16 e 8.17 com as figuras 8.5 e 8.6, e as figuras 8.18 e 8.19 com as figuras 8.7 e 8.8, verifica-se que não existem diferenças entre as curvas das temperaturas das saídas dos coletores solares. Assim, conclui-se que não existem diferenças entre os desempenhos dos coletores solares com o isolante (o fundo do coletor) em contato com o ar ambiente, e o isolante considerado como um meio semi-infinito.

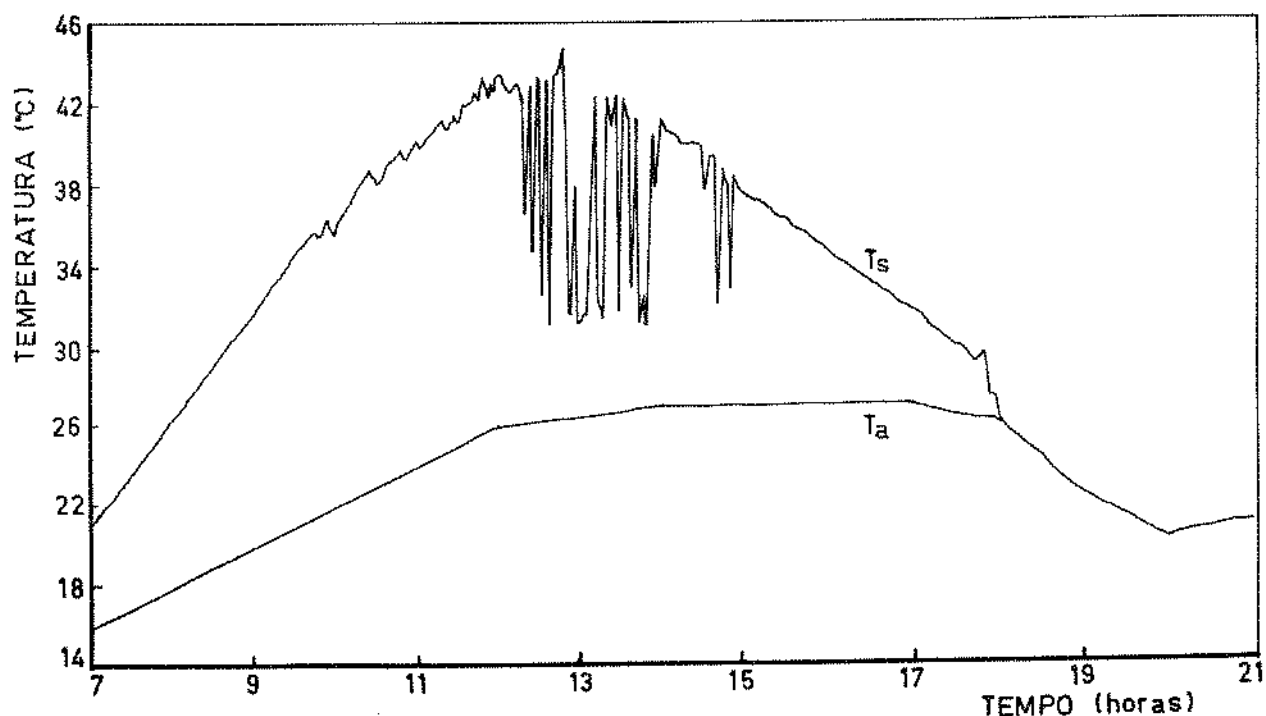


FIGURA 8.16. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante lã de vidro (7,5 cm) + terra (54 cm), cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.

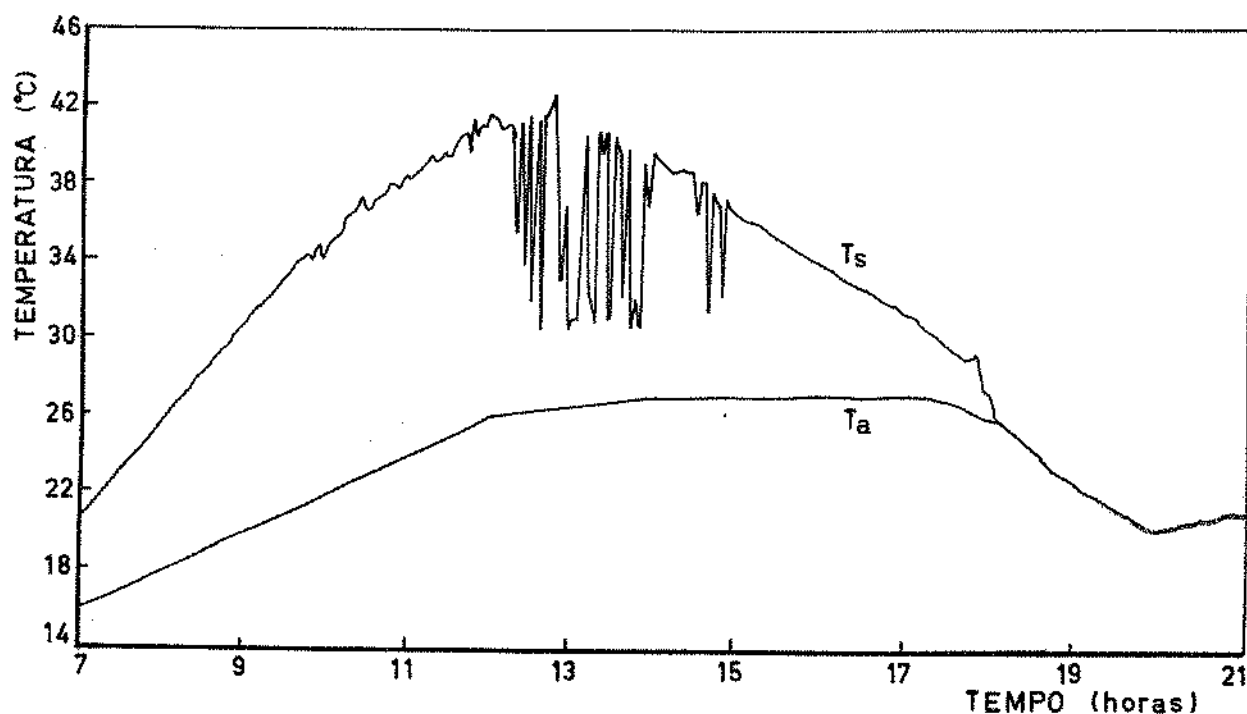


FIGURA 8.17. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante lã de vidro (7,5 cm) + terra (54 cm), cobertura polietileno, (Mod-I), em função do tempo.

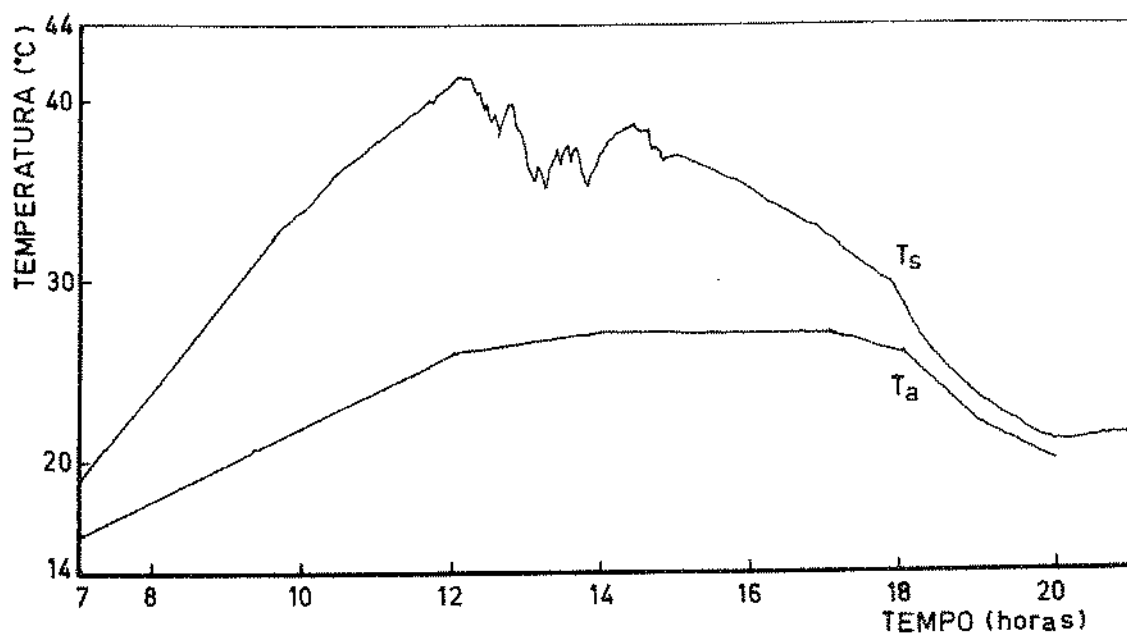


FIGURA 8.18. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante pedra (7,5 cm) + terra (54 cm), cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.

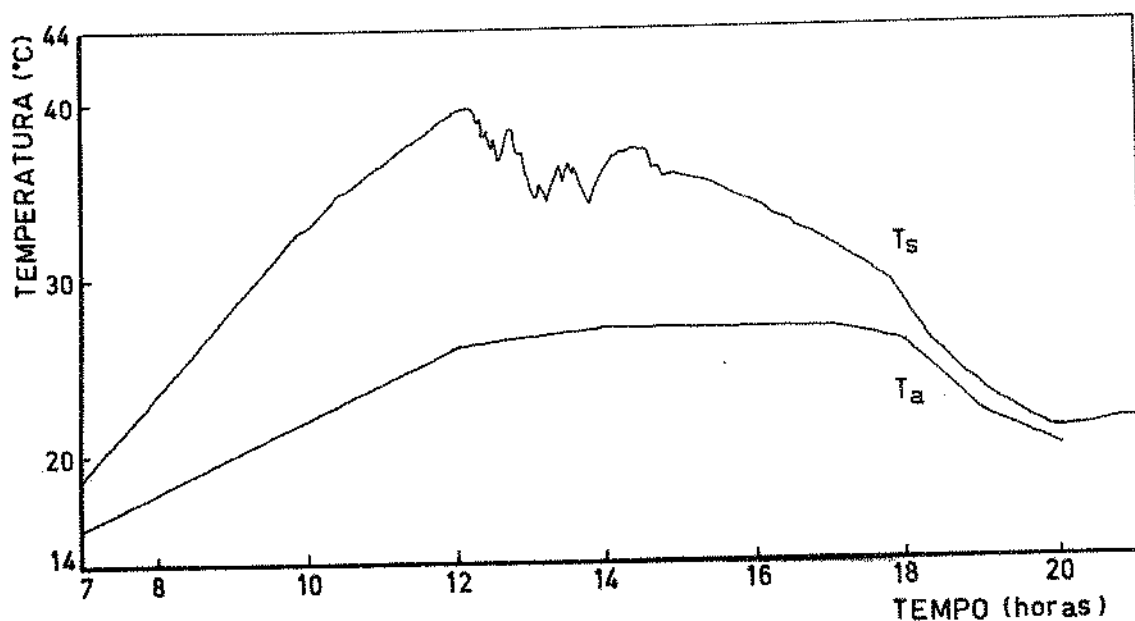


FIGURA 8.19. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante pedra (7,5 cm) + terra (54 cm), cobertura polietileno, (Mod-I), em função do tempo.

A figura 8.20 apresenta as temperaturas dos isolantes pedra mais terra cujas espessuras são as mesmas da figura 8.18, em função das profundidades para diversos tempos. Através da referida figura observa-se que as temperaturas da camada superior para diferentes tempos, são aproximadamente iguais as da figura 8.14, o que era esperado conforme descrito na consideração acima.

Rendimentos e calores armazenados no coletor solar tipo "A"

As tabelas 8.1 e 8.2 apresentam os rendimentos e os calores armazenados correspondentes a todos os cálculos desenvolvidos anteriormente.

Através da tabela 8.1, para o isolante pedra de 15 cm de espessura em regime transitório, verifica-se que os rendimentos solar diário e útil diário são praticamente os mesmos com relação aos da espessura de 6 cm.

Os rendimentos dos coletores solares com coberturas de P.V.C. são superiores aos seus correspondentes para coberturas de polietileno, o que já era esperado anteriormente na análise das temperaturas de saída.

Com a lã de vidro como isolante tanto para o P.V.C., como para o polietileno, a diferença dos rendimentos solares diários entre os regimes transitório e permanente é desprezível, entretanto, com pedra, esta diferença entre os regimes é significativa.

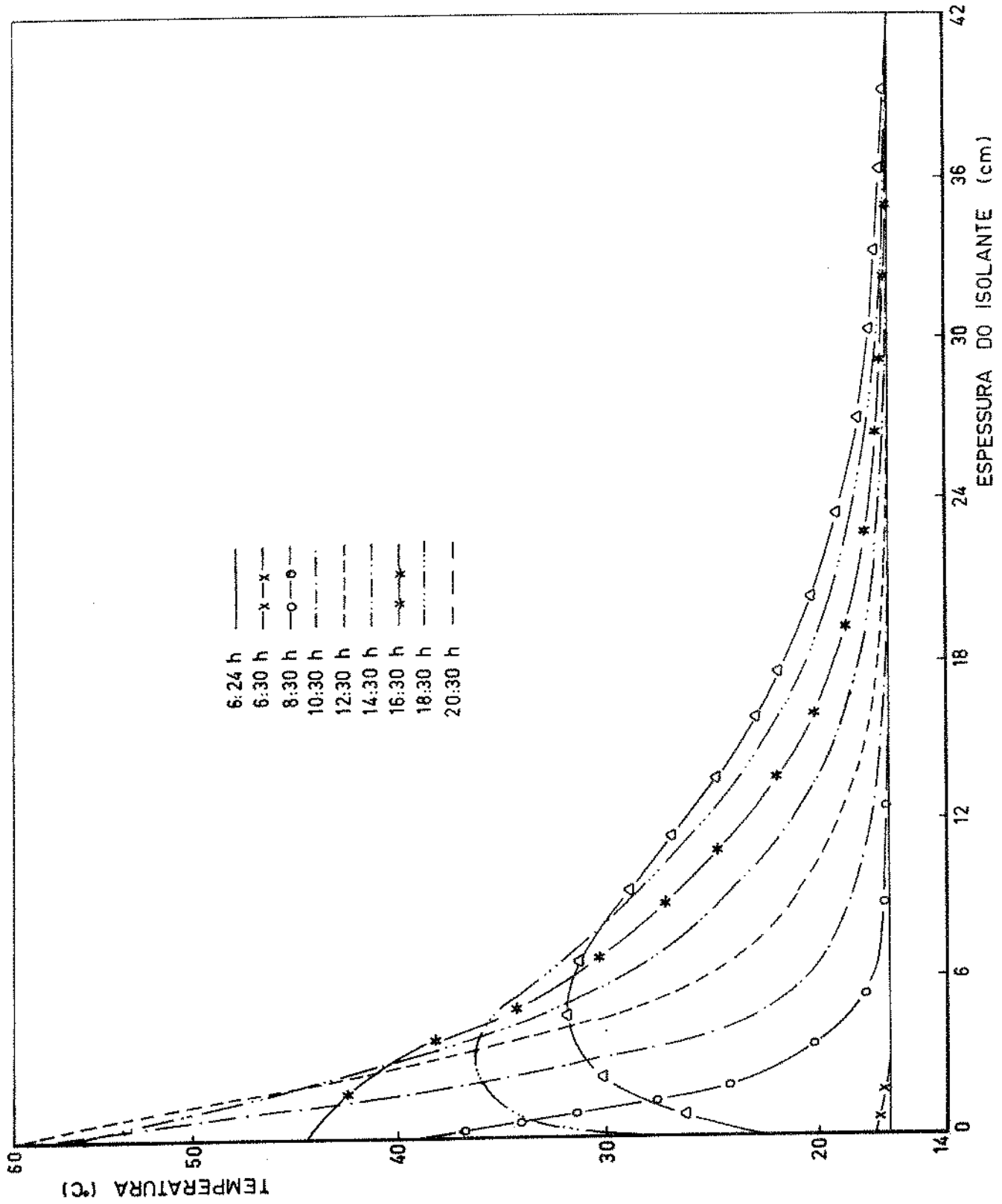


FIGURA 8.20. Temperaturas do isolante pedra (7,5cm) + terra (54cm) em função da espessura e do tempo, em regime transitório, cobertura P.V.C., (Mod-I).

TABELA 8.1. Rendimentos e calores armazenados correspondente ao coletor solar tipo "A",
isolante simples.

Isolantes		Pedra = 6 cm		Pedra = 15 cm		Lã de vidro = 6 cm			
Regimes		Trans.		Perm.		Trans.		Perm.	
Coberturas		P.V.C.	Poliet.	P.V.C.	Poliet.	P.V.C.	Poliet.	P.V.C.	Poliet.
$\eta_{s,d}$		0,5082	0,4591	0,5331	0,4805	0,4922	0,4445	0,5635	0,5065
								0,5650	0,5076
$\eta_{u,d}$		0,5267	0,4754			0,5132	0,4629	0,5638	0,5068
η_{arm}		0,2519	0,2276			0,1470	0,1323	0,2362	0,2280
ARM(kW)		3290,18	3211,34			6557,34	6381,64	71,58	66,12

TABELA 8.2. Rendimentos e calores armazenados correspondente ao coletor solar tipo "A",
regime transitório isolante composto (cm).

Isolantes	Pedra(7,5) + terra(54)	lã de vidro(7,5) + terra(54)	
Coberturas	P.V.C.	Poliet.	Poliet.
$\eta_{s,d}$	0,5072	0,4580	0,5735
$\eta_{u,d}$	0,5294	0,4755	0,5758
η_{arm}	0,1896	0,1718	0,1259
ARM(KW)	5237,78	5056,67	815,14
			780,51

Verifica-se também que os rendimentos no caso lã de vidro são superiores aos seus correspondentes no caso pe
dra.

Comparando-se os resultados da tabela 8.1 com os seus correspondentes da tabela 8.2, verifica-se que as dife
renças são desprezíveis, o que também já era esperado.

8.2. Resultados da simulação matemática do coletor solar ti po "B":

As figuras 8.21 e 8.22 mostram as temperaturas de saída do coletor solar em regimes permanente e transitório, respectivamente, com o isolante lã de vidro de 6 cm de espessura e vazão do ar de $100 \text{ m}^3/\text{min}$ para o modelo climatolô
gico I. Observa-se que a curva de regime transitório apresenta menores oscilações do que a curva do regime permanente, isto ocorre devido ao calor armazenado na placa absorvente em regime transitório.

As figuras 8.23 e 8.24 mostram as temperaturas de saída do coletor solar em regimes permanente e transitório, respectivamente, com isolante pedra de 6 cm de espessura, nas mesmas condições das figuras 8.21 e 8.22.

Por meio das figuras 8.23 e 8.24 verifica-se que as oscilações da curva do regime transitório ainda são acen
tuadas, isto ocorre devido as oscilações na placa absorvente, mesmo com a alta capacidade térmica da pedra. No entanto estas oscilações não ocorreram no caso do coletor solar tipo "A", conforme as figuras 8.7, 8.8, 8.9 e 8.10.

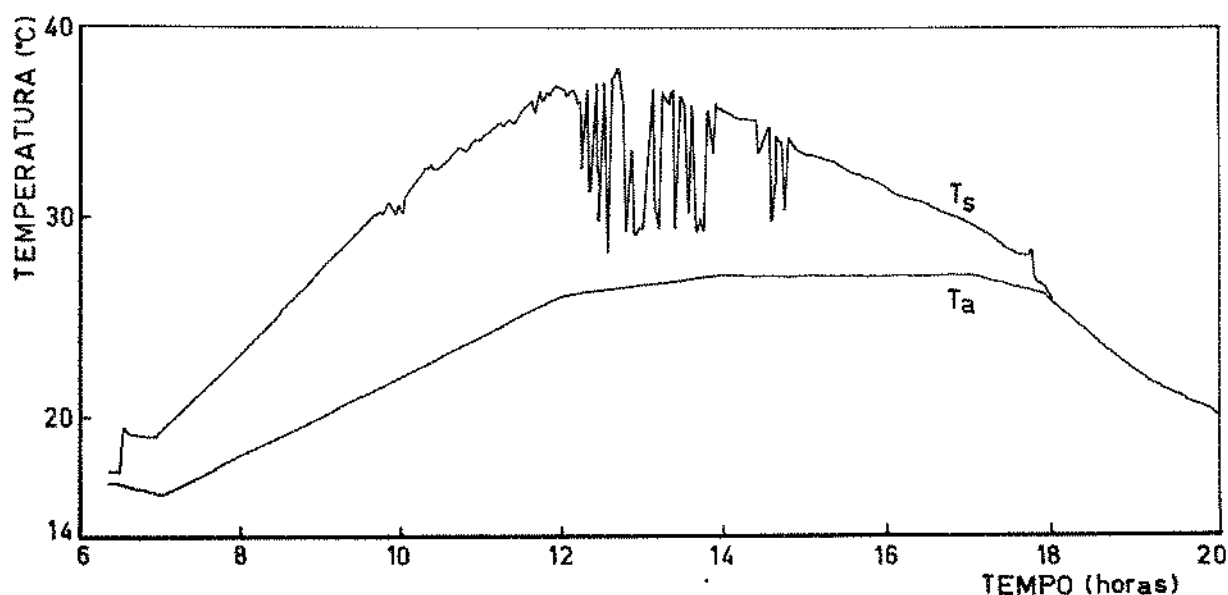


FIGURA 8.21. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a) em regime permanente, isolante lã de vidro (6cm), vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$, (Mod-I), em função do tempo.

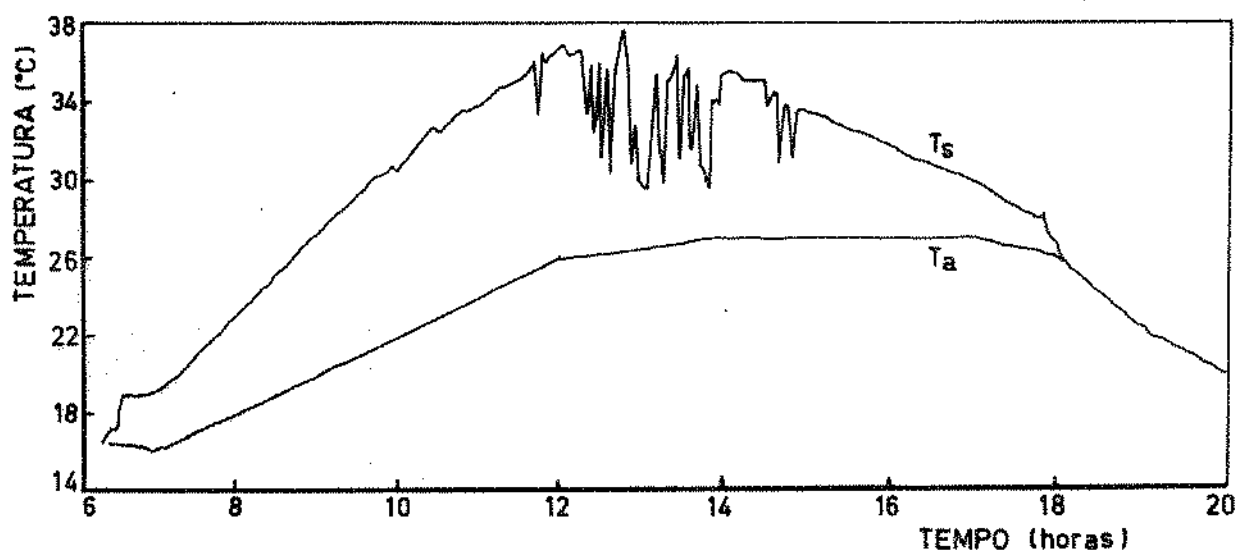


FIGURA 8.22. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a) em regime transitório, isolante lã de vidro (6cm), vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$, (Mod-I), em função do tempo.

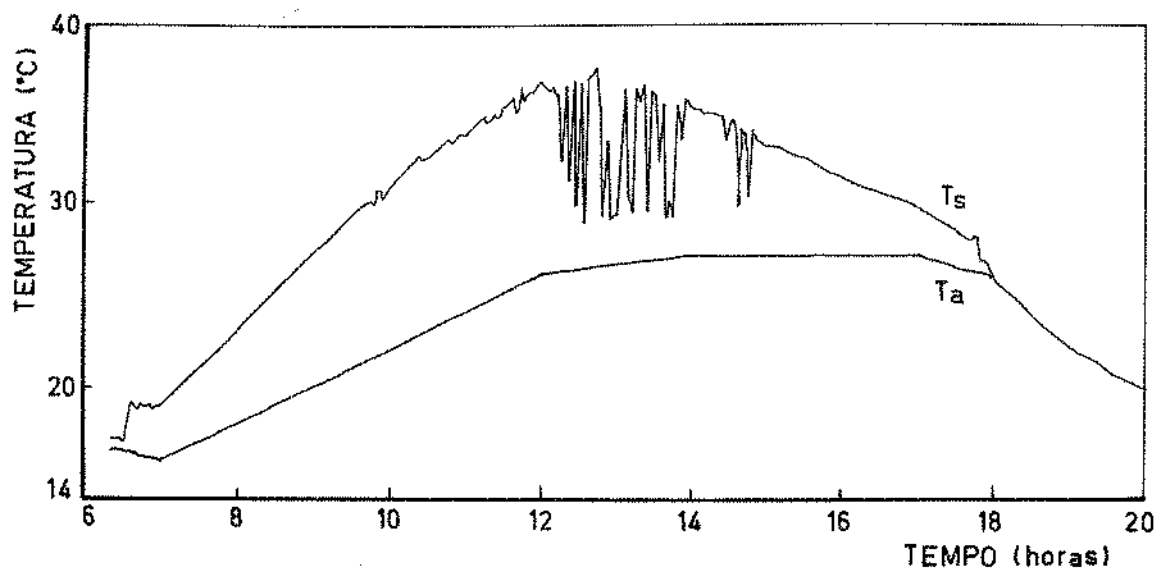


FIGURA 8.23. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a) em regime permanente, isolante pedra (6cm), vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$, (Mod-I), em função do tempo.

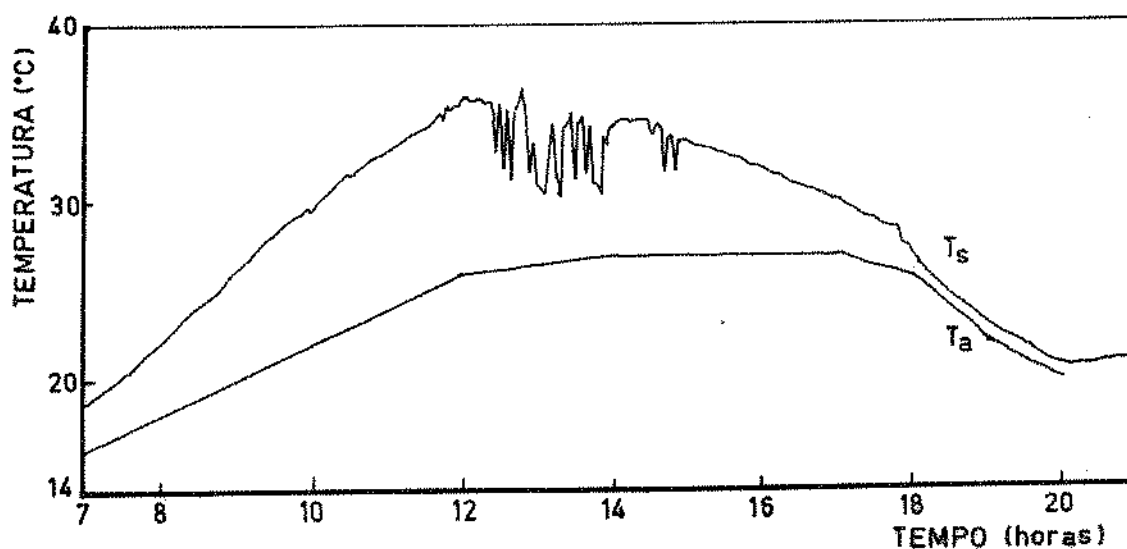


FIGURA 8.24. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a) em regime transitório, isolante pedra (6cm), vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$, (Mod-I), em função do tempo.

Considerando o efeito da igualdade das oscilações das temperaturas do ar entre a pedra e a lã de vidro, além de que a secagem do produto é mais eficiente durante o dia, leva a conclusão que o uso de pedra como isolante não apresenta vantagens consideráveis para o coletor solar tipo "B".

A figura 8.25 mostra as temperaturas das camadas do isolante lã de vidro de 6 cm de espessura em função do tempo em regime transitório. A figura 8.26 mostra também as temperaturas das camadas do isolante pedra de 6 cm de espessura e da placa absorvente em regime transitório.

As figuras 8.27 e 8.28 apresentam as temperaturas dos isolantes das figuras 8.25 e 8.26, em função das profundidades para diversos tempos, também nas mesmas condições da figura 8.22.

Comparando as temperaturas das camadas do isolante lã de vidro de 6 cm de espessura, para os coletores solares tipos "A" e "B" (figuras 8.11 e 8.25), verifica-se que a temperatura máxima da primeira camada do isolante do coletor tipo "A" (68°C) é superior a do coletor tipo "B" (37°C).

Através da figura 8.27 no caso do isolante lã de vidro de 6 cm de espessura, observa-se que as curvas das temperaturas são aproximadamente retas, o que indica o equilíbrio térmico do isolante, aproximando-se do estado permanente.

As figuras 8.29 e 8.30 mostram as curvas das temperaturas do ar na saída do coletor solar em regime transi-

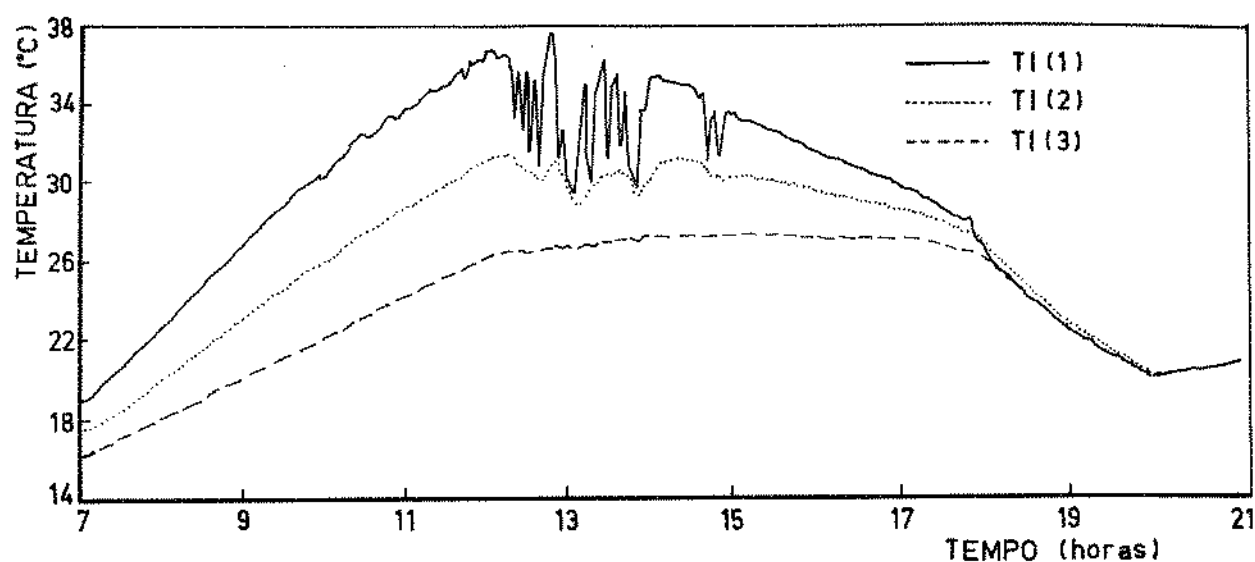


FIGURA 8.25. Temperaturas das diferentes camadas elementares do isolante lâmina de vidro (6cm) em regime transitório, vazão do ar $100\text{m}^3/\text{min}$, (Mod-I), em função do tempo.

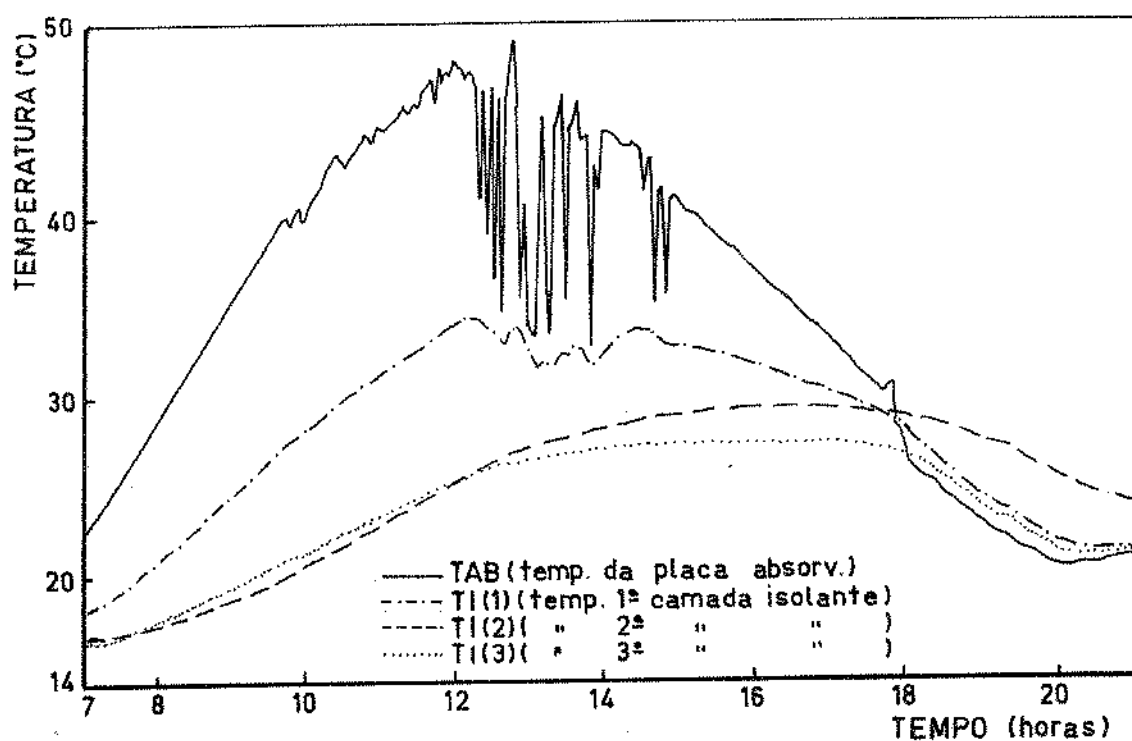


FIGURA 8.26. Temperaturas das diferentes camadas elementares do isolante pedra (6cm) e da placa absorvente, em regime transitório, vazão do ar $100\text{m}^3/\text{min}$, (Mod-I), em função do tempo.

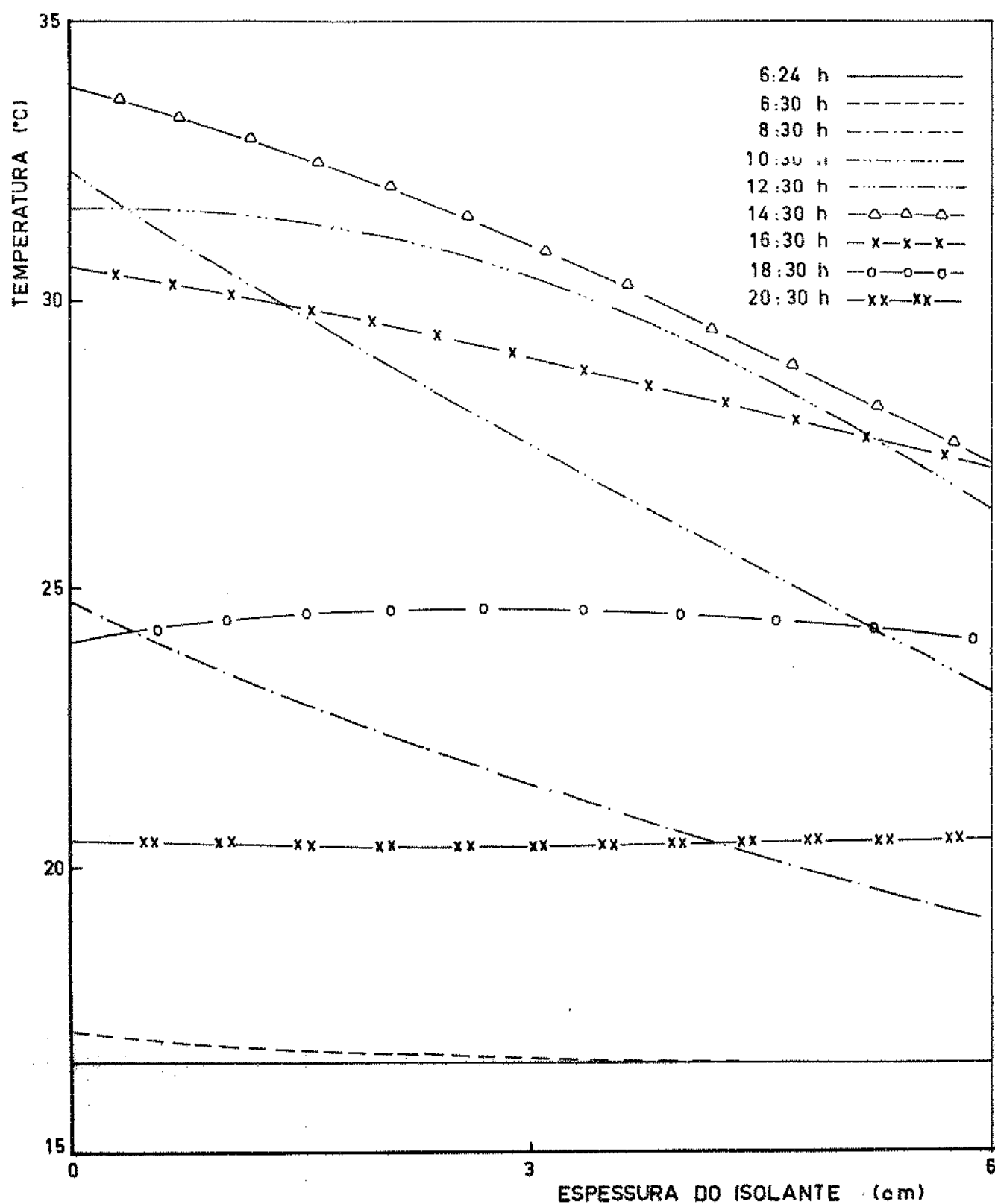


FIGURA 8.27. Temperaturas do isolante lã de vidro (6cm), em função da espessura e do tempo, em regime transitório, (Mod-I).

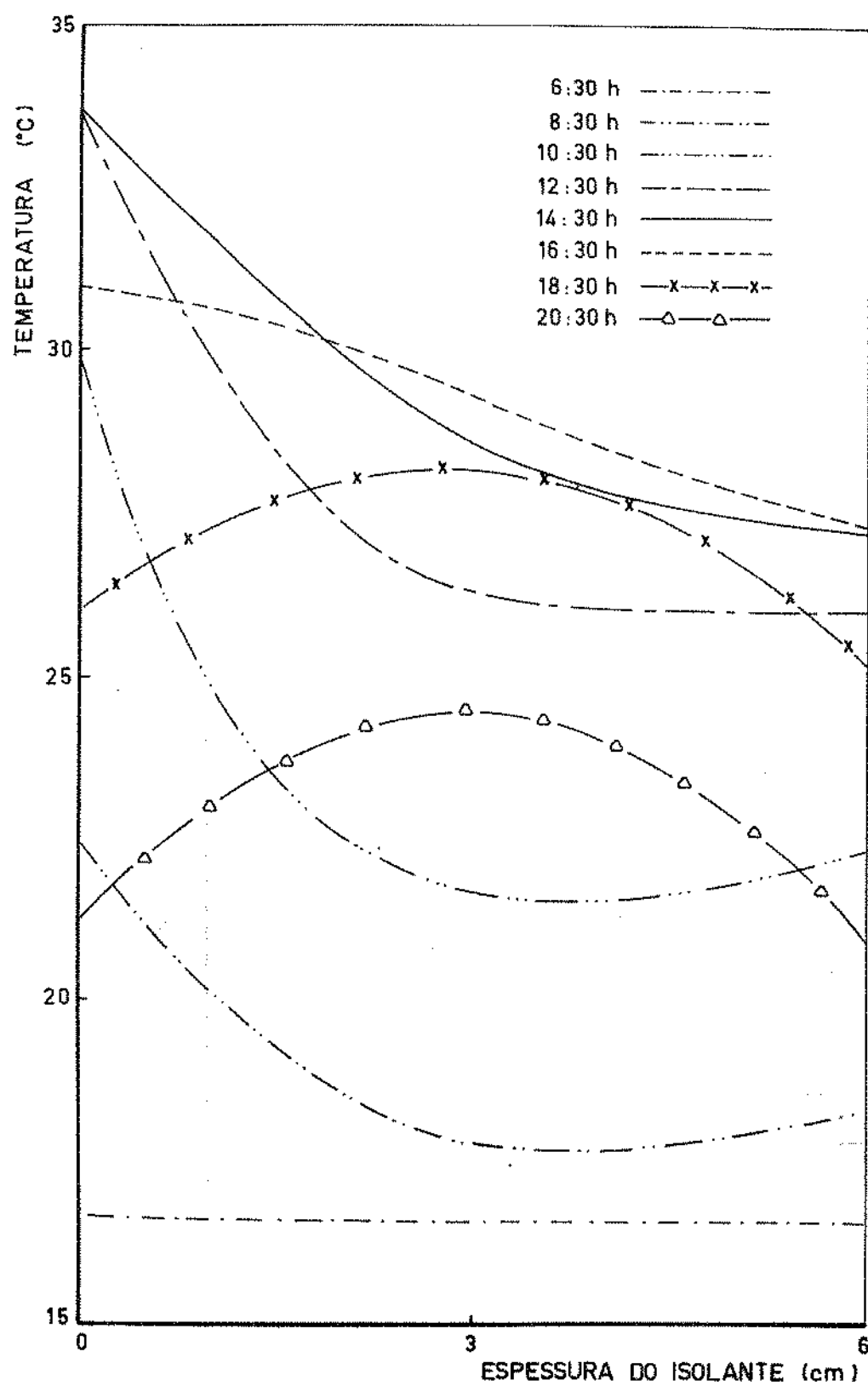


FIGURA 8.28. Temperaturas do isolante pedra (6 cm), em função da espessura e do tempo, em regime transitório, (Mod-I).

tório com o isolante lã de vidro de 6 cm de espessura e vazões de 50 e 150 m³/min, respectivamente.

Através das figuras 8.29, 8.22 e 8.30, verifica-se que quanto menor a vazão do ar de entrada no coletor solar, mais altas são as temperaturas do ar na saída, como também as suas oscilações. Os efeitos das variações das temperaturas do ar com as mudanças das vazões do coletor no processo de secagem, serão estudadas posteriormente no item seguinte.

As figuras 8.31 e 8.32 mostram as curvas das temperaturas do ar na saída do coletor solar em função do tempo com vazão do ar de 100 m³/min, isolante lã de vidro de 6 cm de espessura, regime transitório, para os modelos climatológicos II e III, respectivamente.

Para os modelos climatológicos II e III, podem ser feitas as mesmas considerações do modelo climatológico I.

Rendimentos e calores armazenados no coletor solar tipo "B":

A tabela 8.3 mostra os rendimentos e os calores armazenados correspondentes a todos os cálculos desenvolvidos no coletor.

As temperaturas do ar na saída do coletor solar aumentam com a diminuição das vazões do ar, como já foi demonstrado anteriormente, entretanto os rendimentos do cole

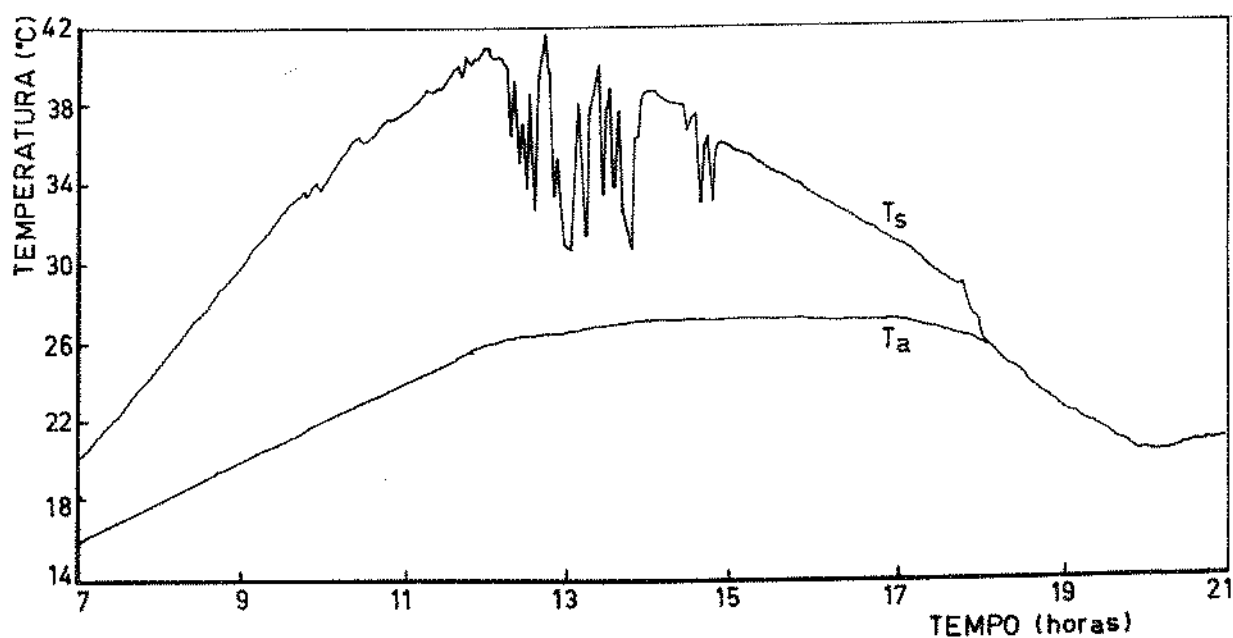


FIGURA 8.29. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a) em regime transitório, isolante lã de vidro (6 cm), vazão do ar 50 m³/min, (Mod-I), em função do tempo.

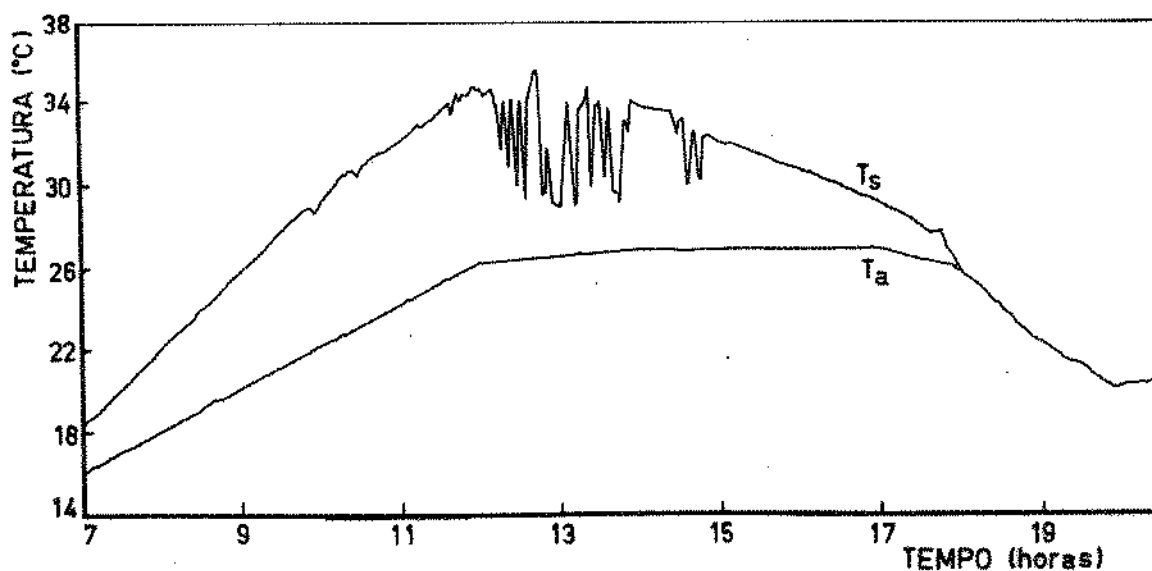


FIGURA 8.30. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a) em regime transitório, isolante lã de vidro (6 cm), vazão do ar 150 m³/min, (Mod-I), em função do tempo.

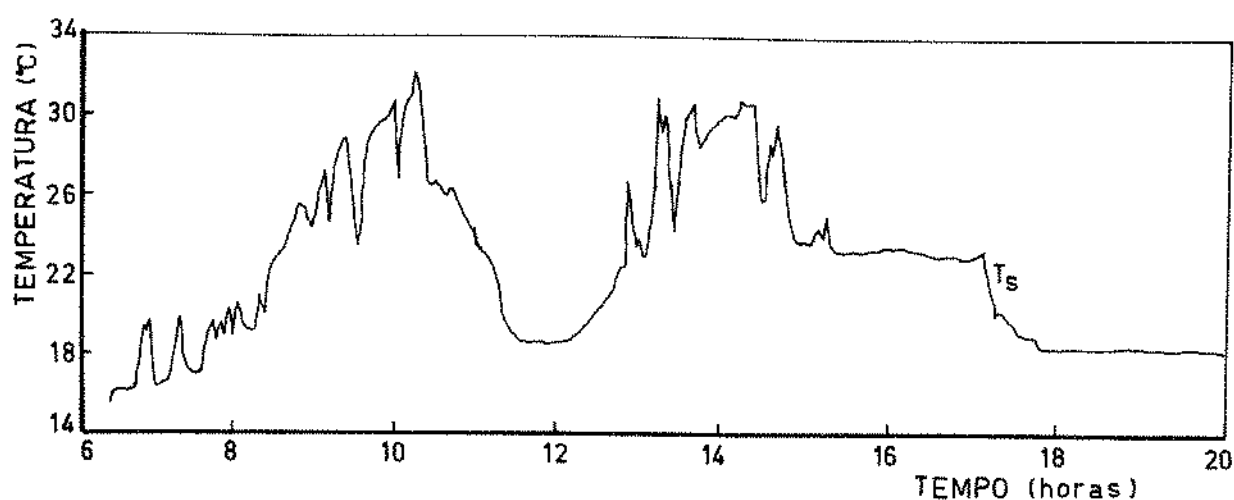


FIGURA 8.31. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) em regime transitório, isolante lã de vidro (6 cm), vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$, (Mod-II), em função do tempo.

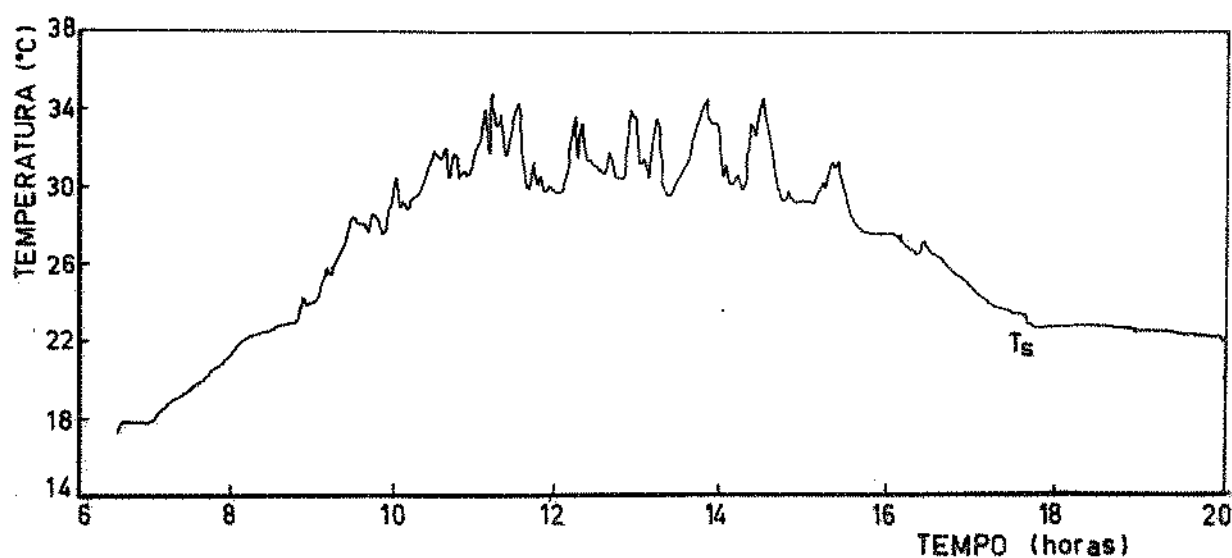


FIGURA 8.32. Temperatura de saída do coletor solar (T_s) em regime transitório, isolante lã de vidro (6 cm), vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$, (Mod-III), em função do tempo.

TABELA 8.3. Rendimentos e calores armazenados correspondentes ao coletor solar tipo "B".

Vazões (m ³ /min)	50			100			150		
Modelos	I	I	I	I	II	III	I	I	I
Isolantes (6 Cm)	Lã de vidro	Pedra	Lã de vidro	Lã de vidro	Lã de vidro	Lã de vidro	Lã de vidro	Lã de vidro	Lã de vidro
Regimes	Transitório	Perm. Trans.	Perm. Trans.	Perm. Trans.	Transitório	Transitório	Transitório	Transitório	Transitório
$\eta_{s,d}$	0,2438	0,3472	0,3246	0,3553	0,3531	0,3579	0,3536		0,4247
$\eta_{u,d}$	0,2444		0,3353		0,3539	0,3582	0,3541		0,4257
η_{arm}	0,1829		0,2087		0,2483	0,1451	0,1424		0,2875
ARM(KW)	161,87	2	325,43		157,58	58,08	96,82		155,18

tor diminuem com os decréscimos destas vazões.

Comparando os rendimentos solares diários entre o coletor tipo "A" ($\eta_{s,d} = 0,5082$), tabela 8.1 e coletor tipo "B" ($\eta_{s,d} = 0,3246$), tabela 8.3,, para isolante pedra de 6 cm de espessura, em regime transitório e vazão de $100 \text{ m}^3/\text{min}$, conclui-se que o coletor solar tipo "A" é bem mais eficiente que o coletor solar tipo "B".

Através dos resultados obtidos da execução da simulação matemática dos modelos desenvolvidos para os coletores solares tipos "A" e "B", respectivamente, conclui-se que os referidos modelos podem servir de padrões para quaisquer dimensionamentos desejados, quando do uso dos citados coletores solares.

8.3. Resultados da simulação matemática da secagem com o modelo de Morey:

A simulação matemática da secagem para 3, 10 e 50 toneladas de milho foi desenvolvida através do modelo de Morey, utilizando as temperaturas e razões de mistura do ar nas saídas dos coletores solares tipos "A" e "B", respectivamente, com uma superfície absorvente de 60 m^2 e secção transversal de passagem do ar de $0,3 \text{ m}^2$.

Na simulação da secagem a altura total do produto foi dividida em 10 camadas consecutivas, para efeitos de secagem foram analisados os teores de umidade em base úmida da primeira, quinta e décima camadas, em função da deterioração máxima e do tempo de secagem.

Secagem com o coletor solar tipo "A":

Para a secagem com o coletor solar tipo "A", em regimes permanente e transitório, foi utilizado uma vazão do ar de $100 \text{ m}^3/\text{min}$ com os dados do modelo climatológico I.

Através dos resultados obtidos da secagem de 3, 10 e 50 toneladas de milho utilizando o coletor solar com um mesmo tipo de cobertura transparente e isolante lã de vidro, verificou-se que não existia diferença entre a secagem feita com o coletor solar em regime permanente e em regime transitório. O que já era esperado pela análise das temperaturas de saída do coletor solar, feita anteriormente.

A secagem usando o coletor solar com o isolante pedra em substituição a lã de vidro, nas mesmas condições anteriores, apresentou uma pequena diferença para o caso de 3 toneladas do produto, em favor do regime permanente.

Em face as tais condições de semelhanças existentes com a secagem entre os regimes permanente e transitório, a análise do processo de secagem passou a ser feita sobre o regime transitório, por expressar resultados mais próximos possíveis das condições reais.

Ainda com relação a secagem de 3, 10 e 50 toneladas de milho, verificou-se que praticamente não existem diferenças significativas quando é usado o coletor solar com lã de vidro ou pedra como isolante, fixando-se o mesmo tipo de cobertura transparente. Entretanto, verificou-se uma pequena diferença quando fixado o isolante, e variando-se a

cobertura transparente entre o P.V.C. e o polietileno (tabela 8.4).

Com base nos resultados obtidos deste coletor solar que foram favoráveis ao uso do isolante pedra, assim como, a pequena diferença entre as secagens com uso de lâ de vidro e pedra como isolantes, optou-se para mostrar as figuras de secagem com o uso da pedra como isolante.

A figura 8.33 mostra as curvas do teor de umidade do milho em função do tempo de secagem para 3 toneladas do produto, com uma vazão do ar de $33,3 \text{ m}^3/\text{min}/\text{ton.}$, sendo usado o coletor solar com a cobertura transparente de P.V.C.

Através da figura 8.33 observa-se que a primeira camada sofreu um processo contínuo de secagem, a quinta e décima camadas mantiveram-se constantes até aproximadamente 2 horas, ou seja, até às 8:24 horas do dia, após este período a quinta camada passou a secar, enquanto que a décima camada sofreu uma pequena reumidificação até as 6 primeiras horas de processamento, secando também em seguida.

A figura 8.34 mostra as curvas do teor de umidade do milho em função do tempo de secagem para 10 toneladas do produto, com uma vazão do ar de $10 \text{ m}^3/\text{min}/\text{ton.}$, sendo usado o coletor solar com a cobertura transparente de P.V.C.

Por meio da figura 8.34 verifica-se que a camada inferior secou durante o dia, na parte da noite com a diminuição da temperatura e o aumento da umidade relativa do ar, houve reumidificação até aproximadamente às 8:00 horas do

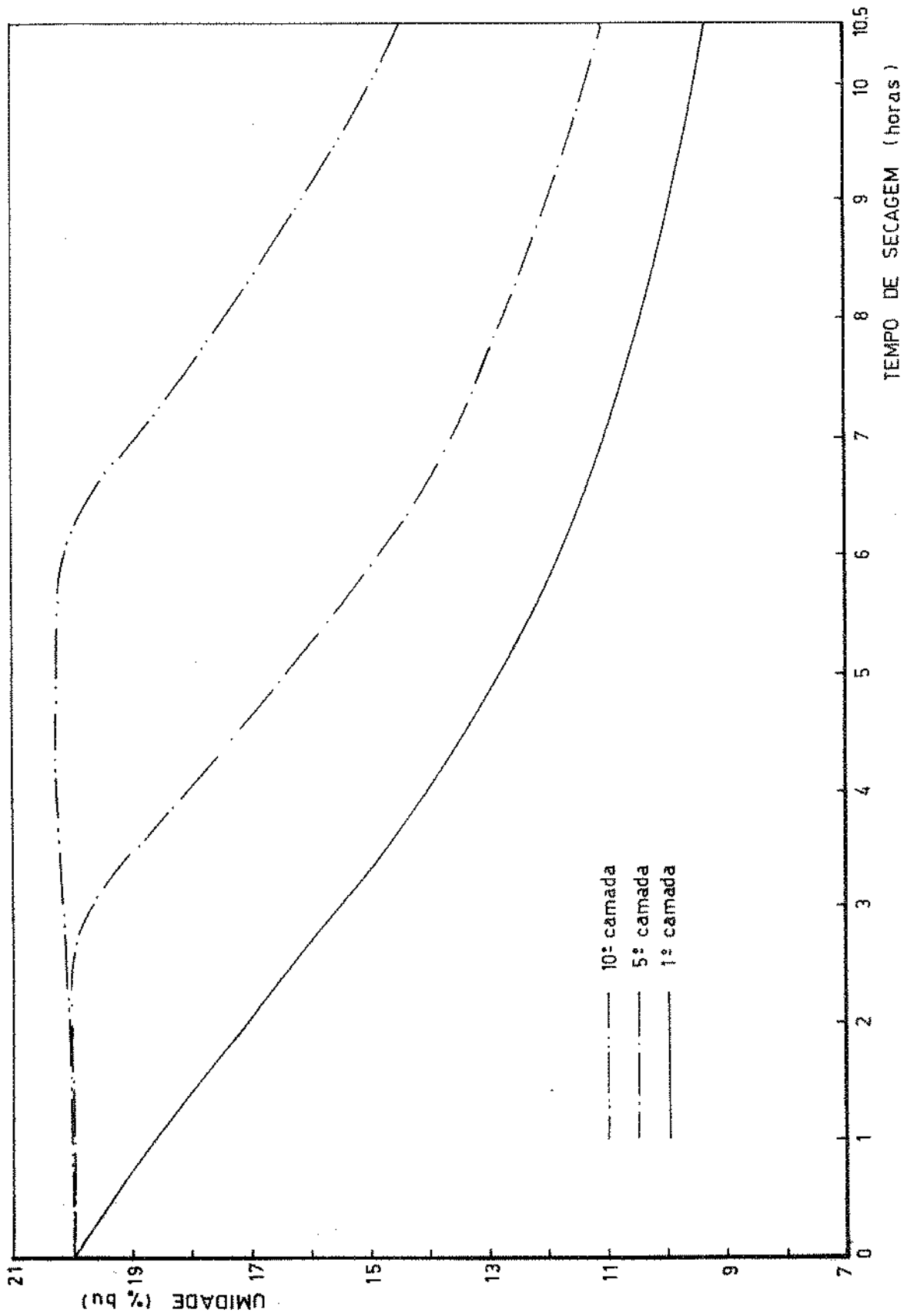


FIGURA 8.33. Teor de umidade do milho (3 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas, regime tran-
sitório, isolante pedra, cobertura P.V.C., vazão do ar 100 m³/min (Mod-I).

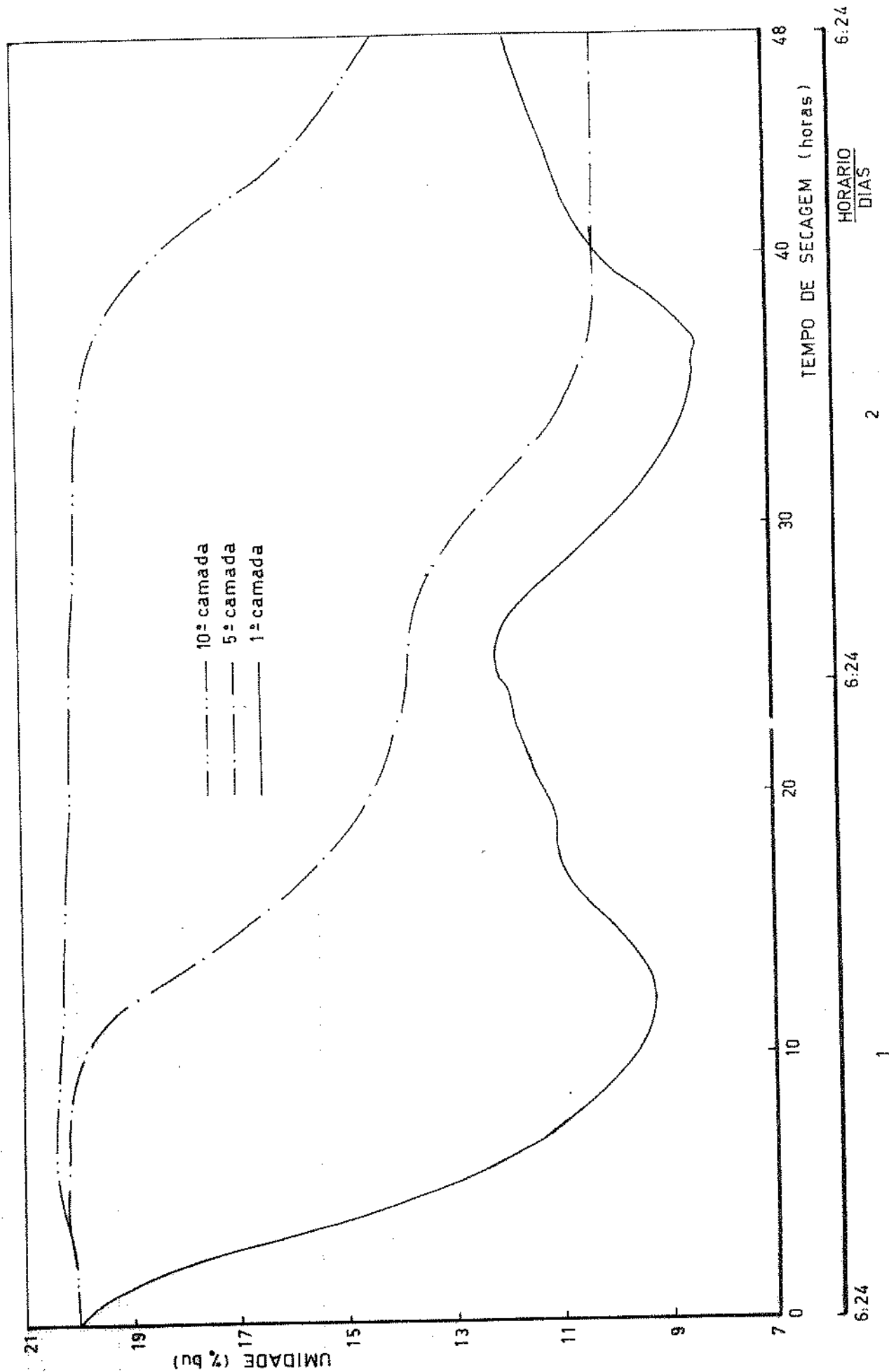


FIGURA 8.34. Teor de umidade do milho (10 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas, regime transitório, isolante pedra, cobertura P.V.C., vazão do ar 100 m³/min (Mod-I).

dia seguinte. Este processo se repetiu até o final da seca
gem.

A quinta camada foi ligeiramente reumidificada ,
passando a secar a partir da noite do primeiro dia de pro-
cessamento, com algumas estabilizações até o período final.

A décima camada também sofreu inicialmente uma pe
quena reumidificação, mantendo-se mais ou menos constante
até o início da noite do segundo dia de processamento, pas
sando a secar até o final da operação.

A figura 8.35 mostra as curvas do teor de umidade
do milho em função do tempo de secagem para 50 toneladas de
produto, com uma vazão do ar de $2 \text{ m}^3/\text{min}/\text{ton.}$, sendo usado
o coletor solar com a cobertura transparente de P.V.C.

Pela figura 8.35 observa-se que no primeiro dia
de secagem a camada inferior secou e durante a noite mante-
ve-se constante, no dia seguinte houve secagem e a noite reu
midificação, a partir do segundo dia este processo repetiu-
-se mais ou menos com uma certa constância até o final da
secagem.

Com o aumento da massa dos grãos, houve um grande
deslocamento de umidade das camadas inferiores causando reu
midificação e provocando oscilações na secagem das camadas
superiores.

Comparando-se as figuras 8.33, 8.34 e 8.35, verí
fica-se que elas apresentam como resultados finais aproxima-
damente os mesmos teores de umidades mínimas, máximas e mē

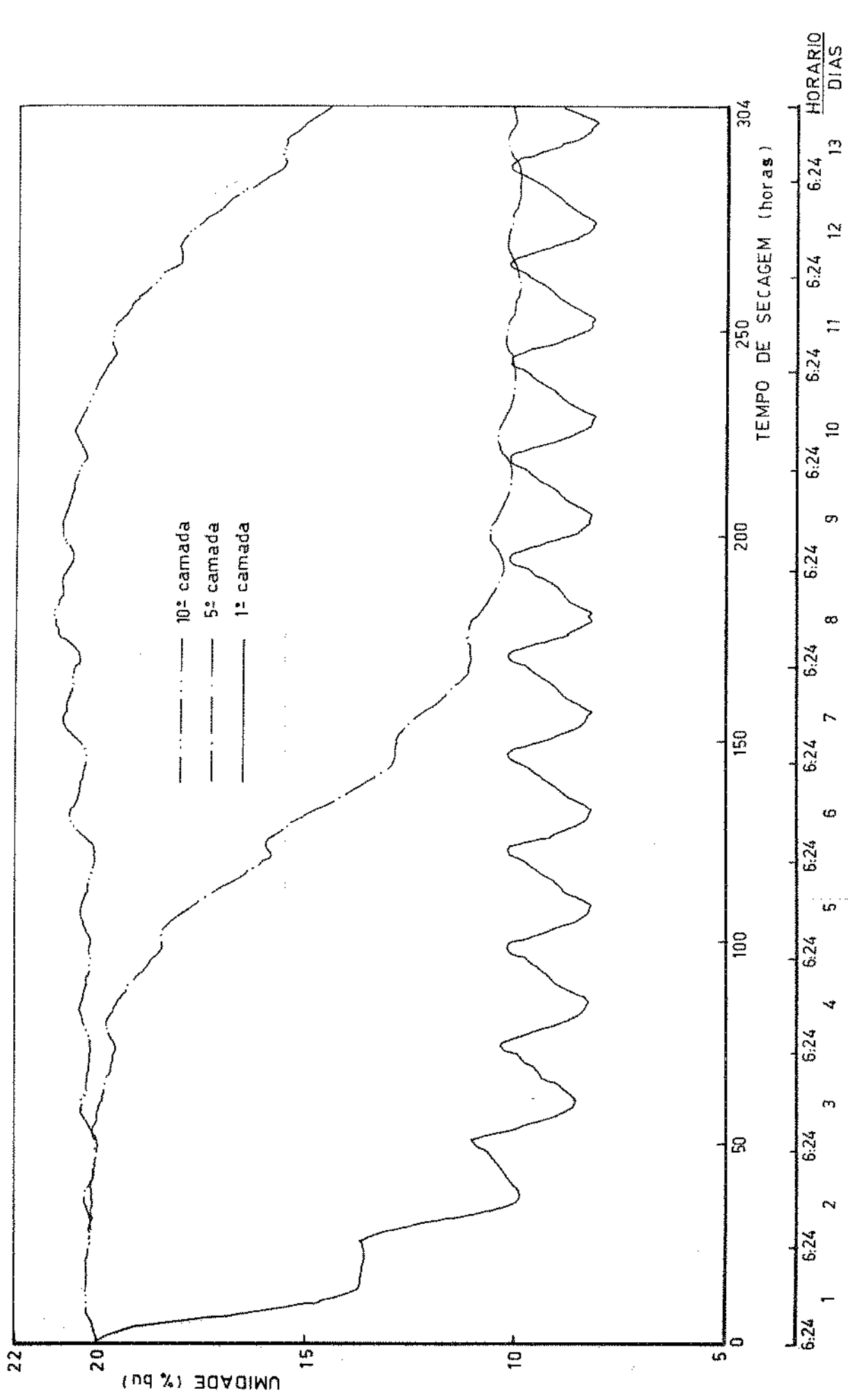


FIGURA 8.35. Teor de umidade do milho (50 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas, regime transitório, isolante pedra, cobertura P.V.C., vazão do ar 100 m³/min (Mod-I).

dias, que variam em torno de 9,99%, 14,46% e 11,17%. Entretanto o tempo de secagem variou bastante entre as figuras, em 10, 47,5 e 304,5 horas. Com o aumento do tempo de secagem houve também uma variação na deterioração do produto, em 0,0082%, 0,0363% e 0,2776%, sendo que estas deteriorações ficaram bem aquém do limite superior permitido que é 0,5%.

Em face a estes resultados conclui-se que a vazão do ar ($\text{m}^3/\text{min}/\text{ton.}$) é um fator muito importante no processo de secagem.

A tabela 8.4 apresenta todos os resultados dos teores de umidades mínimas, máximas e médias, assim como, as deteriorações máximas e os tempos de secagens para 3, 10 e 50 toneladas de milho com teor de umidade inicial de 20% b.u., utilizando o coletor solar tipo "A", em regimes permanente e transitório, isolantes lã de vidro e pedra, coberturas transparentes de P.V.C. e polietileno, respectivamente, para uma vazão do ar de $100 \text{ m}^3/\text{min}$ e modelo climatológico I.

Através dos resultados finais das secagens fornecidos pela tabela 8.4, pode-se verificar que não existem diferenças significativas quando se mantêm constante uma das quantidades do produto, e varia-se um dos parâmetros do coletor solar.

Mesmo não existindo diferenças significativas entre as secagens com o coletor solar utilizando os isolantes lã de vidro e pedra. Contudo, é fundamental salientar a importância do isolante pedra como armazenador de calor e amor

TABELA 8.4. Teores de umidades mínimas, máximas e médias, deteriorações máximas das secagens de 3, 10 e 50 toneladas de milho, em função do tempo de secagem, utilizando o coletor solar tipo "A".

Toneladas de milho	3						10						50					
	Pedra (6)		Lã de vidro (6)		Pedra (6)		Lã de vidro (6)		Pedra (6)		Lã de vidro (6)		Pedra (6)		Lã de vidro (6)		Pedra (6)	
Coberturas transparentes	P.V.C.	Poliet	P.V.C.	Poliet	P.V.C.	Poliet	P.V.C.	Poliet	P.V.C.	Poliet	P.V.C.	Poliet	P.V.C.	Poliet	P.V.C.	Poliet	P.V.C.	P.V.C.
Regimes	Perm	Trans	Perm	Trans	Perm	Trans	Perm	Trans	Perm	Trans	Perm	Trans	Perm	Trans	Perm	Trans	Perm	Trans
Teor de umidade mínima (U _{min} %)	9,33	9,39	9,47	9,32	9,33	11,90	11,77	11,85	11,72	11,72	8,78	8,80	9,64	9,77	9,77	9,77	9,77	9,77
Teor de umidade máxima (U _{máx} %)	14,19	14,48	14,48	14,37	14,42	14,35	14,42	14,79	14,34	14,35	14,44	14,49	14,49	15,44	15,44	15,44	15,42	15,42
Teor de umidade média (U _{méd} %)	11,41	11,58	11,61	11,49	11,51	11,45	11,45	11,67	11,34	11,35	10,47	10,47	10,65	10,58	10,58	10,59	10,59	10,59
Deterioração máxima (%)	.0082	.0082	.0083	.0080	.0080	.0357	.0363	.0362	.0356	.0358	.2676	.2776	.2743	.2745	.2745	.2718	.2745	.2718
Tempo de secagem (horas)	10,0	10,5	11,0	10,0	10,0	47,5	47,5	48,0	46,5	46,5	304	304,5	310	288	288	288	288	288
Tempo de secagem (dias)	.42	.44	.49	.42	.42	1,98	1,98	2	1,94	1,94	12,67	12,69	12,92	12	12	12	12	12

* Correspondentes as figuras 8.33, 8.34 e 8.35

tecedor das oscilações da temperatura do ar de secagem na saída do coletor solar, quando ocorre a passagem de nuvens. A presença destas oscilações é extremamente prejudicial ao processo de secagem, provocando choques térmicos ao produto, especialmente se o produto for destinado a sementes, ele pode perder uma parte do seu poder germinativo.

Analisando-se simultaneamente as figuras 8.33, 8.34 e 8.35 e os dados da tabela 8.4, conclui-se, portanto, ser a vazão de ar de $100 \text{ m}^3/\text{min}$ viável para as citadas secagens, com uso do referido coletor solar.

A tabela 8.5 mostra os dados das secagens de 3 e 10 toneladas de milho com teor de umidade inicial de 20% b. u., utilizando o coletor solar tipo "A", em regime transitório, isolantes pedra e lã de vidro com 7,5 cm de espessuras, mais terra com 54 cm de espessura, com coberturas transparentes de P.V.C. e polietileno, respectivamente, para uma vazão de ar de $100 \text{ m}^3/\text{min}$ e modelo climatológico I.

Para os resultados mostrados pela tabela 8.5, podem ser feitas todas as análises idênticas as da tabela 8.4.

Comparando-se os resultados da tabela 8.4 com os seus correspondentes da tabela 8.5, verifica-se que não existem diferenças entre as secagens feitas com o coletor solar com o isolante simples (finito) e o isolante composto considerado como um meio semi-infinito. O que já era esperado pela análise feita para o coletor solar.

TABELA 8.5. Teores de umidades mínimas, máximas e médias, deteriorações máximas das secagens de 3 e 10 toneladas de milho em função do tempo de secagem, utilizando o coletor solar tipo "A", com o isolante composto.

Toneladas de milho	3				10			
	Pedra (7,5) + Terra (54)		Lã de vidro (6) + Terra (54)		Pedra (6) + Terra (54)		Lã de vidro (6) + Terra (54)	
Isolantes (cm)	P.V.C.	Poliet.	P.V.C.	P.V.C.	P.V.C.	Poliet.	P.V.C.	P.V.C.
Coberturas transparentes								
Teor de umida- de mínima (U min %)	9,40	9,48	9,30	11,59	11,69		11,60	
Teor de umida- de máxima (U máx %)	14,50	14,45	14,35	14,36	14,76		14,38	
Teor de umida- de média (U méd %)	11,59	11,62	11,46	11,38	11,61		11,28	
Deterioração máxima (%)	.0082	.0082	.0081	.0360	.0374		.0359	
Tempo de seca- gem (horas)	10,5	11,0	10,0	47 5	48,0		46	
Tempo de seca- gem (dias)	.44	.46	.42	1,98	2		1,92	

Secagem com o coletor solar tipo "B":

Para a secagem com o coletor solar tipo "B" em regimes permanente e transitório, foram utilizadas as vazões do ar de 50, 100 e 150 m³/min, com os dados dos modelos climatológicos I, II e III, respectivamente.

Semelhantemente ao que ocorreu com a secagem utilizando o coletor solar tipo "A", as diferenças da secagem usando o coletor solar tipo "B" em regimes permanente e transitório, também foram desprezíveis, podendo-se considerar o coletor solar apenas em regime transitório, para avaliação da secagem.

Em virtude dos resultados das temperaturas obtidas na saída deste coletor solar terem sido favoráveis ao isolante lã de vidro, passou-se a analisar os resultados da secagem utilizando o coletor solar com este tipo de isolante.

A figura 8.36 mostra as curvas de teor de umidade do milho em função do tempo de secagem para 3 toneladas do produto, com uma vazão do ar de 100 m³/min, para o modelo climatológico I.

Para a figura 8.36 pode ser feitas considerações idênticas as da figura 8.33.

As figuras 8.37, 8.38 e 8.39 mostram as curvas dos teores de umidades do milho em função do tempo de secagem para 10 toneladas do produto, com as vazões do ar de 50, 100 e 150 m³/min., respectivamente, e modelo climatológico I.

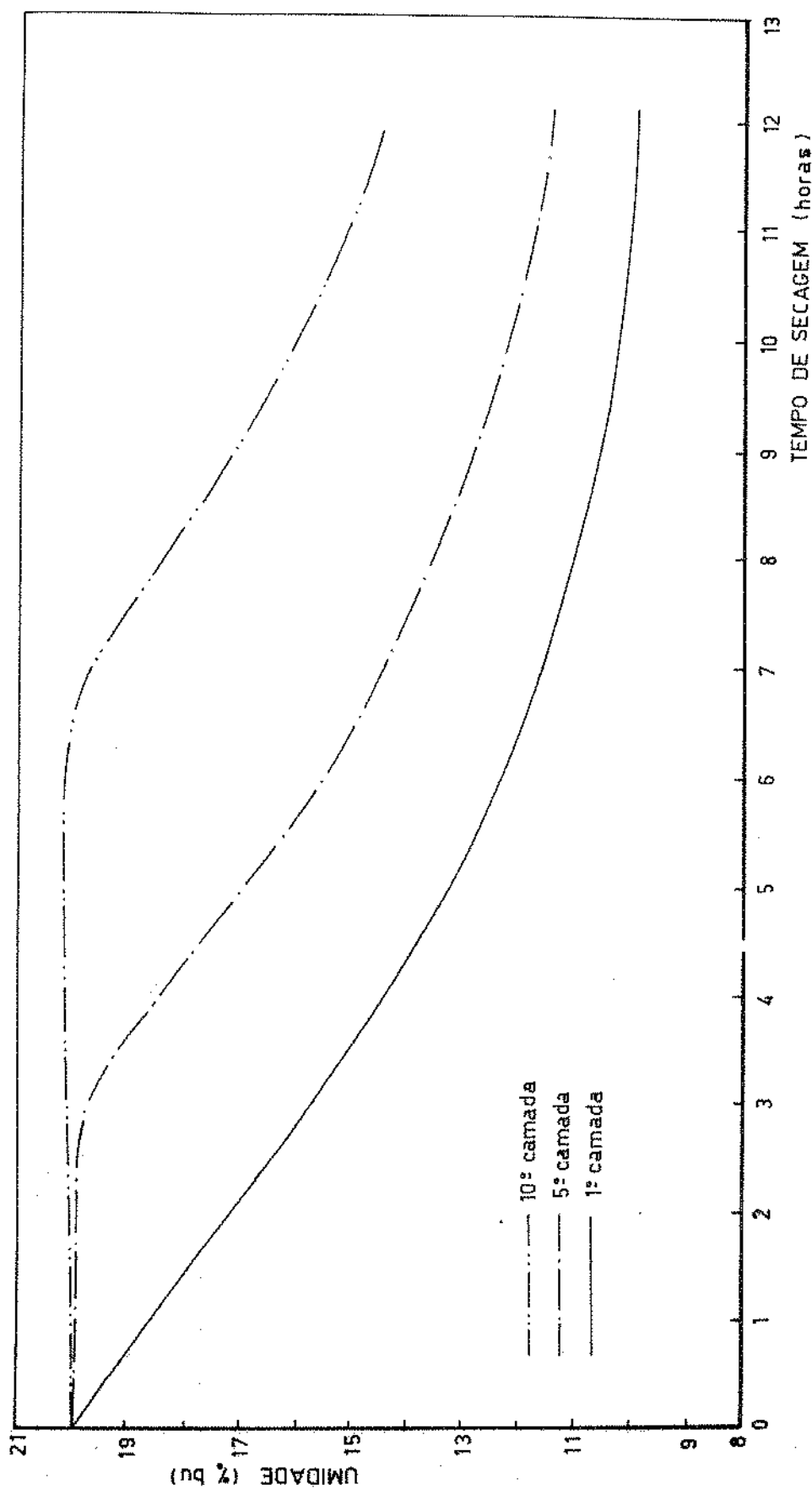


FIGURA 8.36. Teor de umidade do milho (3 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas, regime tran-sitório, isolante lã de vidro, vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$ (Mod-1).

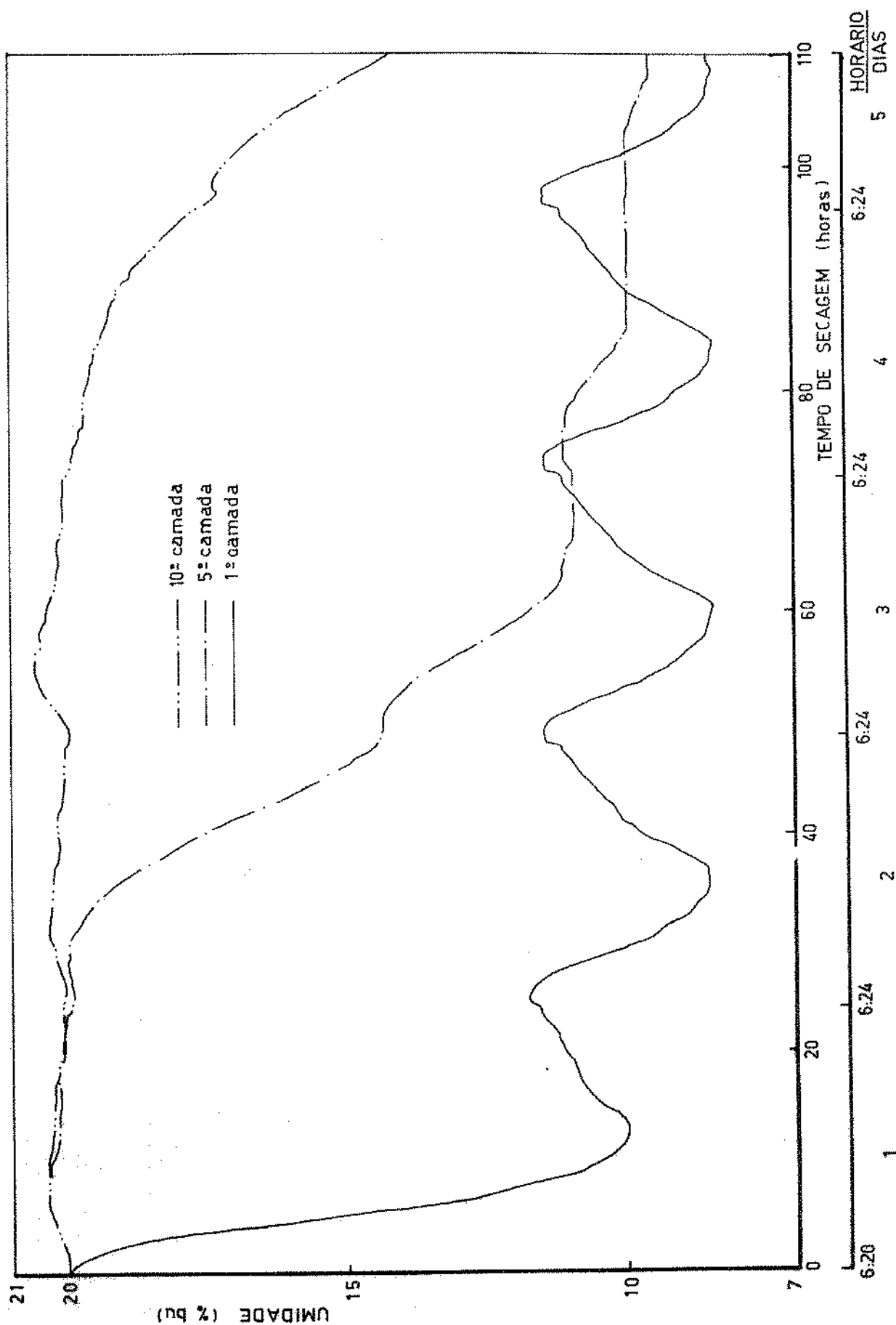


FIGURA 8.37. Teor de umidade do milho (10 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas, regime tran-sitório, isolante 1ª de vidro, vazão do ar 50 m³/min (Mod-I).

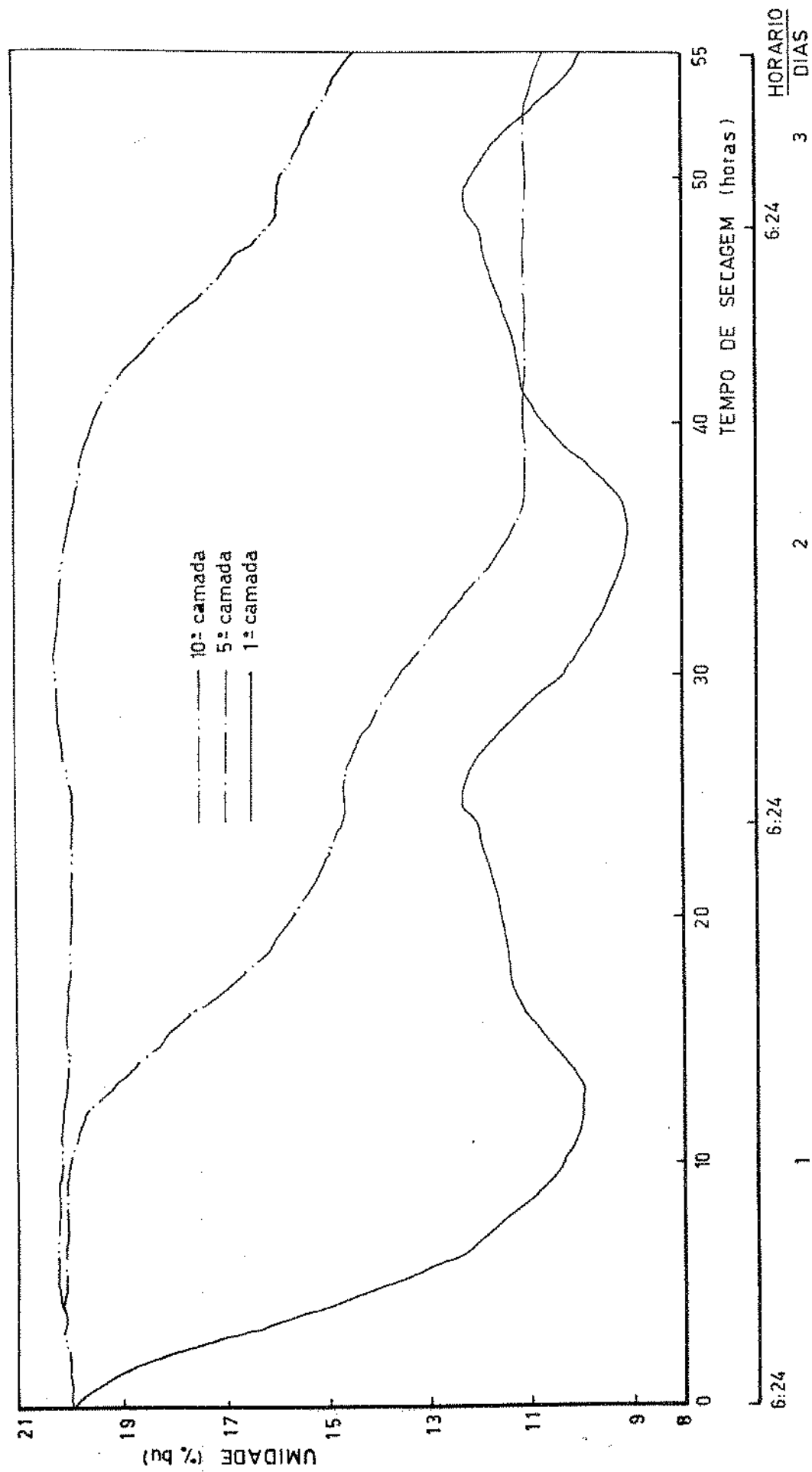


FIGURA 8.38. Teor de umidade do milho (10 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas, regime tran-
sitório, isolante lã de vidro, vazão do ar 100 m³/min (Mod-I).

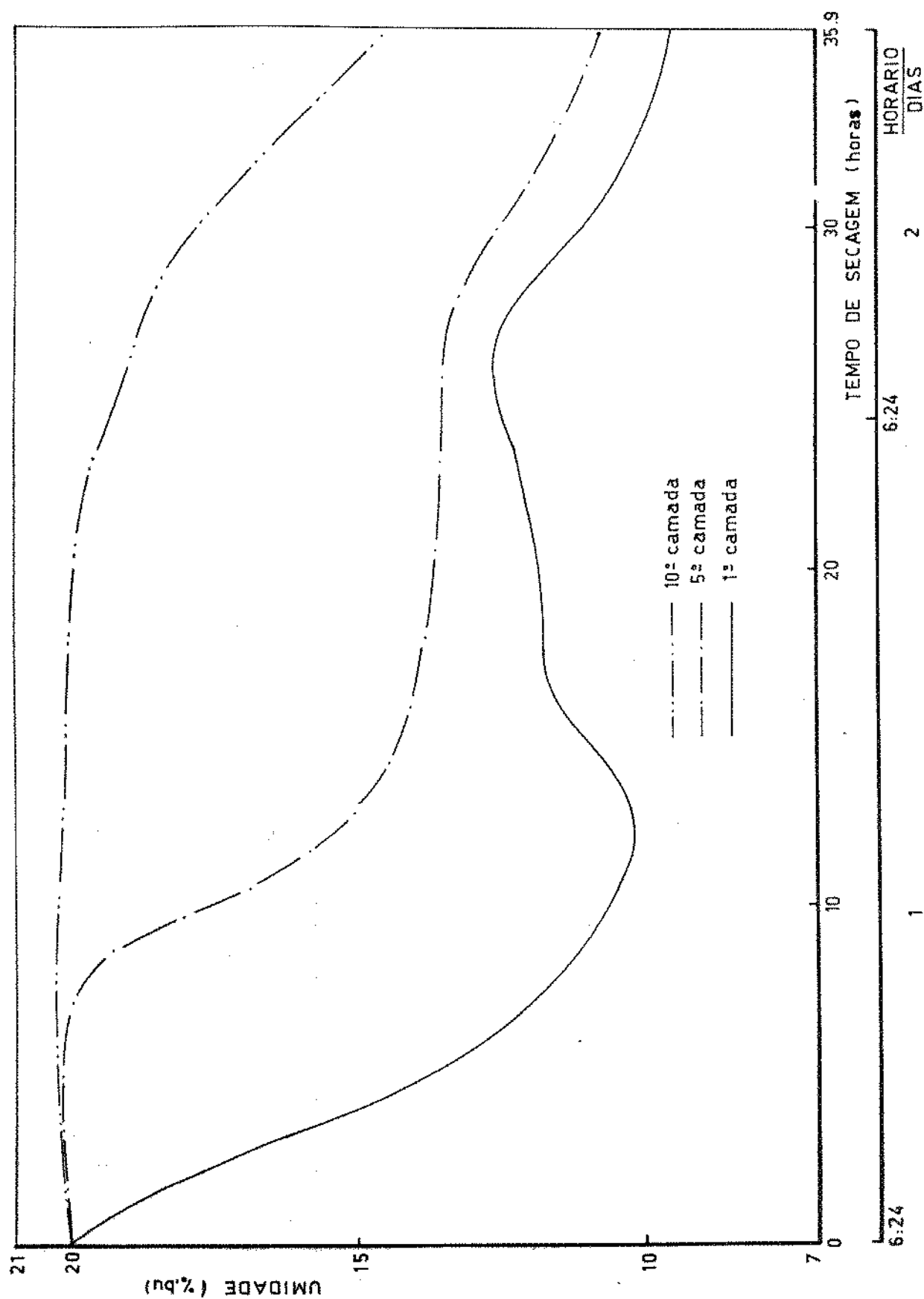


FIGURA 8.39. Teor de umidade do milho (10 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas, regime transitório, isolante 1a de vidro, vazão do ar 150 m³/min (Mod-I).

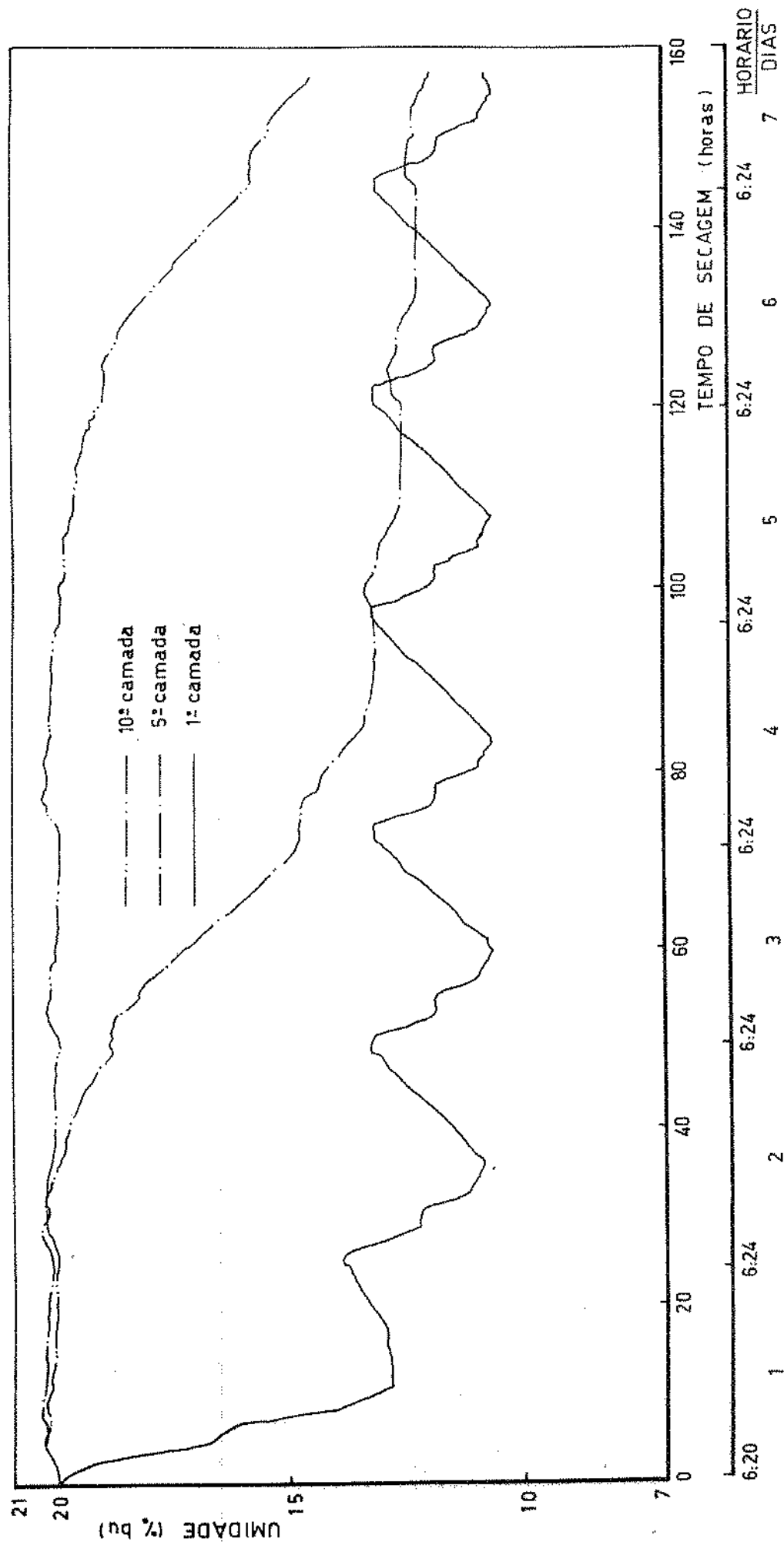


FIGURA 8.40. Teor de umidade do milho (10 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas, regime transitório, isolante lã de vidro, vazão do ar $50 \text{ m}^3/\text{min}$ (Mod-II).

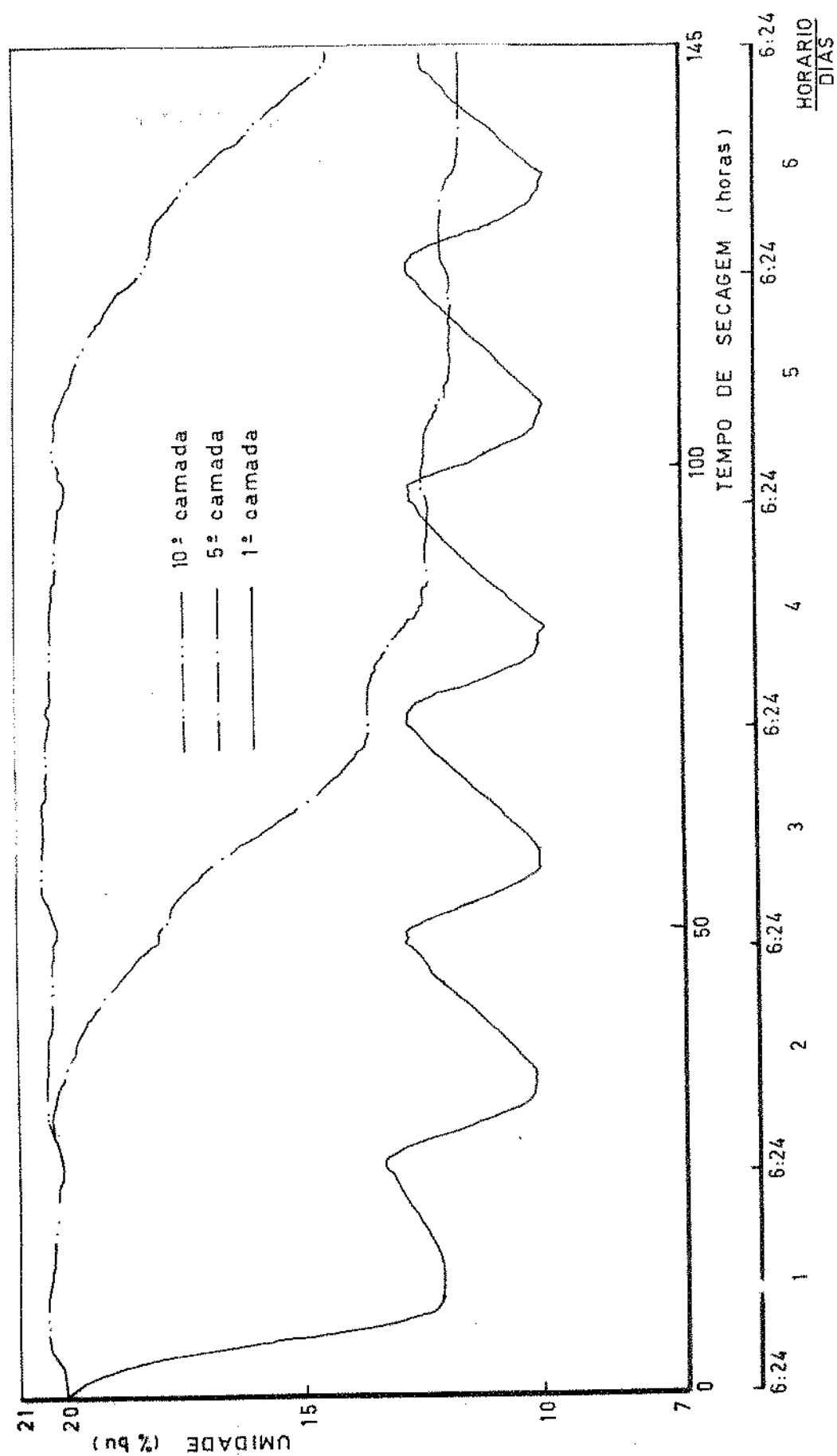


FIGURA 8.41. Teor de umidade do milho (10 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas, regime transitório, isolante 1ã de vidro, vazão do ar $50 \text{ m}^3/\text{min}$ (Mod-III).

Comparando-se os resultados das curvas de secagem das figuras 8.37, 8.38 e 8.39, verifica-se a importância da vazão do ar no processo de secagem. Mesmo com uma diminuição da temperatura do ar na saída do coletor solar com o aumento da vazão, ocorre uma maior retirada de umidade do produto, apresentando uma redução bastante significativa do tempo de secagem em: 109,1; 55,5 e 35,9 horas, para as vazões de 50, 100 e 150 m³/min, e deteriorações máximas de 0,0835%, 0,0385% e 0,0238%, respectivamente.

As figuras 8.40 e 8.41 mostram as curvas dos teores de umidades do milho em função do tempo de secagem para 10 toneladas do produto, com a vazão do ar de 50 m³/min, para os modelos climatológicos II e III, respectivamente.

Comparando-se os resultados das curvas de secagem das figuras 8.37, 8.40 e 8.41, verifica-se que o tempo de secagem varia bastante conforme o modelo climatológico utilizado, para uma mesma vazão do ar e mesma quantidade do produto, o tempo de secagem com os modelos climatológicos I, II e III variou em 109,1; 157,2 e 143 horas, com deteriorações máximas de 0,0835%; 0,0971% e 0,1297%, respectivamente.

Em face as tais variações pode-se avaliar se existe ou não viabilidade de aplicações de um determinado modelo climatológico no processo de secagem, sem riscos de deteriorações do produto.

As tabelas 8.6, 8.7 e 8.8 mostram todos os resultados dos teores de umidades mínimas, máximas e médias, as deteriorações máximas e os tempos das secagens de 3, 10 e

TABELA 8.6. Teores de umidades mínimas, máximas e médias, deteriorações máximas das secagens de 3, 10 e 50 toneladas de milho, em função do tempo de secagem, com vazão do ar de 50 m³/min., utilizando o coletor solar tipo "B", com os modelos climatológicos I, II e III.

Toneladas de milho		3		10		50								
Isolantes (cm)		Pedra (6)		Lã de vidro (6)		Lã de vidro (6)								
Regimes		Perm. Trans.		Perm. Trans.		Perm. Trans.								
Modelos		I	I	I	I	I	I							
Teor de umidade mínima (U mín %)		10,00	10,02	10,03	10,02	11,53	11,31	8,81	9,18	8,60	8,51	10,83	12,49	9,57
Teor de umidade máxima (U mǎx %)		14,48	14,49	14,49	14,48	14,50	14,38	14,50	14,43	14,46	14,49	14,50	14,49	22,15
Teor de umidade média (U mēd %)		11,72	11,73	11,75	11,73	12,35	12,11	10,37	10,41	10,31	10,32	12,36	12,19	14,45
Deterioração máxima (%)		.0189	.0189	.0188	.0192	.0242	.0107	.0875	.0875	.0874	.0835	.0971	.1297	.5328
Tempo de secagem (horas)		36	36,5	30	30,5	43	37	109,8	111	109,3	109,1	157,2	143	408
Tempo de secagem (dias)		1,5	1,52	1,25	1,27	1,79	1,54	4,58	4,63	4,55	4,54	6,55	6,0	17,0

144

*Correspondem as figuras 8.37, 8.40 e 8.41.

TABELA 8.8. Teores de umidades mínimas, máximas e médias, deteriorações máximas das secagens de 10 e 50 toneladas de milho, em função do tempo de secagem, com vazão do ar de 150 m³/min, utilizando o coletor solar tipo "B", com os modelos climatológicos I, II e III.

Toneladas de milho		10						50					
Isolantes (cm)		pedra (6)			Lã de vidro (6)			Pedra (6)			Lã de vidro (6)		
Regimes		Perm.	Trans.	Perm.	Perm.	Trans.		Perm.	Trans.	Perm.	Perm.	Trans.	Trans.
Modelos		I	I	I	*I	II	III	I	I	I	I	I	II
Teor de umidade mínimas (U min %)	9,51	9,53	9,49	9,49	9,49	11,09	11,72	10,68	10,74	10,57	10,59	11,16	
	14,48	14,50	14,49	14,49	14,49	14,41	14,46	14,49	14,46	14,50	14,49	14,40	
Teor de umidade máximas (U máx %)	11,36	11,37	11,34	11,35	12,99	12,91	12,91	11,20	11,21	11,15	11,16	13,00	
	.0238	.0240	.0237	.0238	.0300	.0366	.0366	.1572	.1642	.1676	.1681	.2118	
Deteriorações máximas (%)													
Tempo de secagem (horas)		36	36,2	35,9	35,9	66,1	55	215	216	214,5	214,7	388,5	
Tempo de secagem (dias)		1,50	1,50	1,49	1,49	2,75	2,29	8,96	9	8,94	8,95	16,19	

* Corresponde a figura 8.39.

50 toneladas de milho, com teor de umidade inicial de 20% b.u., utilizando o coletor solar tipo "B" com as vazões do ar de 50, 100 e 150 m³/min, para os modelos climatológicos I, II e III, respectivamente.

Por meio dos dados finais das secagens fornecidas pelas citadas tabelas, verifica-se também que não existem diferenças significativas quando se mantêm constante uma das quantidades do produto, com a mesma vazão do ar e o mesmo modelo climatológico, e variando-se um dos parâmetros do coletor solar.

Ainda com relação as tabelas 8.6, 8.7 e 8.8, pode-se observar a grande viabilidade de aplicações deste tipo de coletor solar no processo de secagem, exceto quando a vazão do ar (m³/min/ton.) atingir um nível muito pequeno, como no caso das últimas colunas das tabelas 8.6 e 8.7, com as vazões do ar de 1 m³/min/ton e 2 m³/min/ton, não foram possíveis as secagens, visto que as deteriorações foram de 0,5328% e 0,5111%, ultrapassando o limite superior permitido que é de 0,5%.

Comparando-se os resultados das secagens da tabela 8.4 com os seus correspondentes da tabela 8.7, verifica-se que existe uma maior eficiência da secagem, quando é utilizado o coletor solar tipo "A". Como exemplo pode-se citar as últimas colunas destas tabelas. Para a primeira a secagem processou-se em 288 horas com deterioração máxima de 0,2718%, enquanto que na segunda a secagem não se completou em 312 horas, haja visto a deterioração de 0,5111%.

Analisando-se todos os resultados das secagens utilizando os coletores solares tipos "A" e "B" das já referidas tabelas, conclui-se que a vazão mínima do ar é um fator bastante importante no processo de secagem, e que a mesma varia para cada quantidade do produto.

Ainda através da análise dos resultados das secagens das tabelas anteriores, também conclui-se que o modelamento matemático desenvolvido para um sistema total coletor solar-secador, pode servir de padrão para dimensionar um sistema coletor solar-secador, quando se fizer necessário a secagem de grãos com uso de energia solar.

9. EXPERIMENTO DO SISTEMA TOTAL COLETOR SOLAR-SECADOR

O experimento do sistema total coletor solar-secador, foi instalado com o objetivo de comprovar a validade da parte teórica do modelamento matemático do coletor solar assim como, a comprovação da secagem com uso deste coletor solar.

Descrição da parte experimental do coletor solar e secador:

Para este objetivo foi escolhido e construído um coletor solar armazenador de calor do tipo "A", com 10 m de comprimento, 2 m de largura, com uma área transversal de passagem do ar de $0,2 \text{ m}^2$, com orientação leste-oeste.

A base do coletor solar foi construída por uma camada de terra compactada de 51 cm de espessura, valor fornecido pelo oitavo capítulo, e a face superior voltava para o norte, formando um ângulo de 30° com a superfície do solo.

As laterais da camada de terra foram protegidas por tábuas que serviram como paredes do coletor, entre as tábuas e a terra foram colocados lençóis de polietileno preto para evitar migração de umidade, as propriedades físicas da terra foram as utilizadas no oitavo capítulo. Sobre a camada de terra foi colocada uma camada de pedra britada com 10,5 cm de espessura, valor médio também fornecido pelo oitavo capítulo, formando assim, o isolante composto.

A superfície superior da camada de pedra foi pintada de preto fusco, passando a atuar como a própria placa absorvente, com emissividade e absorvância igual a 0,95.

Acima da camada de pedra com um espaço de 10 cm foi colocada uma tela de arame, fixada nas laterais do coletor e pintada de branco com a finalidade de servir de proteção para a cobertura transparente de P.V.C., com 0,40 mm de espessura.

Para a secagem foi utilizado um silo secador metálico com 1,50 m de diâmetro e 1,70 m de altura, com o ar entrando pelo plenum formado pela base do silo e por uma cha-pa de aço perfurada para sustentação dos grãos e distribui-ção do ar, plugs laterais para retirada das amostras do produto e no topo do silo uma saída para o ar úmido.

A figura 9.1 mostra o conjunto coletor solar-seca-dor, utilizado no experimento.

Entre o coletor solar e o silo secador foi insta-lado um ventilador centrífugo com potência de 2,5 cv.

A medição da vazão do ar foi feita através de um duto com orifício e um manômetro diferencial de coluna d'água, calibrados com um tubo de Pitot.

A regulação da vazão do ar foi feita por meio de uma válvula borboleta localizada entre o orifício calibrado e o ventilador, ficando bem próximo do ventilador.

Para medição da radiação solar global foi utiliza

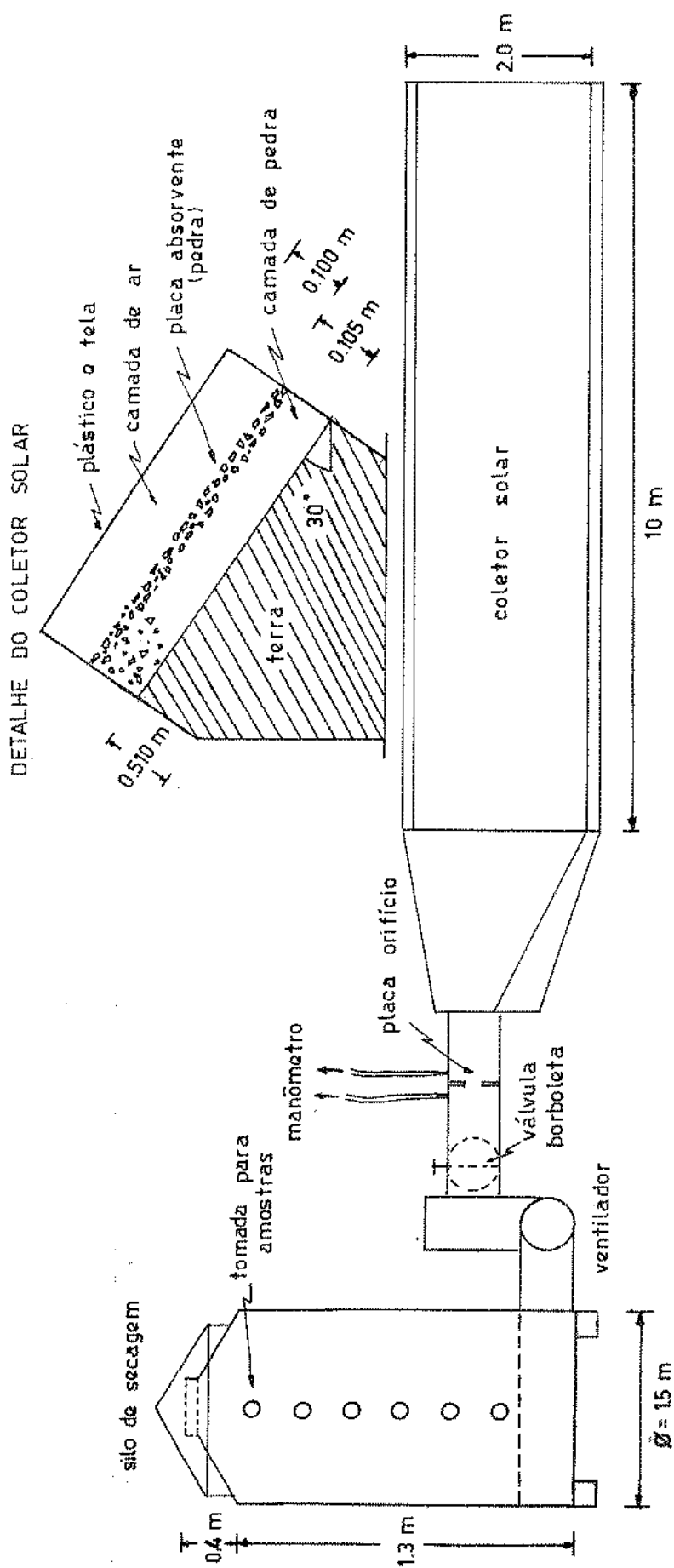


FIGURA 9.1. Conjunto coletor solar-secador utilizado nos experimentos 1,2 e 3.

do um RADIOMETRO EPPLEY MODELO - PSP, localizado no mesmo plano da superfície do coletor solar, e conectado em um registrador SPEEDOMAX-H (LEEDS & NORTHRUP) que fazia em uma carta os registros contínuos da intensidade da radiação solar.

A temperatura ambiente e umidade relativa do ar foram medidas e registradas em uma carta contínua, através de um TERMOHIGRÔMETRO do tipo NG 5538, N° 450587-CMR DO BRASIL.

Para medições das temperaturas do ar na saída do coletor solar e entrada do silo secador, foram utilizados termopares do tipo "T" de cobre(+)-constantan(-), conectados a um registrador de temperaturas ARUCOMP de 6 pontos, que fazia a marcação dos pontos em uma carta registradora. Como o registrador ARUCOMP registrava apenas a diferença de temperatura entre o ambiente e as dos pontos desejados, foi necessário para cada ponto instalar em série mais um termopar de cobre-constantan exposto ao ambiente como ponto de referência.

A velocidade do vento foi medida com um ANEMÔMETRO-GEORG ROSENMULLER 806 DRESDEN (m/min).

O experimento foi realizado em 2 períodos distintos.

Primeiro período do experimento

Neste período foi realizado o experimento do sistema total coletor solar-secador, efetuando-se o teste do

coletor solar simultaneamente com a secagem de milho.

O sistema coletor solar-secador entrou em funcionamento às 8:00 horas do dia 29/05/1984 e foi desligado às 6:30 horas do dia 30/05/1984, ou seja, com um intervalo de 22,5 horas de funcionamento.

A vazão do ar utilizado no sistema foi de $28 \text{ m}^3/\text{min}$ e sua temperatura foi medida na saída do coletor solar e na entrada do silo secador. A velocidade média do vento foi aproximadamente 1 m/s .

Mesmo sendo desenvolvido simultaneamente o experimento coletor solar-secagem, considerou-se para efeito de análises primeiro o coletor solar e em seguida a secagem, sendo analisado cada um experimentalmente e teoricamente.

Parte experimental do coletor solar:

Para a camada de pedra britada foram retiradas 10 amostras em locais distintos e determinado o espaço vazio de cada amostra. A média dos espaços vazios das amostras foi 48% do volume total.

Com o valor médio dos espaços vazios, as propriedades físicas da pedra propriamente dita e do ar, assim como as equações utilizadas no início do capítulo oito, determinou-se a densidade aparente igual a 1602 Kg/m^3 e a condutividade térmica aparente igual a $0,07772 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, para a camada de pedra britada.

Ainda com relação a camada de pedra britada, veri

ficou-se que a superfície superior apesar de ter sido compactada, apresentava bastante reentrâncias, aumentando a área de contato com o ar, com relação a superfície plana.

Para determinar este acréscimo de área em contato com o ar, foram escolhidas 50 amostras diferentes da superfície plana, cada uma com dimensões de 20 cm x 20 cm. Em seguida foi feita uma tentativa de medições acompanhando as reentrâncias, e o valor médio final foi de 170% com relação a superfície plana.

A radiação solar foi medida das 8:00 às 17:30 horas, horário em que encerrou o período de insolação, o gráfico desta radiação solar encontra-se na figura 9.2.

A temperatura ambiente e umidade relativa do ar foram medidas durante todo o intervalo de execução do experimento e encontram-se na figura 9.3.

A medição da temperatura do ar na saída do coletor solar foi feita durante todo experimento, mas graficada até o instante em que a referida temperatura igualou-se a temperatura ambiente, isto é, às 22:00 horas, este ponto correspondeu a mais ou menos o momento em que não existia mais calor armazenado no isolante. Os gráficos desta temperatura e temperatura ambiente, encontram-se na figura 9.4.

Parte teórica do coletor solar:

A parte teórica do coletor solar foi processada utilizando o programa do apêndice (B3), para isolante composto conforme definido no item 5.4.

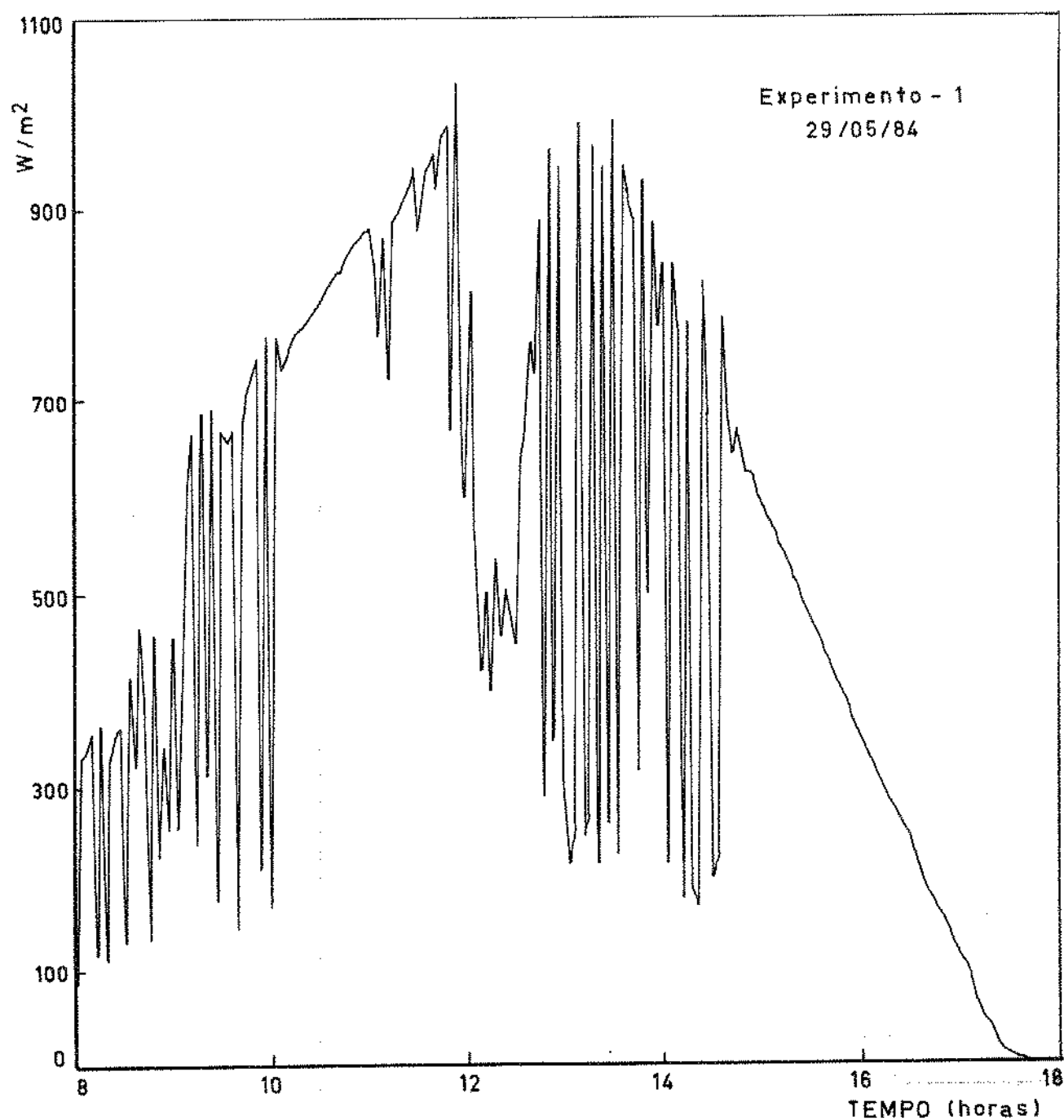


FIGURA 9.2. Radiação solar correspondente ao experimento 01 do dia 29/05/84.

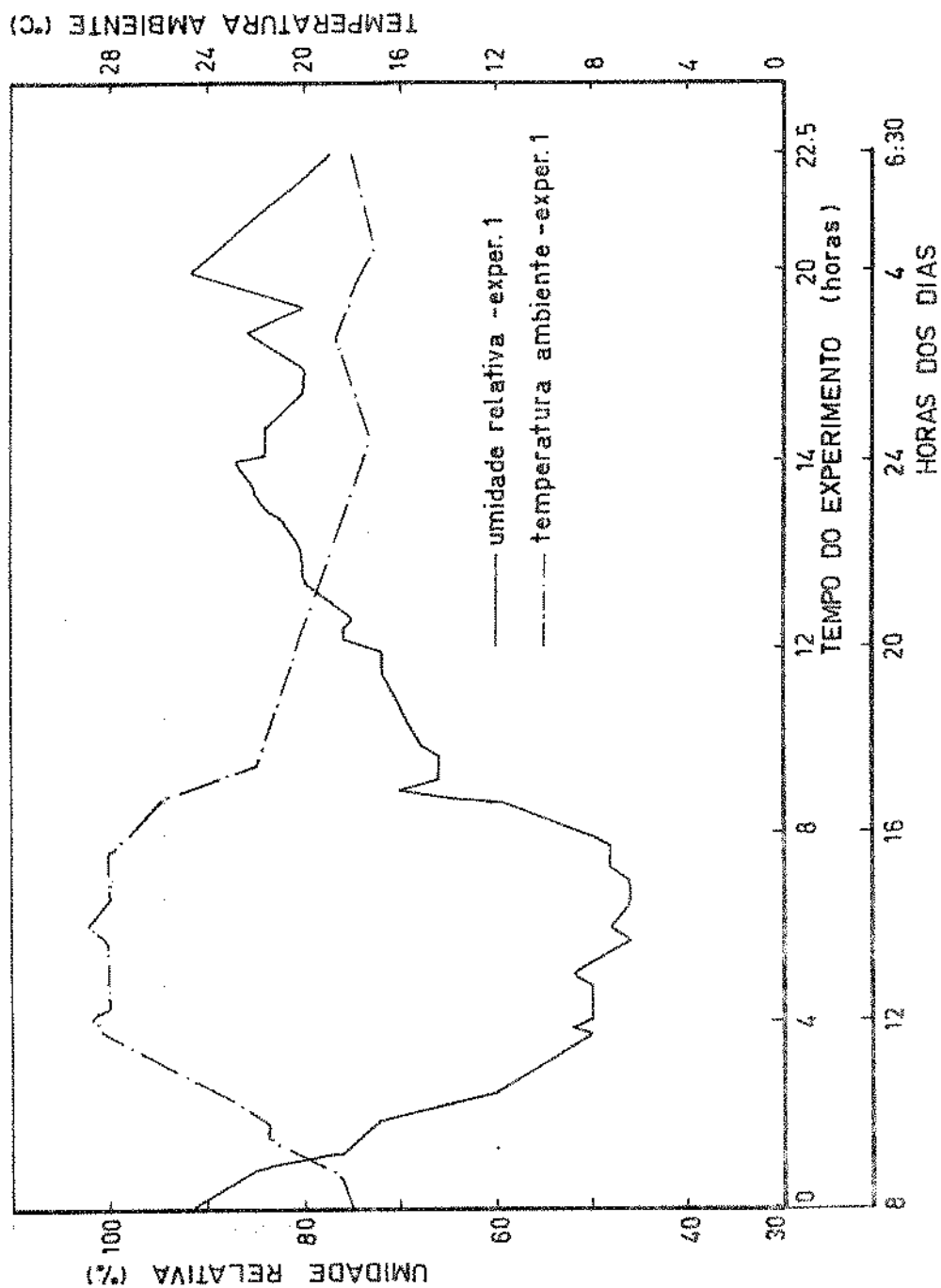


FIGURA 9.3. Umidade relativa e temperatura ambiente correspondentes ao experimento 01 dos dias 29-30/05/84.

Como neste caso a radiação solar foi medida no mesmo plano do coletor solar, portanto eliminou-se naquele programa o fator (R_g) de conversão de radiação solar em uma superfície horizontal para uma superfície inclinada.

Os dados da radiação solar, temperatura ambiente e umidade relativa utilizados foram os das figuras 9.2 e 9.3, respectivamente.

Com os parâmetros geométricos do coletor solar, propriedades físicas dos materiais, vazão do ar e velocidade do vento definidos anteriormente, foi feito o processamento do coletor solar.

Os parâmetros K, K1 e K2 definidos no item 5.1 e utilizados no programa do apêndice (B3) como XK, XK1 e XK2, foram determinados do seguinte modo:

XK1: foi medido experimentalmente com valor igual a 1,7.

Para determinar os valores de XK e XK2 foram fixados todos os demais parâmetros do coletor solar, e feitas várias permutações entre XK e XK2, variando-se os seus valores de 1 até o valor máximo possível. Para cada permutação era comparada a curva da temperatura teórica do ar obtida na saída do coletor solar com a curva da temperatura experimental do ar obtida anteriormente na saída do coletor solar.

Entre todas as tentativas os valores de XK=1,5 e XK2=1,5 foram os que aproximaram mais a curva teórica da ex

perimental, conforme figura 9.4.

Através das curvas das temperaturas teórica e experimental obtidas na saída do coletor solar, figura 9.4, conclui-se que o modelo matemático desenvolvido, ajusta-se relativamente bem para este tipo de coletor solar.

Parte experimental da secagem:

A secagem foi iniciada no mesmo instante em que entrou em funcionamento o coletor solar, com a vazão de 28 m³/min. do ar aquecido pelo coletor solar.

Foram utilizados 640 Kg de milho fornecidos pelo Departamento Genético e Evolução da UNICAMP, com teor de umidade inicial de 17% b.u., e densidade aparente igual a 807,54 Kg/m³.

O milho foi colocado no silo secador, formando uma camada com 1,50 m de diâmetro e 0,45 m de altura. Para retiradas das amostras a fim de ser determinado o teor de umidade, assim como, para os cálculos da parte teórica, a altura do milho foi dividida em 7 camadas delgadas consecutivas, com alturas iguais a 0,0643 m.

Para cada hora durante todo tempo de secagem foram retiradas amostras simultaneamente da primeira, quarta e sétima camadas do milho e determinados os teores de umidades.

No momento de cada coleta determinou-se os teores de umidades das amostras através de um HIGROPANT, este apa

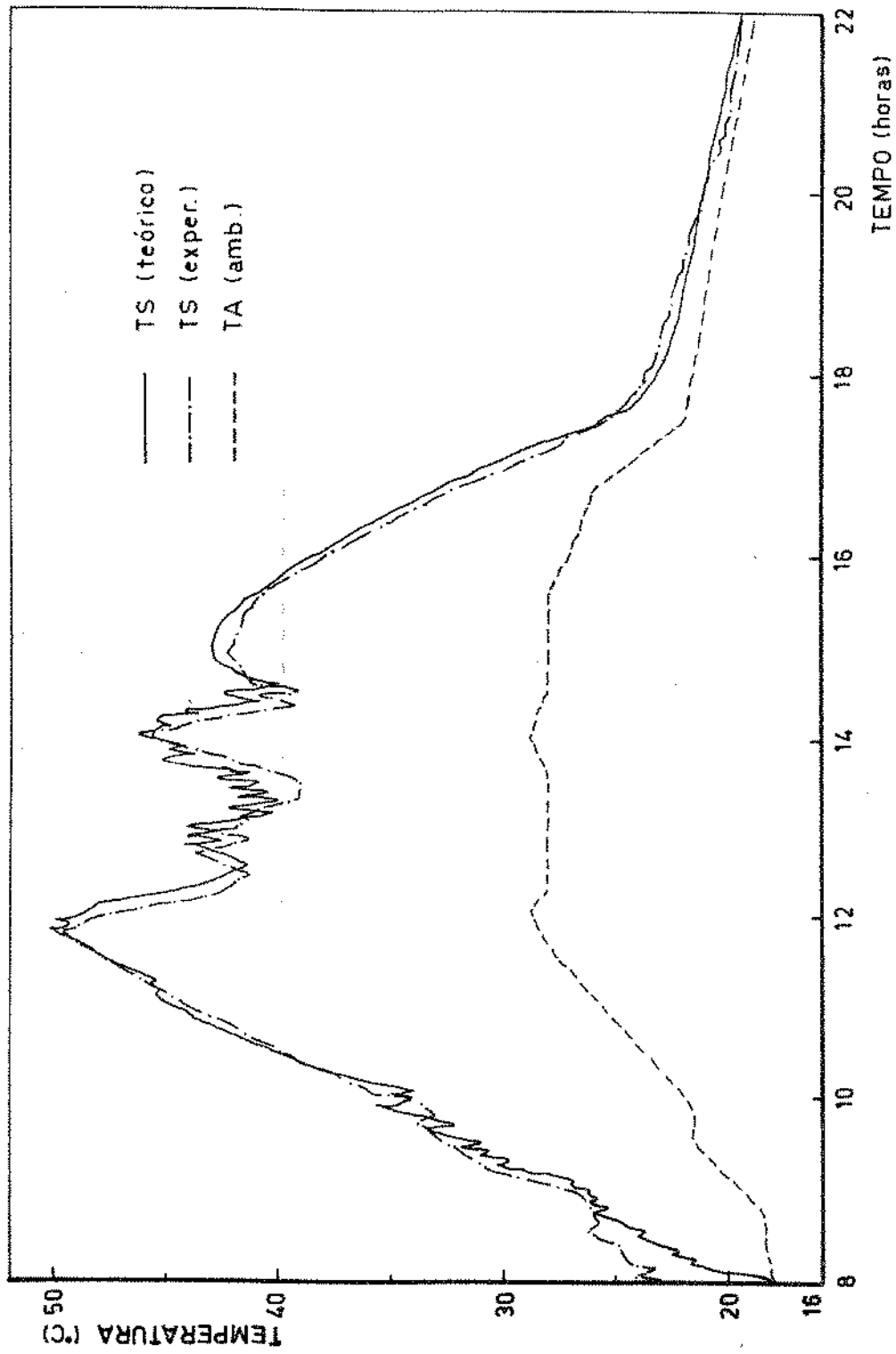


FIGURA 9.4. Temperaturas teórica e experimental da saída do coletor solar, e temperatura ambiente correspondentes ao experimento 1 do dia 29/05/84.

relho mede o teor de umidade do produto até o mínimo de 11% b.u.

Em seguida, cada amostra foi dividida em duas partes, sendo pesadas em uma BALANÇA (SORTORIUS) com capacidade máxima de 200 g e colocadas em uma ESTUFA (RETILINEA). Após 24 horas as amostras foram retiradas da estufa e novamente pesadas, determinando-se a média do teor de umidade de cada uma.

A tabela 9.1 mostra os valores médios dos teores de umidades das camadas para cada hora de coletas das amostras.

Através dos resultados da tabela 9.1, pode-se verificar que às 13:00 horas a secagem já tinha alcançado o teor médio de umidade de 11,42%, com o teor de umidade da camada superior igual a 13,19%, o que já era suficiente para desligar o sistema. No entanto deixou-se que a secagem prolongasse até às 6:30 horas do dia seguinte, para se comparar os resultados da reumidificação da parte experimental com os da parte teórica.

A figura 9.5 mostra as curvas dos teores médios das umidades mostrados pela tabela 9.1.

Parte teórica da secagem:

A parte teórica da secagem foi processada através do programa do apêndice (B6), utilizando a mesma quantidade de milho, nas mesmas condições da parte experimental.

TABELA 9.1. Teores de umidades (% b.u.) para a primeira, quarta e sétima camadas da secagem de 640 Kg de milho, em função do tempo, correspondente ao experimento dos dias 29 e 30/05/84.

Horas + Camadas ↓	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
1ª	17,00	15,96	17,57	11,50	11,03	9,81	8,97	8,80	8,27	8,41	8,48	9,61
2ª	17,00	17,00	15,41	14,79	12,89	11,26	11,05	9,68	9,75	9,29	8,91	9,21
3ª	17,00	17,00	17,10	16,15	15,18	13,19	12,97	11,08	10,67	10,12	10,22	10,88
	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	6:30
1ª	9,65	9,72	10,51	10,42	11,31	10,92	11,61	11,95	11,71	11,48	11,51	11,51
2ª	9,85	9,43	9,26	9,27	10,01	9,68	10,00	10,37	11,19	10,67	10,67	10,67
3ª	10,38	10,18	10,87	10,63	10,55	10,58	10,81	10,15	9,72	10,07	10,15	10,10

Foram também utilizadas a temperatura e razão de mistura do ar, com a vazão de $28 \text{ m}^3/\text{min}$, obtidas teoricamente na saída de coletor solar igual ao do experimento.

O ar utilizado na secagem recebe um acréscimo de temperatura (ΔTS) pela ação do ventilador, durante o experimento medindo-se a temperatura do ar na saída do coletor solar e entrada do silo secador, verificou-se que para $TS < 20^\circ\text{C} \rightarrow \Delta TS = 3^\circ\text{C}$, para $20^\circ\text{C} < TS < 41^\circ\text{C} \rightarrow \Delta TS = TS - TS/7 + 41/7$ e para $TS > 41^\circ\text{C} \rightarrow \Delta TS = 0^\circ\text{C}$.

Estes valores foram introduzidos no programa do apêndice (B6) em substituição ao valor de $1,5^\circ\text{C}$, atribuído pela ação do ventilador.

Para um intervalo de tempo de secagem igual ao da parte experimental, os valores teóricos dos teores de umidade da primeira, quarta e sétima camadas do milho, encontram-se na figura 9.5.

Através das curvas de secagem da figura 9.5, conclui-se que existe uma boa correlação entre a parte teórica e a experimental da secagem.

Por meio dos resultados teóricos e experimentais das figuras 9.4 e 9.5, conclui-se que existe um bom correlacionamento entre o modelo matemático desenvolvido para o coletor solar e o modelo matemático da secagem de grãos (Morey).

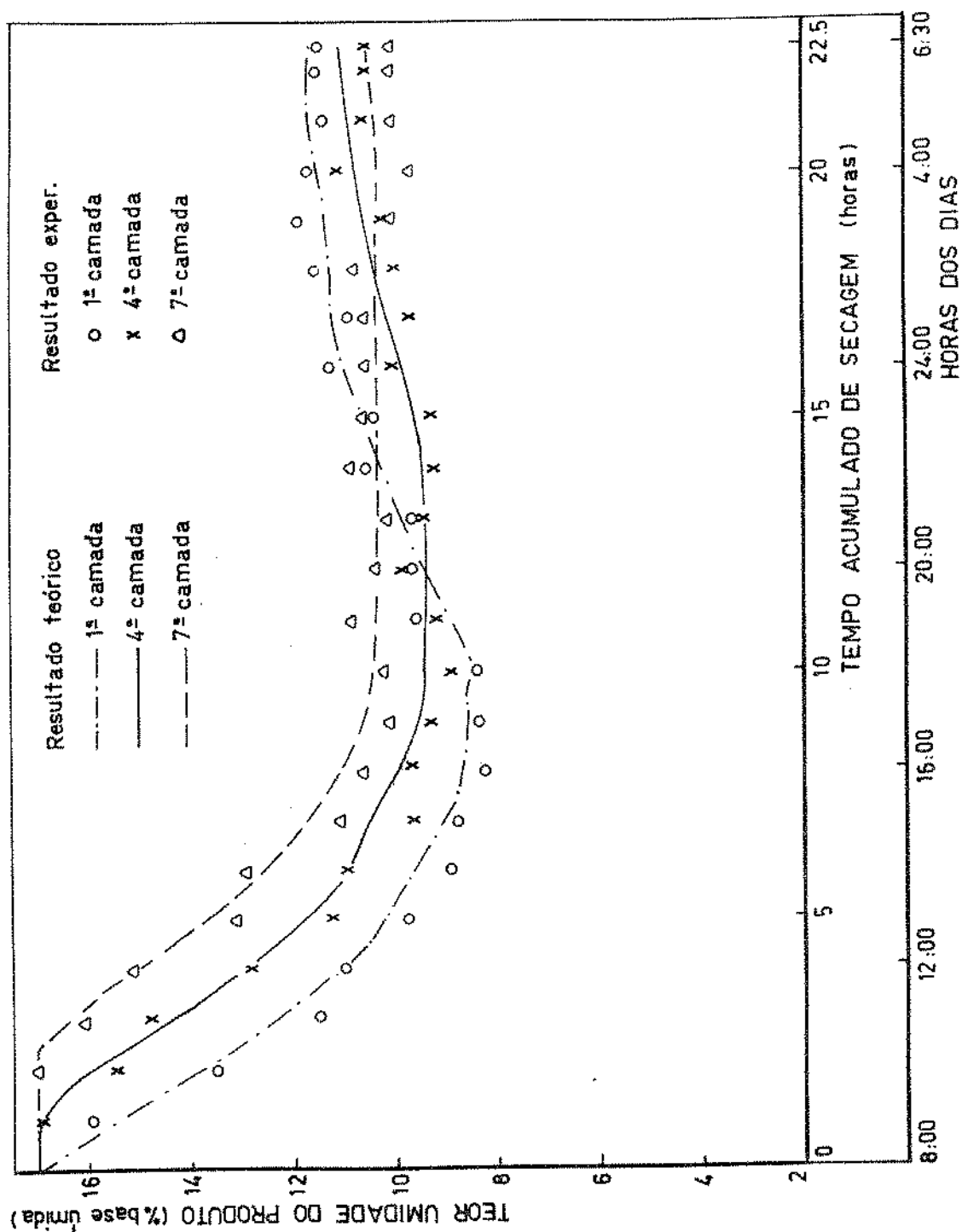


FIGURA 9.5. Curvas teóricas e experimentais do teor de umidade do milho (640 Kg), em função do tempo de secagem, correspondente ao experimento 01 dos dias 29-30/05/84.

Segundo período de experimento;

No segundo período o experimento foi realizado nos dias 07 e 08/06/1984, somente para o coletor solar utilizado no primeiro período. A repetição do experimento do coletor solar foi feita com o objetivo de se obter mais resultados experimentais com vazões diferente do ar e testá-los com os resultados experimentais, a fim de aumentar a confiabilidade do modelo matemático do coletor solar.

Para o experimento do coletor solar realizado no dia 07/06/1984 no intervalo das 7:00 às 20:00 horas, a vazão do ar foi de $27 \text{ m}^3/\text{min}$. com a velocidade média do vento de 1 m/s . A radiação solar, temperatura ambiente e umidade relativa do ar medidas neste experimento, encontram-se nas figuras 9.6, 9.7 e 9.8.

A temperatura do ar obtida experimentalmente na saída do coletor solar e a temperatura do ar obtida teoricamente através do modelo matemático para um coletor solar idêntico ao do experimento, assim como, a temperatura ambiente, encontram-se na figura 9.9.

Para o experimento do coletor solar realizado no dia 08/06/1984 no intervalo das 7:00 às 21:00 horas, a vazão do ar foi de $23 \text{ m}^3/\text{min}$. com velocidade do vento também de 1 m/s . A radiação solar, temperatura ambiente e umidade relativa do ar deste experimento, encontram-se nas figuras 9.10, 9.7 e 9.8.

Os resultados das temperaturas experimental e teó

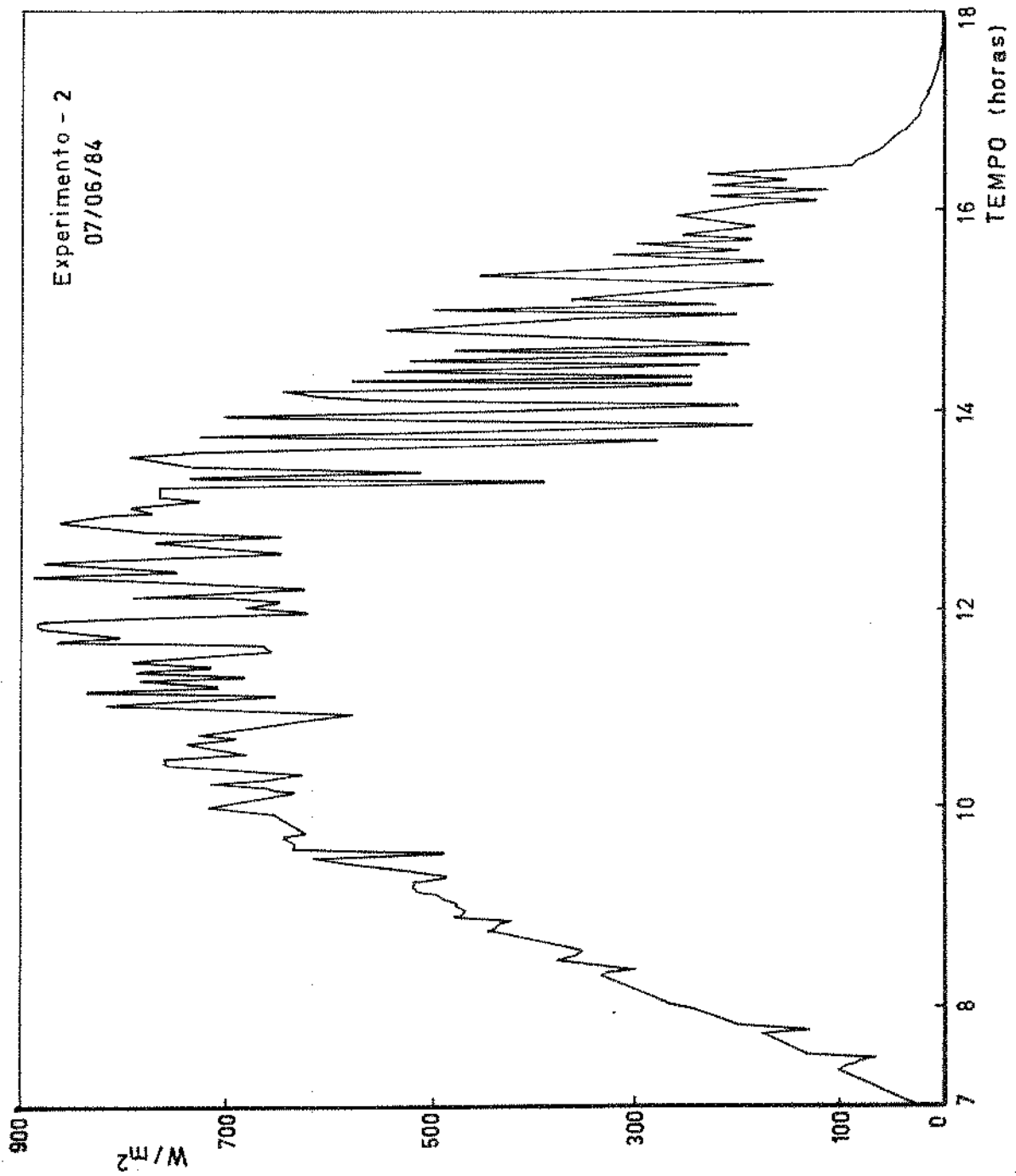


FIGURA 9.6. Radiação solar correspondente ao experimento 02 do dia 07/06/84.

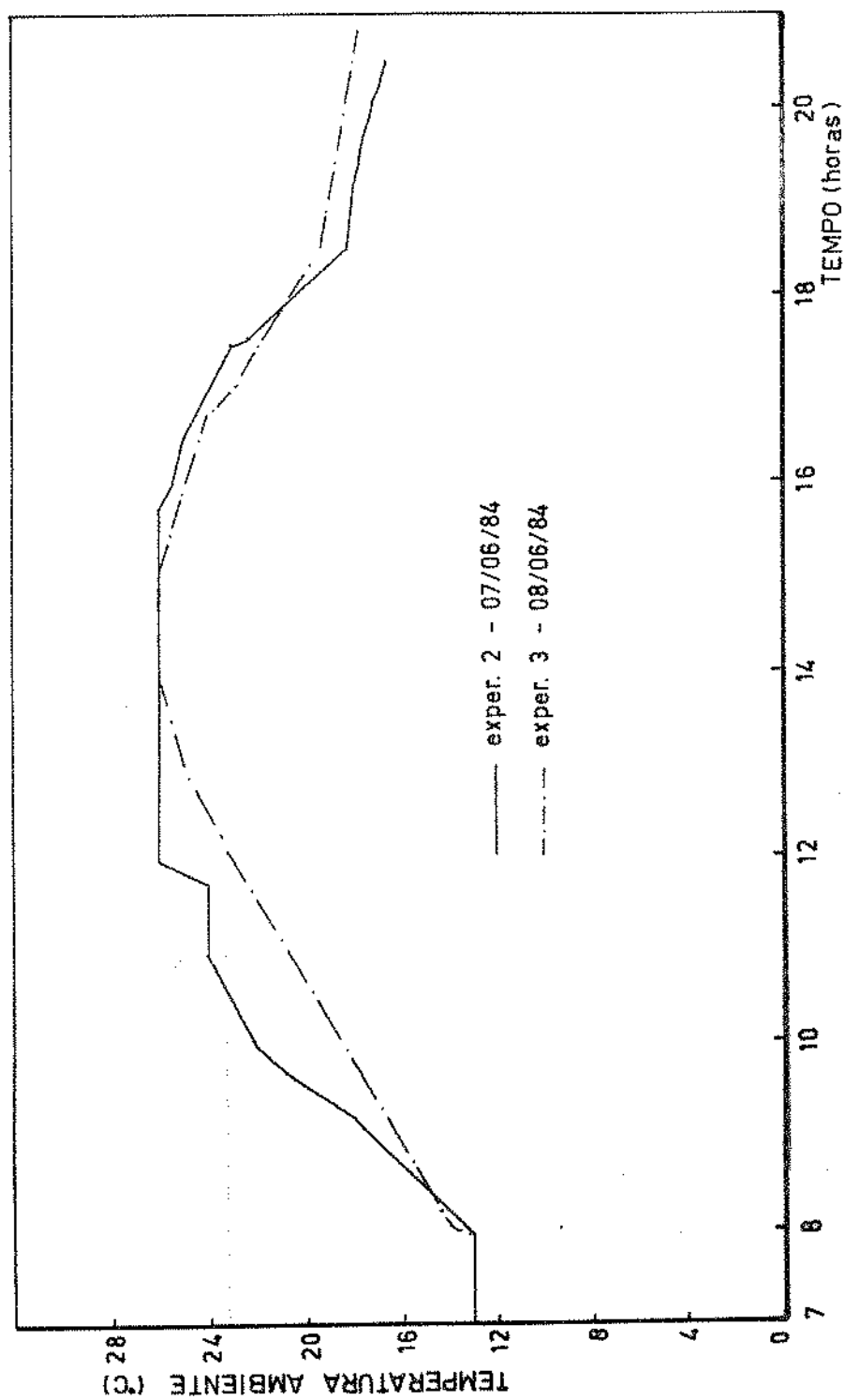


FIGURA 9.7. Temperaturas ambientes correspondentes aos experimentos 2 e 3 dos dias 07 e 08/06/84.

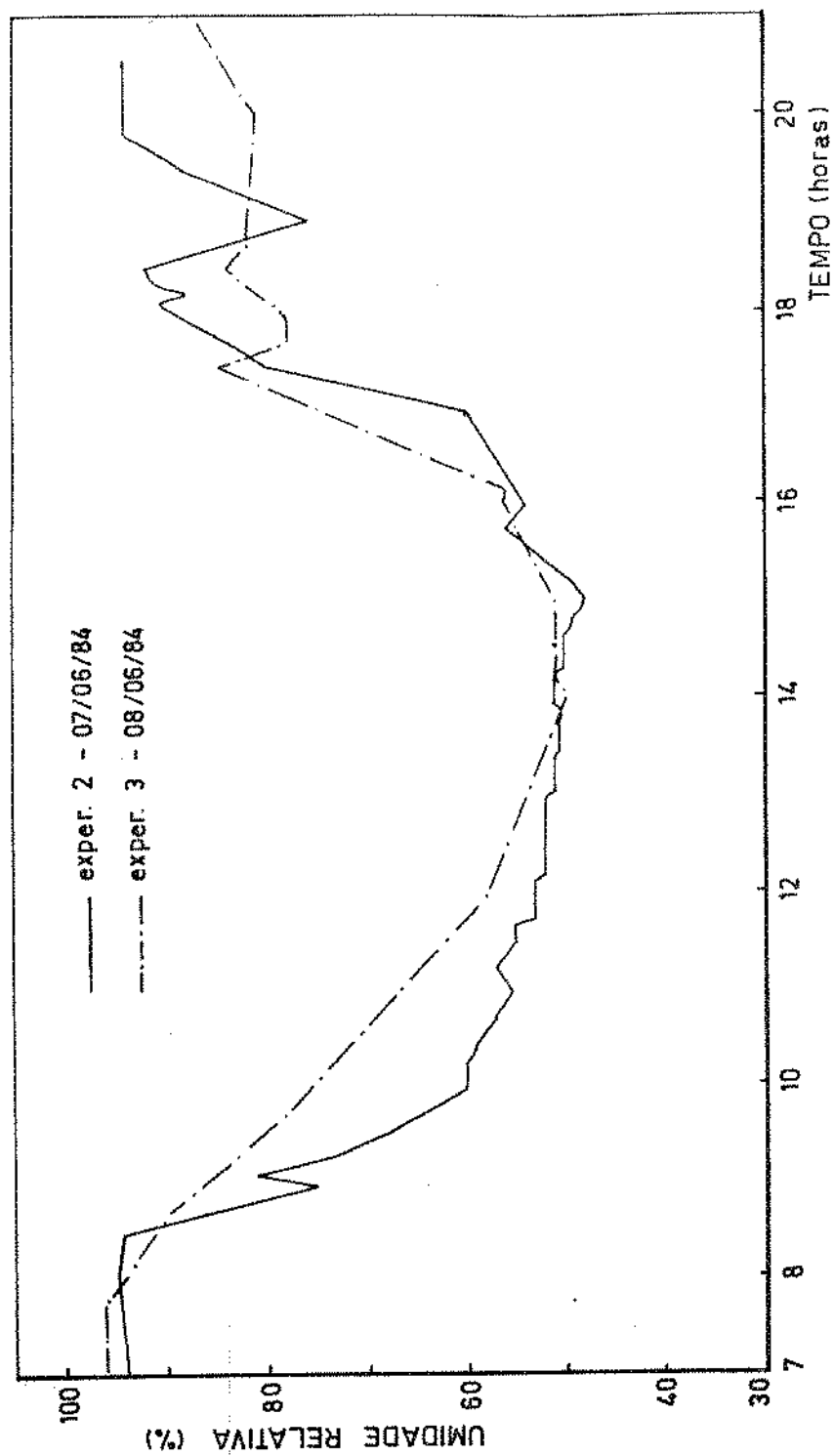


FIGURA 9.8. Umidades relativas correspondentes aos experimentos 2 e 3 dos dias 07 e 08/06/84.

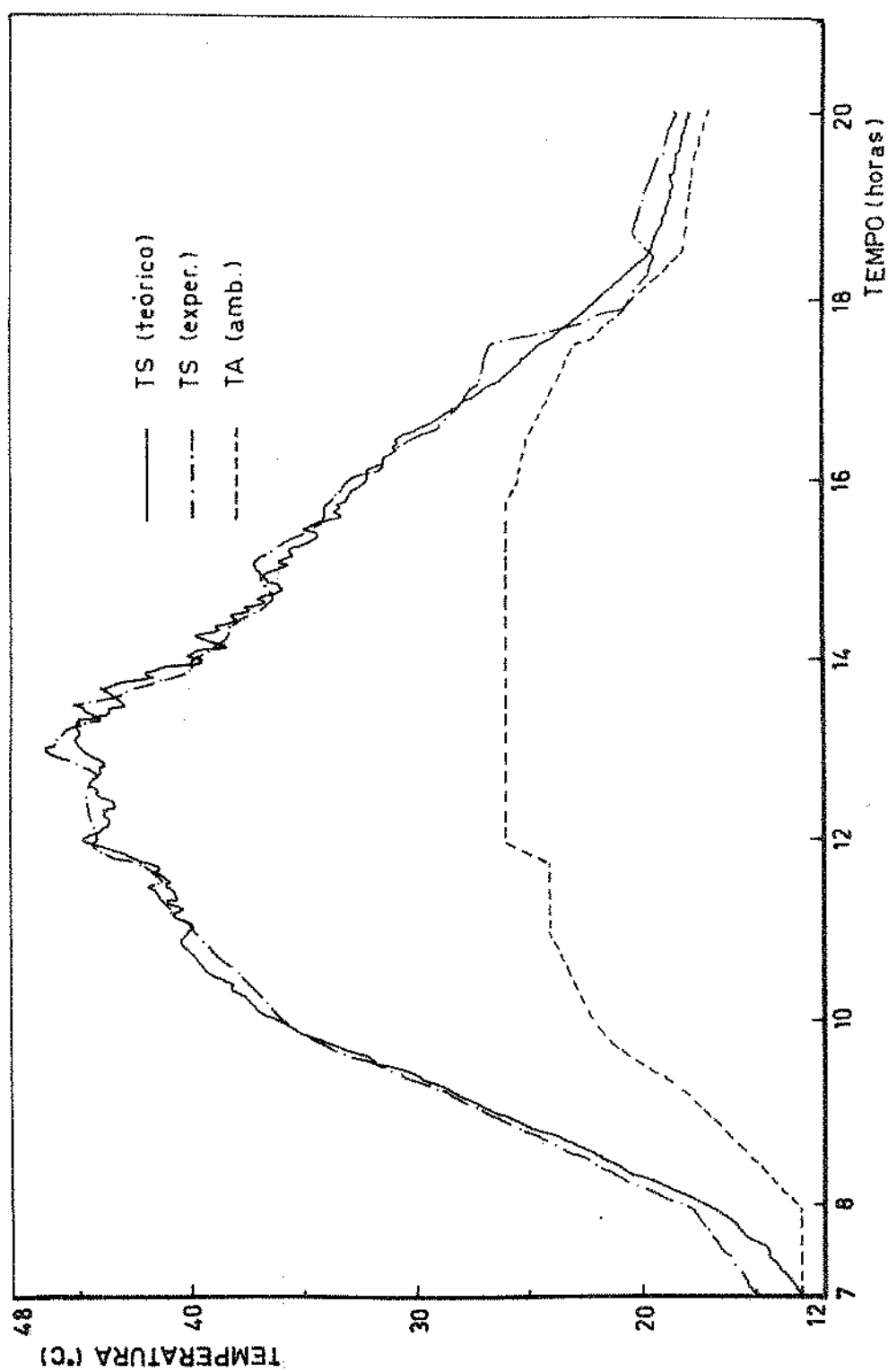


FIGURA 9.9. Temperaturas teórica e experimental da saída do coletor solar, e temperatura ambiente, correspondentes ao experimento 2 do dia

07/06/84.

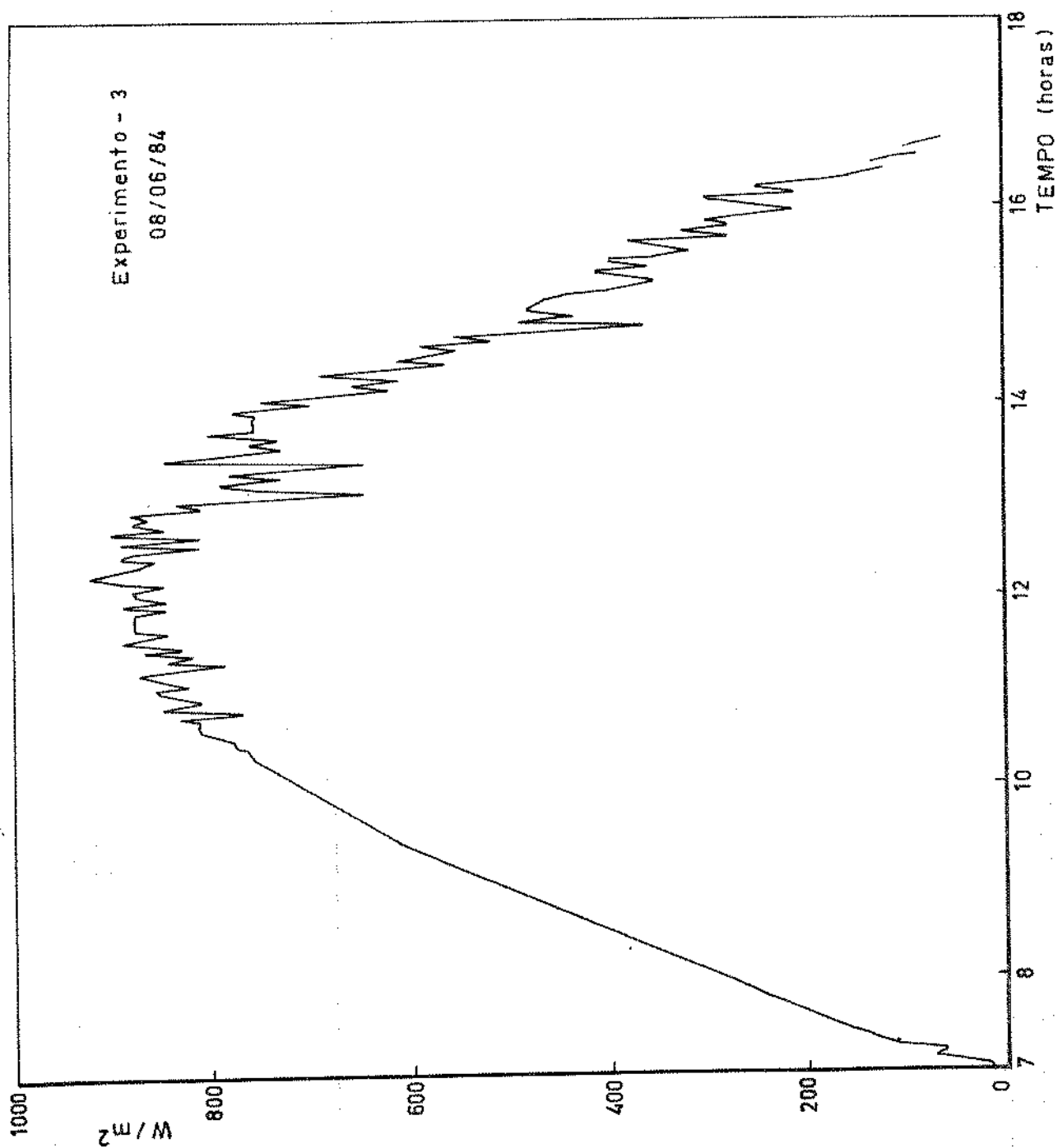


FIGURA 9.10. Radiação solar correspondente ao experimento 3 do dia 08/06/84.

rica, foram obtidos de modo idêntico aos do experimento anterior e encontram-se na figura 9.11.

Os resultados mostrados pelas figuras 9.9 e 9.11, confirmam que realmente existe uma boa correlação entre o modelo teórico do coletor solar e a parte experimental deste coletor solar.

A tabela 9.2 mostra os rendimentos e os calores armazenados obtidos da parte teórica, a partir de dados dos experimentos 1, 2 e 3 do coletor solar.

TABELA 9.2. Rendimentos e calores armazenados correspondentes a parte teórica, a partir de dados dos experimentos 1, 2 e 3 do coletor solar. O coletor solar possui isolante pedra (10,5 cm), mais terra (51 cm) e cobertura de P.V.C., com 0,40 mm de espessura.

Experimento	1	2	3
Vazão (m^3/min)	28	27	23
$N_{s,d}$	0,5849	0,5749	0,5517
$N_{u,d}$	0,6066	0,5913	0,5695
N_{arm}	0,3640	0,2264	0,2527
ARM(KW)	705,84	801,20	926,43

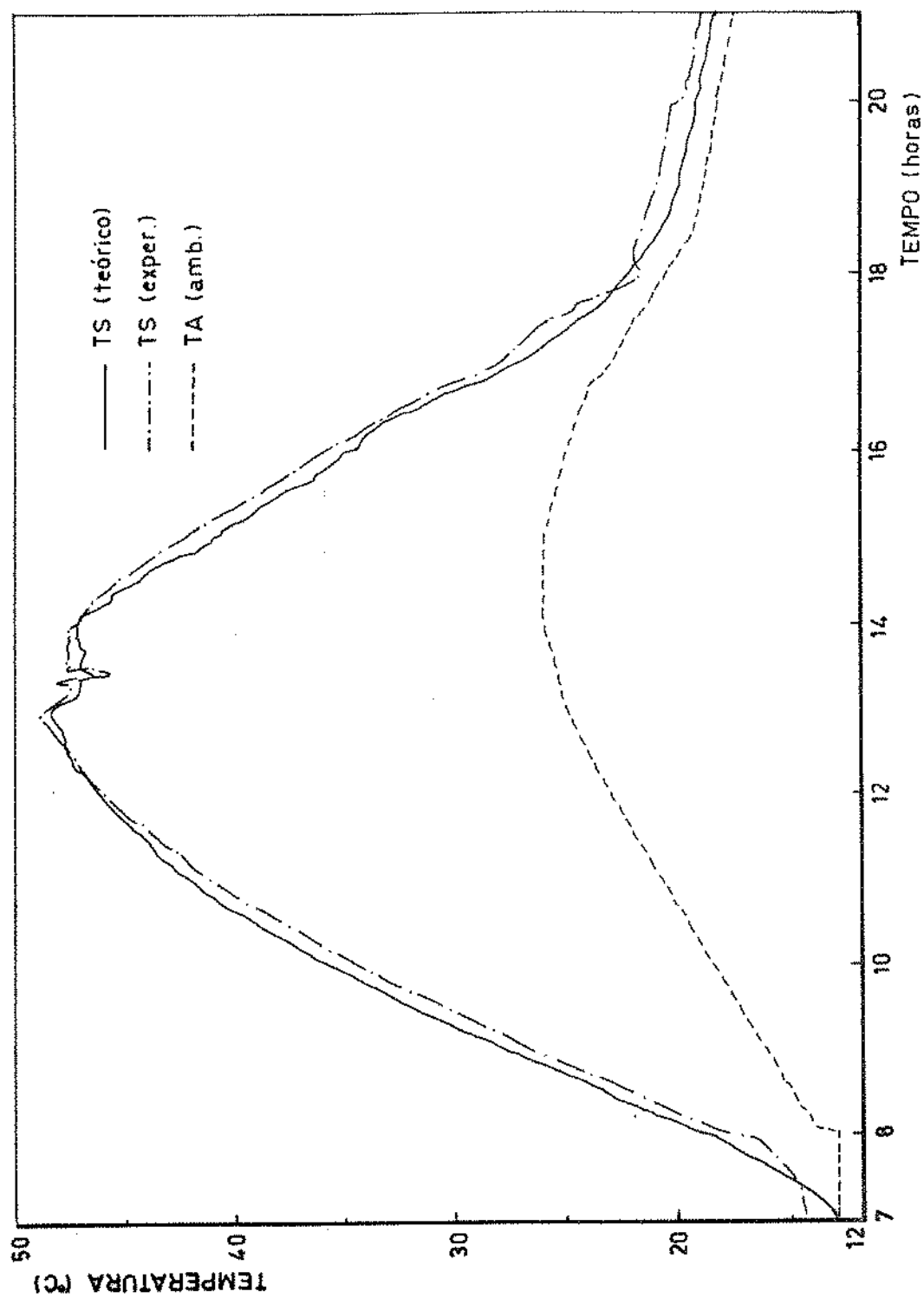


FIGURA 9.11. Temperaturas teórica e experimental da saída do coletor solar, e temperatura ambiente correspondentes ao experimento 3 do dia 08/06/84.

10. CONCLUSÕES

Com base nos resultados teóricos e experimentais obtidos nos capítulos anteriores, são apresentadas as seguintes conclusões:

- Conforme os resultados dos fatores globais de absor^{ção}ância, refletância e transmitância para lençóis de P.V.C. e polietileno, tabelas de 3.1 a 3.4, conclui-se que o P.V.C. é mais eficiente que o polietileno para cobertura de coletor solar, por transmitir mais radiação solar e absorver mais radiação infravermelha.
- Para o coletor solar (tipo "A") com isolante pedra, verifica-se que existem diferenças entre as temperaturas do ar em sua saída, com relação aos regimes permanente e transitório, e que as oscilações destas temperaturas são bem mais amortecidas no regime transitório. No caso do isolante lã de vidro estas diferenças são desprezíveis.
- Considerando-se que o isolante pedra funciona como armazenador de calor e amortecedor das oscilações das temperaturas do ar na saída do coletor, conclui-se que este tipo de isolante, neste caso, é mais conveniente que o isolante lã de vidro para uso no processo de secagem.
- Em face as conclusões anteriores e considerando-se os resultados dos calores armazenados, conclui-se que a simulação matemática em regime transitório é necessária apenas para o caso do isolante pedra.

- Através dos gráficos das temperaturas do ar e do isolante pedra do coletor, verifica-se que após o pôr do sol ainda existe calor armazenado neste isolante, o que não ocorre no caso do isolante lã de vidro.
- Por meio dos gráficos das temperaturas das camadas dos isolantes em função do tempo, assim como, os gráficos das temperaturas dos isolantes em função das profundidades para vários tempos de medições, verifica-se que os dimensionamentos dos isolantes pedra e lã de vidro, variam em torno de 6 cm a 10 cm de espessuras.
- Para o coletor solar (tipo "B") com isolante lã de vidro, a temperatura do ar no regime transitório apresentou menores oscilações do que no regime permanente, em virtude do calor armazenado na placa absorvente, o que não ocorreu no coletor solar (tipo "A").
- Mesmo com a grande capacidade térmica da pedra as temperaturas do ar para o regime transitório apresentam oscilações consideráveis, comparadas com as do coletor (tipo "A"). Isto significa que a diferença da capacidade térmica do isolante não exerce muita influência sobre as oscilações para este tipo de coletor.
- Considerando o efeito da igualdade das oscilações das temperaturas do ar entre a pedra e a lã de vidro, além de que a secagem do produto é mais eficiente durante o dia, conclui-se que o uso da pedra como isolante não apresenta vantagens consideráveis para o coletor solar

tipo "B". Ainda com relação aos isolantes pedra e lã de vidro para este coletor, observou-se que os seus dimensionamentos ideais ficam em torno de 6 cm de espessuras.

- Comparando-se as temperaturas do ar, temperaturas dos isolantes, rendimentos e calores armazenados, entre os coletores solares tipos "A" e "B", pode-se concluir que o coletor solar tipo "A" é bem mais eficiente.
- Através dos resultados obtidos dos coletores solares tipos "A" e "B", com relações aos regimes de funcionamento, modelos climatológicos, vazões do ar, tipos e espessuras das coberturas e dos isolantes, conclui-se que os modelos matemáticos desenvolvidos podem servir de padrões para quaisquer dimensionamentos destes coletores. Com isto fica cumprido um dos objetivos do trabalho.
- Por meio dos resultados das secagens utilizando os coletores solares (tipos "A" e "B"), verifica-se que as diferenças destas secagens são praticamente desprezíveis entre os regimes permanente e transitório, assim como, entre a pedra e a lã de vidro como isolantes.
- Analisando-se os resultados das secagens da tabela 8.3, verifica-se que existe uma pequena diferença em favor da secagem, no caso do P.V.C., comparado com o polietileno.
- Através dos resultados das secagens mostrados nas tabelas de 8.4 a 8.8, verifica-se que a vazão do ar é um fator bastante importante da secagem, e que a vazão mínima

ma pode variar conforme a quantidade do produto.

- Por meio dos resultados obtidos para os coletores solares tipos "A" e "B", assim como, os gráficos e resultados das tabelas de secagens com uso destes coletores, pode-se concluir que é perfeitamente viável o modelamento matemático para um sistema total como acoplamento coletor solar-secador. Em face a estas conclusões fica cumprido mais um objetivo do trabalho.
- Comparando-se os resultados teóricos com os experimentais do coletor solar, para os experimentos 1, 2 e 3, respectivamente, assim como, os resultados teóricos e experimentais da secagem de 640 Kg de milho, experimento 1, verifica-se que houveram boas correlações entre as partes teóricas e as experimentais. Com base nestes resultados pode-se confirmar as validades dos modelos matemáticos desenvolvidos para o sistema total coletor solar-secador, com utilização de um modelo de secagem (Morey). Assim sendo, ficam cumpridos os objetivos propostos para este trabalho.

11. SUGESTÕES

Tendo em vista os propósitos e as conclusões do presente trabalho, assim como a experiência adquirida, apresentamos as seguintes sugestões:

- Utilizando os resultados dos fatores globais de absor^utância, refletância e transmitância dos lençóis de P.V.C. e polietileno, deste trabalho, seja instalado um experimento com estes materiais e de três em três meses sejam feitas as medições dos referidos fatores, com o objetivo de determinar o tempo em que os citados materiais, prestam-se para o uso de coberturas dos coletores solares.
- Um trabalho para comparar os custos e a eficiência entre a secagem com uso de aquecimento solar e o ar natural.
- Um trabalho de avaliação dos custos e da eficiência da secagem com uso do coletor solar e outras fontes alternativas de energia, tais como: fornalha com restos de culturas, gasogênio, biogás e resistência elétrica.
- Um possível funcionamento de um sistema integrado coletor solar, gasogênio ou biogás, para as regiões onde não existe eletrificação rural.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREU, O.; BEST, G. Transmission, reflexion and absorption of visible radiation by the multiple covers of flat plate solar collectors. Solar Energy Materials (3): 371-380. 1980.
2. AIKAWA, S.; MATA, S.F.; ROMANI, S.C. A importância dos coletores na viabilização da secagem de grãos com energia solar; Seminários sobre secagem de produtos agrícolas com energia solar, Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, Campinas, SP, 1983.
3. AIKAWA, S.; ROMANI, S.C.; MATA, S.F. Estudo comparativo de secagem de milho com ar natural e aquecedores artificiais; Seminário: Secagem e Eletrotermia, São Paulo, SP, 1984.
4. AIKAWA, S.; ROMANI, S.C.; MATA, S.F. Estudo de um sistema total com simulação matemática de coletor solar e secagem de grãos, em regime permanente e transitório; IV Congresso Latino Americano de Energia Solar, Caracas, Venezuela, 1983.
5. ADDEO, A.; CAMPANILE, G.; NICOLAIS, L.; ROMEO, G. Plastic solar collectors for "low energy" applications. Applied Energy: 265-275. 1980.
6. ALANIS, E.; SARAIVA, L.; ROVETTA, L. Measurement of rock

- pile heat transfer coefficients. Solar Energy 19: 571-572. 1977.
7. ARPACI, S.V. Conduction heat transfer. Addison - Wesley Publishing Company. 1966.
 8. BLAGA, A. Use of plastics in solar energy applications. Solar Energy 21: 331-338. 1978.
 9. BLISS, R.W. The derivations of several "plate-efficiency factors" useful in the design of flat-plate solar heat collectors. Solar Energy 3(4): 55-64. 1959.
 10. BRINSFIELD, R.B.; FELTON, K.E. Performance of a solar air collector under varying conditions; St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1979. (Paper n^o 79-4549).
 11. BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Drying cereal grains; Westpoint, AVI Publishing, 1974.
 12. BROOKER, D.B.; MCKENZIE, B.A.; JOHNSON, H.K. The present status of on-farm grain drying. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1978 (Paper n^o 78-3007).
 13. BURCH, D.M.; ALLEN, R.W.; PEAVY, B.A. Transient temperature, distributions within porous slabs, subjected to sudden transpiration heating. J. Heat Transfer 221-225. 1976.

14. CAHIROL, T.; PELLISON, A.; ROUX, D. Le chauffe eau solaire; Collection technologies douces, Aix-en-Provence, 1976.
15. CALDERWOOD, D.L. Rice drying with solar heat. Transactions of the ASAE, St. Joseph. 22(6): 1435-1438. 1979.
16. CLOSE, D.J.; YUSOFF, M.B. The effects of air leaks on solar air collector behaviour. Solar Energy 20: 459-463. 1978.
17. DALPASQUALE, V.A. Sistema de secagem para grãos, que utilizam altas temperaturas. Centro Nacional de Treinamento em Armazenamento, Universidade Federal de Viçosa, 1983.
18. DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. Solar energy thermal processes. 1st ed., J. Wiley & Sons, Inc., 1974.
19. EDWARDS, D.K.; RHEE, S.J. Experimental correction of instantaneous collector efficiency for transient heating or cooling. Solar Energy 26(3): 267-270. 1981.
20. FAO. Monthly bulletin of Statistics. Roma (12): 68. 1982.
21. GAYANILO, V.G.; BERN, C.J.; KLEINE, G.L. A solar heated grain dryer for the tropics. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1979. (Paper nº 79-3528).

22. GILLETT, W.B. The equivalence of outdoor and mixed indoor/outdoor solar collector testing. *Solar Energy* 25(6) : 543-458. 1980.
23. GORDON, J.M.; ZARMI, Y. Transient behavior in radiative cooling. *Solar Energy* 27: 77-79. 1981.
24. HALL, C.W. Drying farm crops. Westport, The AVI Publishing Company, 1971.
25. HARA, T. Secagem de produtos agrícolas em pequenas propriedades rurais. Seminário sobre secagem de produtos agrícolas com energia solar, UNICAMP, 1983.
26. HEID, W.G. The performance and economic feasibility of solar grain drying systems. U.S. Department of Agriculture - Agricultural Economic (Report nº 396). 1978.
27. HENDERSON, S.M. A basic concept of equilibrium moisture. *Agricultural Engineering, St. Joseph* 33(1): 29-32. 1952.
28. HENDERSON, S.M. Equilibrium moisture content of small grain hysteresis. *Transactions of the ASAE, St. Joseph* 13(6): 762-764. 1970.
29. HIATT, R.S.; PARKER, B.F. Simultaneous testing of three flat plate solar collector designs. *St. Joseph ASAE*, (paper nº 79-4548). 1979.

30. HOTTEL, H.C.; WOERTZ, B.B. The performance of flat-plate solar-heat collectors. Transactions of the ASME 64 : 91-104. 1942.
31. KEENER, H.M.; GLENN, T.L.; MISRA, R.N. Minimizing fossil fuel energy in corn drying systems. Transactions of the ASAE 24(5): 1357-1362. 1981.
32. KERN, D.Q. Process heat transfer. McGraw-Hill Book Company, Inc. 1950.
33. KLEIN, S.A. Calculation of flat-plate collector utilization. Solar Energy 21(5): 393-402. 1978.
34. KLEIN, S.A.; DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. Transient considerations of flat plate solar collectors. Transactions of the ASME, J. Engr. 96A, 109, 1974.
35. KLEIN, S.A.; BECKMAN, W.A.; DUFFIE, J.A. A design procedure for solar heating systems. Solar Energy 18: 1113-1127. 1976.
36. KLEIN, S.A.; BECKMAN, W.A.; DUFFIE, J.A. A design procedure for solar air heating systems. Solar Energy 19: 509-512. 1977.
37. KRANZLER, G.A.; BERN, C.J.; KLINE, G.L.; ANDERSON, M.E. Grain drying with supplemental solar heat. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 23(1): 214-217. 1980.

38. KREITH, F. Princípios da transmissão de calor. São Paulo, Edgard Blüchler, 1969.
39. KREITH, F.; KREIDER, J.F. Principles of solar engineering. Hemisphere Publishing Corporation McGraw - Hill Book Company. 1978.
40. McADAMS, W.C. Heat transmission. 3.^a ed. New York, McGraw - Hill, 1954.
41. LUNDE, P.J. Solar Thermal Engineering. Wiley, New York. 1980.
42. MOREY, R.V.; CLOUD, H.A.; NELSON, W.W. Simulation of solar energy grain drying; Minnesota Contribution. St. Paul, Agricultural Engineering Department, University of Minnesota, 1976.
43. MOREY, R.V.; CLOUD, H.A.; GUSTAFSON, R.J.; PETERSON, D.W. Management of ambient air drying systems. Transactions of the ASAE, St. Joseph 22(6): 1418-1425. 1979.
44. PIERCE, R.O.; THOMPSON, T.L. Management of solar and low-temperature grain drying systems - part II: Layer drying and solution to the overdrying problem. Transactions of the ASAE 23(4): 1024-1032. 1980.
45. PUIGALLI, J.R. Analyse du comportement dynamique et thermique d'un séchoir solaire constitué d'un capteur

ã matrice poreuse couplẽ ã une cheminẽe solaire. Revue phys: Appl 18: 625-633. 1983.

46. QUEIROZ,D.M.; MELO, F.C.; PEREIRA,J.A.M. Curso de simulação de secagem: modelos de Hukill, Morey e Thompson para secagem a altas e baixas temperaturas. Centro Nacional de Treinamento em Armazenamento, Universidade Federal de Viçosa, 1983.
47. QUEIROZ,D.M.; MELO,E.C.; PEREIRA,J.A.M. Práticas de simulação de secagem em calculadoras programáveis. Viçosa, CENTREINAR, 1982.
48. RIAZ,M. Transient analysis of packed-bed thermal storage systems. Solar Energy 21: 123-128. 1978.
49. ROA,G.; MACEDO,I.C. Grain drying in stationary bins with solar heated air. Solar Energy 18: 445-449. 1976.
50. ROSSI,S.J.; ROA,G.H. Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural. São Paulo, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1980. 295 p. (Publ. ACJESP, 22).
51. SANTOS,L.A. Construção e avaliação de um coletor armazenador de energia solar, não convencional, para aquecimento de ar na secagem de produtos agrícolas. ... Campinas, 1980. 135 p. Tese (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola - UNICAMP.

52. SIKKENS, M. Radiation heat losses in solar collectors with plastic covers. *Appl. Energy* 4(2): 144-151. 1978.
53. SILVA, R.B. Manual de termodinâmica e transmissão de calor. 4.^a ed. São Paulo, Grêmio Politécnico, 1972.
54. SMITH, C.C.; WEISS, T.A. Design application of the Hottel-Whillier-Bliss equation. *Solar Energy* 19: 109-113. 1977.
55. SOWELL, E.F.; CURRY, R.L. A convolution model of rock bed thermal storage units. *Solar Energy* 24: 441-449. 1980.
56. STEELE, J.L.; SAUL, R.A.; HUKIL, W.V. Deterioration of shelled corn as measured by carbon dioxide production. *Transactions of the ASAE, St. Joseph* 12(5): 685-689. 1969.
57. STEVENS, J.B.; OKOS, M.R. Mathematical simulation of low-temperature wheat drying. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1978 (Paper nº 78-3004)
58. STOKES, G.G. "On the intensity of the light reflected from or transmitted through a pile of plates". *Proc. R. Soc. London.* 11: 545-556. 1860-1862.
59. TABOR, H. Radiation, convection and conduction coefficients in solar collectors. *Bull. Res. Counc. of Israel.* 66: 155-176. 1958.

60. THOMPSON, T.L. Temporary storage of high moisture shelled corn using continuous aeration. Transactions of the ASAE, St. Joseph. 15(2): 333-337. 1972.
61. THOMPSON, T.L.; PEART, R.M.; FOSTER, G.H. Mathematical Simulation of corn drying a new model. Transactions of the ASAE, St. Joseph. 11(4): 582-586. 1968.
62. WHILLIER, A. Plastic covers for solar collectors. Solar Energy 7(3): 148-151. 1963.
63. WIJEYSUNDERA, N.E. Comparison of transient heat transfer models for flat plate collectors. Solar Energy 21: 517-521. 1978.
64. WILHELM, L.R. Numerical calculation of psychrometric properties in SI units. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 19(2): 318-325. 1976.
65. ZINK, H.; BROOK, R.C. Engineering analysis of energy sources for low temperature drying. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1978 (Paper no 78-3517).

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA Nº	TÍTULO	PÁGINA
3.1	Fatores de absorvância e refletância em lençóis de P.V.C., para radiação solar a temperatura de 5.7620K, no comprimento de onda entre 0,1 e 3,1 micrômetros, em função da espessura do material.....	29
3.2	Fatores de absorvância, transmitância e refletância em lençóis de polietileno para radiação solar a temperatura de 5.7620K, no comprimento de onda entre 0,1 e 3,1 micrômetros, em função da espessura do material...	30
3.3	Fatores de absorvância, transmitância em lençóis de P.V.C., para radiação infravermelha, no comprimento de onda entre 2 e 25 micrômetros, em função da temperatura e da espessura do material.....	31
3.4	Fatores de absorvância, transmitância e refletância em lençóis de polietileno, para radiação infravermelha, no comprimento de ondas entre 2 e 52 micrômetros, em função da temperatura e da espessura do material.....	32
8.1	Rendimentos e calores armazenados correspondente ao coletor solar tipo "A", isolante simples.....	112
8.2	Rendimentos e calores armazenados correspondente ao coletor solar tipo "A", regime transitório isolante composto (cm).....	113
8.3	Rendimentos e calores armazenados correspondentes ao coletor solar tipo "B".....	124
8.4	Teores de umidades mínimas, máximas e médias, deteriorações máximas das secagens de 3, 10 e 50 toneladas de milho, em função do tempo de secagem, utilizando o coletor solar tipo "A".....	133

8.5	Teores de umidades mínimas, máximas e médias, deteriorações máximas das secagens de 3 e 10 toneladas de milho em função do tempo de secagem, utilizando o coletor solar tipo "A", com o isolante composto.....	135
8.6	Teores de umidades mínimas, máximas e médias, deteriorações máximas das secagens de 3, 10 e 50 toneladas de milho, em função do tempo de secagem, com vazão do ar de $50 \text{ m}^3/\text{min}$, utilizando o coletor solar tipo "B", com os modelos climatológicos I, II e III..	144
8.7	Teores de umidades mínimas, máximas e médias, deteriorações máximas das secagens de 3, 10 e 50 toneladas de milho, em função do tempo de secagem, com vazão do ar de $100 \text{ m}^3/\text{min}$, utilizando o coletor solar tipo "B", com os modelos climatológicos I, II e III..	145
8.8	Teores de umidades mínimas, máximas e médias, deteriorações máximas das secagens de 10 e 50 toneladas de milho, em função do tempo de secagem, com vazão do ar de $150 \text{ m}^3/\text{min}$, utilizando o coletor solar tipo "B", com os modelos climatológicos I, II e III..	146
9.1	Teores de umidades (% b.u.) para a primeira, quarta e sétima camadas da secagem de 640 kg de milho, em função do tempo, correspondente ao experimento I dos dias 29 e 30/05/84.....	161
9.2	Rendimentos e calores armazenados correspondentes a parte teórica, a partir dos dados dos experimentos 1, 2 e 3 do coletor solar com isolante pedra (10,5 cm), mais terra (51 cm) e cobertura P.V.C., com 0,40 mm de espessura.....	170

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº	TÍTULO	PÁGINA
2.1	Sistema coletor solar-secador.....	4
2.2	Coletor solar tipo "A".....	8
2.3	Coletor solar tipo "B".....	9
2.4	Volume elementar da camada de grãos.....	15
3.1	Fatores monocromáticos de refletância em lençol de P.V.C. com 0,30 mm de espessura em função do comprimento de ondas.....	22
3.2	Fatores monocromáticos de absortância em lençol de P.V.C. com 0,30 mm de espessura, em função do comprimento de ondas.....	23
3.3	Fatores monocromáticos de transmitância e absortância em lençol de P.V.C. com 0,30 mm de espessura, em função do comprimento de ondas.....	23
3.4	Fatores monocromáticos de refletância de lençol de P.V.C. com 0,30 mm de espessura, em função do comportamento de ondas.....	24
3.5	Fatores monocromáticos de transmitância em lençol de P.V.C. com 0,30 mm de espessura, em função do comprimento de ondas.....	24
3.6	Fatores monocromáticos de refletância em lençol de polietileno com 0,20 mm de espessura, em função do comprimento de ondas.....	25
3.7	Fatores monocromáticos de absortância em lençol de polietileno com 0,20 mm de espessura, em função do comprimento de ondas.....	25
3.8	Fatores monocromáticos de transmitância e absortância em lençol de polietileno com 0,20 mm de espessura, em função do comprimento de ondas.....	26

PÁGINA

3.9	Fatores monocromáticos de refletância em lençol de polietileno de 0,20 mm de espessura, em função do comprimento de ondas.....	26
3.10	Fatores monocromáticos de transmitância em lençol de polietileno com 0,20 mm de espessura, em função do comprimento de ondas.....	27
3.11	Traçado de radiação térmica proveniente do ambiente.....	36
4.1	Coletor solar tipo "A" regime permanente....	40
4.2	Radiação solar do dia 11/04/79 (Modelo I) em função do tempo.....	49
4.3	Radiação solar do dia 28/04/79 (Modelo II) em função do tempo.....	50
4.4	Radiação solar do dia 08/05/79 (Modelo III) em função do tempo.....	51
4.5	Temperaturas ambientes dos modelos I, II e III em função do tempo.....	52
4.6	Umidades relativas dos modelos I, II e III em função do tempo.....	53
5.1	Coletor solar tipo "A" em regime transitório	57
5.2	Balanco de energia do ar.....	62
6.1	Coletor solar tipo "B" em regime permanente.	69
6.2	Coletor solar tipo "B" em regime transitório	73
8.1	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime permanente, isolante lã de vidro (6 cm), cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.....	95
8.2	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime permanente, isolante lã de vidro (6 cm), cobertura polietileno, (Mod-I), em função do tempo.	95

PÁGINA

8.3	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a) em regime permanente, isolante pedra (6 cm), cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.....	96
8.4	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime permanente, isolante pedra (6 cm), cobertura polietileno, (Mod-I), em função do tempo.....	96
8.5	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante lã de vidro (6 cm), cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.....	97
8.6	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante lã de vidro (6 cm), cobertura polietileno, (Mod-I), em função do tempo.	97
8.7	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante pedra (6 cm), cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.....	99
8.8	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante pedra (6 cm), cobertura polietileno, (Mod-I), em função do tempo.....	99
8.9	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante pedra (15 cm), cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.....	100
8.10	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante pedra (15 cm), cobertura polietileno, (Mod-I), em função do tempo.....	100
8.11	Temperaturas das diferentes camadas elementares do isolante lã de vidro (6 cm), em regi-	

	me transitório, cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.....	103
8.12	Temperaturas das diferentes camadas elementares do isolante pedra (6 cm), em regime transitório, cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.....	103
8.13	Temperaturas das diferentes camadas elementares do isolante pedra (15 cm), em regime transitório, cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.....	104
8.14	Temperaturas do isolante pedra (6 cm), em função da espessura e do tempo, em regime transitório, cobertura P.V.C., (Mod-I).....	105
8.15	Temperaturas do isolante pedra (6 cm), em função da espessura e do tempo, em regime transitório, cobertura P.V.C., (Mod-I).....	106
8.16	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante lã de vidro (7,5 cm) + terra (54 cm), cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.....	108
8.17	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante lã de vidro (7,5 cm) + terra (54 cm), cobertura polietileno, (Mod-I), em função do tempo.....	108
8.18	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante pedra (7,5 cm) + terra (54cm) cobertura P.V.C., (Mod-I), em função do tempo.....	109
8.19	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante pedra (7,5 cm) + terra (54 cm)	

PÁGINA

	cobertura polietileno, (Mod-I), em função do tempo.....	109
8.20	Temperaturas do isolante pedra (7,5 cm) + terra (54 cm) em função da espessura do tempo, em regime transitório, cobertura P.V.C., (Mod-I).....	111
8.21	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a) em regime permanente, isolante lã de vidro (6 cm), vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$, (Mod-I), em função do tempo.....	115
8.22	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a) em regime transitório, isolante lã de vidro (6 cm), vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$, (Mod-I), em função do tempo..	115
8.23	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a) em regime permanente, isolante pedra (6 cm), vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$, (Mod-I), em função do tempo.....	116
8.24	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a) em regime transitório, isolante pedra (6 cm), vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$, (Mod-I), em função do tempo.....	116
8.25	Temperaturas das diferentes camadas elementares do isolante lã de vidro (6 cm) em regime transitório, vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$, (Mod-I) em função do tempo.....	118
8.26	Temperaturas das diferentes camadas elementares do isolante pedra (6 cm) e da placa absorvente, em regime transitório, vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$, (Mod-I), em função do tempo.....	118
8.27	Temperaturas do isolante lã de vidro (6 cm), em função da espessura e do tempo, em regime transitório, (Mod-I).....	119

8.28	Temperaturas do isolante pedra (6 cm), em função da espessura e do tempo, em regime transitório, (Mod-I).....	120
8.29	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante lã de vidro (6 cm), vazão do ar $50 \text{ m}^3/\text{min}$, (Mod-I), em função do tempo...	122
8.30	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) e temperatura ambiente (T_a), em regime transitório, isolante lã de vidro (6 cm), vazão do ar $150 \text{ m}^3/\text{min}$, (Mod-I), em função do tempo..	122
8.31	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) em regime transitório, isolante lã de vidro (6 cm), vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$, (Mod-II), em função do tempo.....	123
8.32	Temperatura de saída do coletor solar (T_s) em regime transitório, isolante lã de vidro (6 cm), vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$, (Mod-III), em função do tempo.....	124
8.33	Teor de umidade do milho (3 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas regime transitório, isolante pedra, cobertura P.V.C., vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$ (Mod-I)...	128
8.34	Teor de umidade do milho (10 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas regime transitório, isolante pedra, cobertura P.V.C., vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$ (Mod-I)...	129
8.35	Teor de umidade do milho (50 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas regime transitório, isolante pedra, cobertura P.V.C., vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$ (Mod-I)...	131
8.36	Teor de umidade do milho (3 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas regime transitório, isolante lã de vidro, vazão do ar $100 \text{ m}^3/\text{min}$ (Mod-I).....	137

8.37	Teor de umidade do milho (10 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas regime transitório, isolante lã de vidro, vazão do ar 50 m ³ /min (Mod-I).....	138
8.38	Teor de umidade do milho (10 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas regime transitório, isolante lã de vidro, vazão do ar 100 m ³ /min (Mod-I).....	139
8.39	Teor de umidade do milho (10 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas regime transitório, isolante lã de vidro, vazão do ar 150 m ³ /min (Mod-I).....	140
8.40	Teor de umidade do milho (10 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas regime transitório, isolante lã de vidro, vazão do ar 50 m ³ /min (Mod-II).....	141
8.41	Teor de umidade do milho (10 ton.) em função do tempo de secagem, para diferentes camadas regime transitório, isolante lã de vidro, vazão do ar 50 m ³ /min (Mod-III).....	142
9.1	Conjunto coletor solar-secador utilizado nos experimentos 1, 2 e 3.....	151
9.2	Radiação solar correspondente ao experimento 01 do dia 29/05/84.....	155
9.3	Umidade relativa e temperatura ambiente correspondentes ao experimento 01 dos dias 29 e 30/05/84.....	156
9.4	Temperaturas teórica e experimental da saída do coletor solar, e temperatura ambiente correspondentes ao experimento 1 do dia 29/05/84.	159
9.5	Curvas teóricas e experimentais do teor de umidade do milho (640 kg), em função do tempo de secagem, correspondente ao experimento 01 dos dias 29 e 30/05/84.....	163

PÁGINA

9.6	Radiação solar correspondente ao experimento 02 do dia 07/06/84.....	165
9.7	Temperaturas ambientes correspondentes aos experimentos 2 e 3 dos dias 07 e 08/06/84...	166
9.8	Umidades relativas correspondentes aos experimentos 2 e 3 dos dias 07 e 08/06/84.....	167
9.9	Temperaturas teórica e experimental da saída do coletor solar, e temperatura ambiente, correspondentes ao experimento 2 do dia 07/06/84	168
9.10	Radiação solar correspondente ao experimento 3 do dia 08/06/84.....	169
9.11	Temperaturas teórica e experimental da saída do coletor solar, e temperatura ambiente correspondentes ao experimento 3 do dia 08/06/84	171

SIMBOLOGIA

<u>SÍMBOLO</u>	<u>DEFINIÇÃO</u>	<u>UNIDADE</u>
A	Fator global de absorvância	-
A_c	Área do coletor solar	m^2
A_s	Área da secção transversal do silo	m^2
A'	Área do produto	m^2
A_λ	Fator monocromático de absorvância	-
ARM	Energia armazenada	KW
a	Área específica	$m^2 \cdot m^{-3}$
C	Fator de ganho de energia proveniente do ambiente	W/m^2
C_a	Calor específico do ar	kcal/kg°C
C_{esp}	Calor específico do produto	kcal/kg°C
C_{is}	Calor específico do isolante	J.kg ⁻¹ °C ⁻¹
C_o	Velocidade de propagação da luz no meio considerado	m/h
C_p	Calor específico do produto	J.kg ⁻¹ .°C ⁻¹
C_v	Calor específico do vapor de água	J.kg ⁻¹ .°C ⁻¹
C_w	Calor específico da água no estado líquido	J.kg ⁻¹ .°C ⁻¹
D	Adimensional de profundidade	
DEHF	Incremento de razão de mistura	kg água/kg ar seco
E	Equação do tempo	min
F'	Fator de eficiência do coletor solar	-
F_R	Fator de remoção de calor do coletor solar	-
G_a	Fluxo mássico de ar	kg ar/m ² s
H	Altura da passagem do ar no coletor solar	m

h_1	Coeficiente de transferência de calor por convecção entre a face inferior da cobertura do coletor e o fluido	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
h_2	Coeficiente de transferência de calor por convecção entre o fluido e o isolante	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
h'	Coeficiente de transferência de calor por convecção entre o ar e o produto	$J.m^2.s^{-1}.C^{-1}$
h_{fg}	Calor latente de vaporização	kcal/kg água
h_o	Constante de Planck	kcal.h
h_{ria}	Coeficiente de transferência de calor por radiação entre a superfície inferior do isolante e o ambiente	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
h_{rpa}	Coeficiente de transferência de calor por radiação entre a superfície superior da placa absorvente e o ambiente	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
h_{rpi}	Coeficiente de transferência de calor por radiação entre a placa absorvente e o isolante	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
h_w	Coeficiente de transferência de calor por convecção entre a cobertura do coletor e o vento	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
i	Inclinação do coletor solar	o
k^*	Constante de Boltzman	Kcal/°K
k_a	Condutividade térmica do ar	$W/m \text{ } ^\circ C$
k_{ap-ped}	Condutividade térmica aparente do isolante pedra	$W/m \text{ } ^\circ C$
k_{ped}	Condutividade térmica da pedra	$W/m \text{ } ^\circ C$
L	Comprimento do coletor solar	m
L_{loc}	Longitude do local em questão	o

L_{st}	Meridiano padrão para a zona de tempo local	o
L_{λ}	Poder emissivo monocromático do corpo negro, na temperatura T	kcal/hm ² m
l_{is}	Espessura do isolante	m
l_p	Altura do produto	m
M_D	Multiplicador de danos mecânicos	-
M_T	Multiplicador de temperatura	-
M_U	Multiplicador de umidade	-
$\dot{m}$	Vazão mássica do ar	kg/s
n	Número de camadas	-
n_d	Número de dias transcorridos no ano	-
P	Peso específico do produto	kg/m ³
P_{atm}	Pressão atmosférica	mmHg
P_v	Pressão de vapor do ar	mmHg
P_{vs}	Pressão de vapor saturado	mmHg
PMS	Perda de matéria seca	%
Q_u	Energia útil do coletor solar	W
Q_v	Vazão volumétrica do ar	m ³ /min
q_u	Energia útil recebida pelo fluido por unidade de área	W/m ²
R	Fator global de refletância	-
R_a	Constante do ar seco	J/kg °K
R_s	Fator de conversão de radiação em superfície horizontal para radiação em superfície inclinada	-
R_c	Fator de conversão de unidades	-
RM	Razão de mistura do ar no instante t	$\frac{\text{kg água}}{\text{kg ar seco}}$
RM_f	Razão de mistura do ar no instante t+Δt	$\frac{\text{kg água}}{\text{kg ar seco}}$

R_U	Razão de umidade do produto	-
R_λ	Fator monocromático de refletância	-
S	Radiação solar absorvida por unidade de área do coletor solar	W/m^2
U_e	Umidade de equilíbrio para o produto	% bu
U_f	Teor de umidade do produto no instante $t+\Delta t$	% bu
U_o	Teor de umidade inicial do produto	% bu
U_L	Coeficiente de perda de calor do coletor solar	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
U_t	Coeficiente de transferência de calor por convecção e radiação entre a parte superior do coletor solar e o ambiente	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
UR_{ar}	Umidade relativa do ar	%
URE_s	Umidade relativa de equilíbrio para o produto na situação de secagem	%
URE_u	Umidade relativa de equilíbrio para o produto na situação de umidificação	%
V_v	Volume dos espaços vazios dentro da camada de pedra	m^3
V_T	Volume total das camadas de pedra	m^3
V	Velocidade do vento	m/s
V_{esp}	Volume específico do ar	$\frac{m^3}{kg \text{ ar seco}}$
W	Largura do coletor solar	m
W_{ms}	Densidade de matéria seca	$\frac{kg \text{ mat seca}}{m^3}$
Y	Adimensional de tempo	-
α	Fator de absorptância da superfície absorvente	-

ϵ	Porosidade	-
ϵ_c	Emissividade da cobertura transparente	-
ϵ_p	Emissividade da placa absorvente	-
ϵ_{pi}	Emissividade da superfície inferior da placa absorvente	-
ϵ_{ps}	Emissividade da superfície superior da placa absorvente	-
ρ_a	Densidade do ar	kg/m ³
ρ_{ap-ped}	Densidade aparente da camada de pedra	kg/m ³
ρ_{ped}	Densidade da pedra	kg/m ³
ρ_c	Refletância da cobertura do coletor solar	decimal
ρ_{is}	Densidade do isolante do coletor solar	kg/m ³
ρ_p	Densidade do produto	kg/m ³
λ	Comprimento de onda	
μ	Viscosidade dinâmica do ar	kg/min.m
σ	Constante de Stefan-Boltzman	kcal/h.m ² .K ⁴
ϕ	Latitude local	o
δ	Declinação (posição angular do sol ao meio dia solar, com respeito ao plano do equador)	o
ω	Ângulo horário	o
θ	Temperatura de equivalência externa	oC
n_{arm}	Porção de energia para uso após o pôr do sol	-
n_{ins}	Rendimento instantâneo do coletor solar	-

$\eta_{s,d}$	Rendimento solar diário do coletor solar	-
$\eta_{u,d}$	Rendimento útil diário do coletor solar	-

APÊNDICE A1

Resolução do sistema das equações (4.4), (4.5) e (4.6), para obter-se a energia útil total recebida pelo fluido.

Nas equações referidas acima, fazendo-se as seguintes substituições:

$$T_p = T_{fm} + T'_p$$

$$T_c = T_{fm} + T'_c$$

$$T_a = T_{fm} - T'_a$$

obtem-se:

$$-h_{r1ca}(T'_c + T'_a) + h_{r1pa}(T'_p + T'_a) - h_1 T'_c - h_w(T'_c + T'_a) + MT_a^4 = 0 \quad (A1.1)$$

$$h_{r2ca}(T'_c + T'_a) - h_{r2pa}(T'_p + T'_a) - h_2 T'_p - U_b(T'_p + T'_a) + NT_a^4 + S = 0 \quad (A1.2)$$

$$h_1 T'_c + h_2 T'_p = q_u \quad (A1.3)$$

Explicitando o valor de T'_c em (A1.1), tem-se:

$$T'_c = \frac{h_{r1pa} T'_p + (h_{r1pa} - h_{r1ca} - h_w) T'_a + MT_a^4}{(h_{r1ca} + h_1 + h_w)}$$

Substituindo T'_c em (A1.2) e explicitando T'_p , tem-se:

$$T'_p = \frac{[(h_{r1ca} + h_1 + h_w)(h_{r2ca} - h_{r2pa} - U_b) + h_{r2ca}(h_{r1pa} - h_{r1ca} - h_w)] T'_a}{[(h_{r1ca} + h_1 + h_w)(h_{r2pa} + h_2 + U_b) - h_{r1pa} \cdot h_{r2ca}]} +$$

$$+ \frac{[h_{r2ca} \cdot M + N(h_{r1ca} + h_1 + h_w)]T_a^4 + (h_{r1ca} + h_1 + h_w)S}{[(h_{r1ca} + h_1 + h_w)(h_{r2pa} + h_2 + U_b) - h_{r1pa} \cdot h_{r2ca}]} \quad (A1.4)$$

Partindo-se novamente de (A1.1), e explicitando

T'_p tem-se:

$$T'_p = \frac{(h_{r1ca} + h_1 + h_w)T'_c + (h_{r1ca} + h_w - h_{r2ca})T'_a - MT_a^4}{h_{r1pa}}$$

Substituindo-se T'_p em (A1.2) e explicitando T'_c ,

tem-se:

$$T'_c = \frac{[h_{r1pa}(h_{r2ca} - h_{r2pa} - U_b) - (h_{r1ca} + h_w - h_{r1pa})(h_{r2pa} + h_2 + U_b)]T'_a}{[(h_{r1ca} + h_1 + h_w)(h_{r2pa} + h_2 + U_b) - h_{r1pa} \cdot h_{r2ca}]} +$$

$$+ \frac{[M(h_{r2pa} + h_2 + U_b) + N \cdot h_{r1pa}]T_a^4 + h_{r1pa} \cdot S}{[(h_{r1ca} + h_1 + h_w)(h_{r2pa} + h_2 + U_b) - h_{r1pa} \cdot h_{r2ca}]} \quad (A1.5)$$

Substituindo T'_p de (A1.4) e T'_c de (A1.5), em (A1.3),

obtem-se:

$$q_u = \frac{[h_1 \cdot h_{r1pa} + h_2(h_{r1ca} + h_1 + h_w)]}{[(h_{r1ca} + h_1 + h_w)(h_{r2pa} + h_2 + U_b) - h_{r1pa} \cdot h_{r2ca}]} \{ S +$$

$$+ \frac{h_2[M \cdot h_{r2ca} + N(h_{r1ca} + h_1 + h_w)] + h_1[M(h_{r2pa} + h_2 + U_b) + N \cdot h_{r1pa}]T_a^4}{[h_1 \cdot h_{r1pa} + h_2(h_{r1ca} + h_1 + h_w)]} -$$

$$- \left\{ \frac{-(h_{r2ca} - h_{r2pa} - U_b)[h_2(h_{r1ca} + h_1 + h_w) + h_1 \cdot h_{r1pa}]}{[h_1 \cdot h_{r1pa} + h_2(h_{r1ca} + h_1 + h_w)]} + \right.$$

$$+ \frac{(h_{r1ca} + h_w - h_{r1pa}) [h_1 (h_{r2pa} + h_2 + U_b) + h_2 \cdot h_{r2ca}]}{[h_1 \cdot h_{r1pa} + h_2 (h_{r1ca} + h_1 + h_w)]} \cdot T_a'] \quad (A1.6)$$

A energia útil do fluído da equação (A1.6) pode ser representada por:

$$Q_u = A_c F' [(S+C) - U_L (T_{fm} - T_a)] \quad (A1.7)$$

sendo A_c , F' , U_L e C definidos no quarto capítulo.

APÊNDICE A2

Ângulo horário:

O ângulo horário ω , é o ângulo das posições locais de afastamento do meio dia solar, causado pela rotação da terra. Este ângulo varia do nascer do pôr do sol, sendo considerado positivo pela manhã, negativo a tarde e nulo ao meio dia. Os valores de ω são obtidos adicionando-se 15º a cada hora a partir do meio dia.

Tempo solar:

Como o ângulo horário é função do tempo solar, o qual não coincide com o tempo padrão, que varia de local para local, é necessário converter-se o tempo padrão para tempo solar, pela seguinte equação:

$$\text{Tempo solar} = \text{tempo padrão} + E + 4(L_{st} - L_{loc})$$

onde:

E: equação de tempo em minutos

L_{st} : meridiano padrão para a zona de tempo local

L_{loc} : longitude do local em questão.

A constante 4, é porque o sol gasta quatro minutos para percorrer um grau de latitude.

Os valores de E, são calculados pelas equações:

- para $n_d < 100$

$$E = - \left(9 \operatorname{sen} \frac{(n_d - 1)}{0,5} \right) - 5$$

- para $100 \leq n_d \leq 244$

$$E = \left(5 \operatorname{sen} \frac{(n_d - 100)}{0,395} \right) - 1$$

- para $n_d > 242$

$$E = \left(18,6 \operatorname{sen} \frac{(n_d - 242)}{0,685} \right) - 2,5$$

sendo n_d , o número de dias transcorridos do ano, Duffie (18) e Lunde (41).

APÊNDICE A3

O termo CB no capítulo 5, representa as trocas de calores por radiações infravermelhas entre a placa absorvente e o ambiente, e entre a cobertura transparente e o ambiente, e por convecção entre a cobertura transparente e o ambiente.

A3.1. Radiação infravermelha emitida pela placa absorvente e transmitida pela cobertura transparente para o ambiente:

$$\begin{aligned} & \sigma \epsilon_p T_{is1}^4 + \sigma \epsilon_p TR(1-\epsilon_p) T_{is1}^4 + \sigma \epsilon_p TR^2(1-\epsilon_p)^2 T_{is1}^4 + \dots = \\ & = \sigma \epsilon_p T \left[\frac{1}{1-R(1-\epsilon_p)} \right] T_{is1}^4 \end{aligned}$$

A3.2. Radiação infravermelha emitida pela face inferior da cobertura transparente, refletida pela placa absorvente e transmitida pela própria cobertura transparente, mais a parte emitida pela face superior da cobertura transparente para o ambiente:

$$\begin{aligned} & \sigma \epsilon_c T_c^4 + \sigma \epsilon_c T(1-\epsilon_p) T_c^4 + \sigma \epsilon_c TR(1-\epsilon_p)^2 T_c^4 + \sigma \epsilon_c TR^2(1-\epsilon_p)^3 T_c^4 + \dots = \\ & = \sigma \epsilon_c T_c^4 + \sigma \epsilon_c T(1-\epsilon_p) \left[\frac{1}{1-R(1-\epsilon_p)} \right] T_c^4 \end{aligned}$$

A3.3. Radiação infravermelha proveniente do ambiente e absorvida pela cobertura transparente:

$$\sigma AT_a^4 + \sigma AT(1-\epsilon_p)T_a^4 + \sigma ART(1-\epsilon_p)^2 T_a^4 + \sigma AR^2 T(1-\epsilon_p)^3 T_a^4 + \dots =$$

$$= \sigma AT_a^4 + \sigma AT(1-\epsilon_p) \left[\frac{1}{1-R(1-\epsilon_p)} \right] T_a^4$$

A3.4. Radiação infravermelha proveniente do ambiente e absorvida pela placa absorvente:

$$\sigma \epsilon_p T T_a^4 + \sigma \epsilon_p TR(1-\epsilon_p) T_a^4 + \sigma \epsilon_p TR^2(1-\epsilon_p)^2 T_a^4 + \dots =$$

$$= \sigma \epsilon_p T \left[\frac{1}{1-R(1-\epsilon_p)} \right] T_a^4$$

A3.5. Troca de calor por convecção entre a cobertura transparente e o ambiente:

$$h_w (T_c - T_a)$$

Os itens A3.1 e A3.2, representam as perdas de calor por radiação infravermelha do coletor para o ambiente, e são consideradas negativas, enquanto que os itens A3.3 e A3.4, representam os ganhos de calor por radiação infravermelha pelo coletor, e são consideradas positivas.

Assim obtém-se a soma total das trocas de calores acima, representada pela seguinte equação:

$$CB = \sigma AT_a^4 - \sigma \epsilon_c T_c^4 - \left[\frac{1}{1-R(1-\epsilon_p)} \right] \{ \sigma \epsilon_c T(1-\epsilon_p) T_c^4 + \sigma \epsilon_p T T_{is}^4 -$$

$$- [\epsilon_p T + AT(1-\epsilon_p)] \sigma T_a^4 \} - h_w (T_c - T_a)$$

Programa para calcular os fatores globais de absorvância, refletância e transmitância.

```

DIMENSION TRAN(510,1),RAM(510),ALL(510),ALLT(510)
DD=5.67E-8
XI=1.E-6
EX=1.E-24
C1=1.1907E-16
C2=1.43879E-2
PI=3.1415927
WRITE(3,87)
READ(3,86)TEM
CALL OPEN(6,'ARQ/DAT:0',50)
REWIND 6
READ(6)N,M
DO 29 I=1,N
29 READ(6)I,(TRAN(I,J),J=1,M)
WRITE(2,85)
WRITE(3,95)
READ(3,90)K
IF(K.EQ.0)GO TO 35
WRITE(2,32)((I,J,TRAN(I,J),J=1,M),I=1,N)
32 FORMAT(/,5(' TRAN('I3','I2')='F5.3,5X))
35 X1=.1
X2=3.1
30 WRITE(3,87)
READ(3,86)TEM
NC=N-1
HA=(X2-X1)/FLOAT(NC)
ND=1+NC
SOMA=0.
DO 1 I=1,ND
RAM(I)=X1+(FLOAT(I)-1.)*HA
ALL(I)=C1/(RAM(I)**5.*EX*(EXP(C2/(RAM(I)*XI*TEM))-1.))
ALLT(I)=TRAN(I,J)*ALL(I)*HA
SOMA=SOMA+ALLT(I)
1 CONTINUE
TTRA=PI*SOMA/(DD*TEM**4.)
WRITE(2,80)TEM,X1,X2
WRITE(3,100)
READ(3,90)K1
IF(K1.EQ.0)GO TO 75
WRITE(2,81)(K, RAM(K),K=1,N)
75 WRITE(2,83)TTRA
GO TO 30
80 FORMAT(/,5X,4HTEM=F6.1,' '3HX1=F3.1,' '3HX2=F4.1)
81 FORMAT(/,5(' RAM('I3')='F7.2,4X))
83 FORMAT(/,5X,5HTTRA=F5.2)
85 FORMAT(/,5X,'EXECUCAO DO PROGRAMA TRANSMITANCIA IR')
86 FORMAT(F5.1)
87 FORMAT(' TEM= ')
90 FORMAT(I1)
95 FORMAT(/,' SE NECESSARIO IMPRIMIR TRAN - - - TYPE . . 1',
*,', ' SE NAO - - - - - TYPE . . 0'
*,')
100 FORMAT(/,' SE NECESSARIO IMPRIMIR RAM - - - TYPE ... 1'
*,', ' SE NAO - - - - - TYPE ... 0'
*,')
END

```

Programa para calcular o coletor solar tipo "A" regime permanente.

```

      DIMENSION TA(250,1),SH(250,1),UR(250,1),TS(550),UA(550),FNAME
      *(4)
C      REGIME PERMANENTE
      DATA FI,SS,OMG1,ALST,ALLC/-22.92,-30.,15.,45.,47.08/
      DATA CP,CK,U,PATM/1005.,0.0267,1.9E-5,9601.0/
C      VARIACOES DOS PARAMETROS:
C      COBERTURA TRANSPARENTE : POLIETILENO E PVC
      DATA EC,AA,RR,TT,TAU/0.80,0.80,0.07,0.13,0.90/
C      MATERIAIS ABSORVENTES E ISOLANTES
C      ABSORVENTES: ALUMINIO , FERRO , AMIANTO
      DATA EP,RF/.95,.95/
C      ISOLANTES: LA DE VIDRO , PEDRA E ISOPOR
      DATA CKI,ESPI/0.1053,0.15/
C      GEOMETRICOS: COMPRIMENTO , LARGURA , ALTURA
      DATA YL,W,H/20.,3.,.10/
C      OPERACIONAIS: VAZAO DO AR(VA),TEMPERATURA DE SAIDA DO COLE
C      *TOR(TS)
      DATA VA/100./
C      CLIMATOLOGICOS: TEMPERATURA AMBIENTE(TA),VELOCIDADE DO VENTO
C      *(V),RADIACAO SOLAR(SH),UMIDADE RELATIVA(UR),HORA INICIAL SOLA
C      *R DO DIA(IH),MINUTOS INICIAIS SOLAR DO DIA(MM),HORA FINAL SOL
C      *AR DO DIA(IS),HORA INICIAL SOLAR DO DIA SEGUINTE(JH),MINUTOS
C      *INICIAIS SOLAR DO DIA SEGUINTE(LL),NUMERO DE LOOPS NO PERIODO
C      *SOLAR(KK),EE,DIA
      DATA V/3./
      WRITE(3,800)
      READ(3,850)IH
      WRITE(3,880)
      READ(3,850)MM
      WRITE(3,1500)
      KP=((9*20)-(IH*20+MM/3))+1
      KG=((20*20)-(IH*20+MM/3))+1
      READ(3,180)KK
      LUN=6
      IRECLN=4
      L=1
      WRITE(3,260)
      READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
      CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)
      K=250
      READ(LUN,REC=K,ERR=11)N,M
      GO TO 12
11      WRITE(3,290)
      PAUSE 10
12      DO 10 I=L,N
10      READ(LUN,REC=I,ERR=15)(TA(I,J),J=1,M)
      GO TO 17
15      WRITE(3,300)
      PAUSE 20
17      ENDFILE LUN
      WRITE(3,1010)
      READ(3,1015)NZ
      IF(NZ.EQ.0)GO TO 1020
      WRITE(2,190)(FNAME(I),I=1,4)
      WRITE(2,200)((I,J,TA(I,J),J=1,M),I=L,N)
1020      WRITE(3,280)

```

```

      READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
      CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)
      READ(LUN,REC=K,ERR=22)N,M
      GO TO 25
22    WRITE(3,310)
      PAUSE 30
25    DO 20 I=L,N
20    READ(LUN,REC=I,ERR=27)(SH(I,J),J=1,M)
      GO TO 32
27    WRITE(3,320)
      PAUSE 40
32    ENDFILE LUN
      WRITE(3,1010)
      READ(3,1015)NZ
      IF(NZ.EQ.0)GO TO 1030
      WRITE(2,210)(FNAME(I),I=1,4)
      WRITE(2,220)((I,J,SH(I,J),J=1,M),I=L,N)
1030  WRITE(3,285)
      READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
      CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)
      READ(LUN,REC=K,ERR=92)N,M
      GO TO 28
92    WRITE(3,330)
      PAUSE 50
28    DO 72 I=1,N
72    READ(LUN,REC=I,ERR=63)(UR(I,J),J=1,M)
      GO TO 93
63    WRITE(3,340)
      PAUSE 60
93    ENDFILE LUN
      WRITE(3,1010)
      READ(3,1015)NZ
      IF(NZ.EQ.0)GO TO 1040
      WRITE(2,225)(FNAME(I),I=1,4)
      WRITE(2,230)((I,J,UR(I,J),J=1,M),I=1,N)
1040  WRITE(2,160)
      SOMA=0.
      SONA=0.
      WRITE(3,1300)
      READ(3,185)DIA
      WRITE(3,1350)
      READ(3,185)EE
      WRITE(2,1400)
      WRITE(2,1420)
      WRITE(2,115)CK,U,CP
      WRITE(2,116)V,VA,PATM
      WRITE(2,120)W,H,YL
      WRITE(2,121)CKI,ESPI
      WRITE(2,122)EP,RF
      WRITE(2,123)EC,AA,RR
      WRITE(2,126)TT,TAU
      WRITE(2,101)EE,DIA,OMG1,ALST
      WRITE(2,102)ALLC,FJ,SS
      TIADM=FLOAT(IH)*60.+FLOAT(MM)
      WRITE(2,1450)IH,MM
      LMA=0

```

```

DO 5 K=1,N
DO 5 J=1,M
IC=0
DC=0.
DP=0.
54 DCC=(TA(K+1,1)-TA(K,1))/20.
DPP=(UR(K+1,1)-UR(K,1))/20.
LMA=LMA+1
IF(K-KK)50,53,53.
53 TAP=DC+TA(K,1)
DC=DCC+DC
URP=(DP+UR(K,1))*0.01
DP=DPP+DP
GO TO 49
50 TAP=TA(K,J)
URP=UR(K,J)*0.01
49 PVS=EXP(54.63-12301.69/(TAP*1.8+492.))-5.19*ALOG(TAP*1.8+492.)
UA(LMA)=0.622*URP*PVS/(PATM*14.7/10332.-URP*PVS)
PVS=PVS*10332./14.7
RA=53.35
VS=((RA*(TAP*1.8+492.)/(PATM*14.7/10332.*144.))*(1.+1.608*UA(LM
*A)))*0.06242
DE=VA/(VS*60.)
WRITE(3,500)K,J
C EE=-(9.*SIN((DIA-1.)/0.5))-5. .... PARA DIA<100.
C EE=(5.*SIN((DIA-100.)/0.395))-1. .... PARA 100.<=DIA<=244.
C EE=(18.6*SIN((DIA-242.)/0.685))-2.5 ... PARA DIA>242.
C OS VALORES DE TIADM e EE DEPENDEM DO DIA
C OS VALORES IH,MM,EE e DIA SERAO MUDADOS EM FUNCAO DO DIA
C COS(OMGS)=-SIN(FI)*SIN(DLTA)/(COS(FI)*COS(DLTA))
C OMGS EO ANGULO HORARIO DO INICIO E FIM DO DIA SOLAR
C TD=2./15.*ACOS(-TAN(FI)*TAN(DLTA))
C TD E O NUMERO DE HORAS MAXIMAS DE INSOLACAO
PI=3.141592
FIR=FI*PI/180.
SSR=SS*PI/180.
TIADH=TIADM/60.
TISDM=TIADM+EE+4.*(ALST-ALLC)
TISDH=TISDM/60.
IF(LMA-KK)71,71,73
73 S=0.
R=0.
SH(K,1)=0.
GO TO 41
71 OMG2=OMG1*(12.-TISDH)
OMG=OMG2-OMG1/20.*(FLOAT(K)-1.)
OMGR=OMG*PI/180.
DLTA=23.45*SIN((360.*(284.+DIA)/365.)*PI/180.)
DLTAR=DLTA*PI/180.
R=(COS(FIR-SSR)*COS(DLTAR)*COS(OMGR)+SIN(FIR-SSR)*SIN(DLTAR))/
*(COS(FIR)*COS(DLTAR)*COS(OMGR)+SIN(FI)*SIN(DLTA))
S=SH(K,J)*R*RF*TAU
IF(R-3.)40,40,69
69 S=50.
40 DD=5.67E-8
CH1=0.0158*(2.*DB/(W*U))*0.8*CK/(2.*H)

```

```

CH2=CH1
CHW=5.7+3.8*V
UB=CKI/ESPI
TPA=39.0
4 TC=21.0
2 HR1CA=(2.*EC*DD-DD*EC*(1.-EP)*AA*(1./(1.-RR*(1.-EP))))*((TC+273
*.)**2.+(TAP+273.)*2.)*(TC+273.+TAP+273.)
HR1PA=DD*EP*AA*(1./(1.-RR*(1.-EP)))*((TPA+273.)*2.+(TAP+273.)*
**2.)*(TPA+273.+TAP+273.)
HR2CA=EC*EP*DD*(1./(1.-RR*(1.-EP)))*((TC+273.)*2.+(TAP+273.)*
*2.)*(TC+273.+TAP+273.)
HR2PA=(DD*EP-DD*EP**2.*RR*(1./(1.-RR*(1.-EP))))*((TPA+273.)*2.
**+(TAP+273.)*2.)*(TPA+273.+TAP+273.)
CM=DD*AA*(1.+(1./(1.-RR*(1.-EP)))*(TT+EC-EP*(TT+EC-1.)))-2.*DD
**EC
CN=DD*EP*(1./(1.-RR*(1.-EP)))*(EC+EP*RR+TT)-DD*EP
FPR=(CH1*HR1PA+CH2*(HR1CA+CH1+CHW))/((HR1CA+CH1+CHW)*(HR2PA+CH2
**+UB)-HR1PA*HR2CA)
UL=((HR1CA+CHW-HR1PA)*(CH1*(HR2PA+CH2+UB)+CH2*HR2CA)-(HR2CA-HR2
*PA-UB)*(CH2*(HR1CA+CH1+CHW)+CH1*HR1PA))/((CH1*HR1PA+CH2*(HR1CA+CH1
**+CHW))
CC=((CH2*(HR2CA*CM+CN*(HR1CA+CH1+CHW))+CH1*(CM*(HR2PA+CH2+UB)+H
*R1PA*CN))/((CH1*HR1PA+CH2*(HR1CA+CH1+CHW)))*(TAP+273.)*4.
FR=(DB*CP)/(W*YL*UL)*(1.-EXP(-UL*YL*W*FPR/(DB*CP)))
TS(LMA)=TAP+(S+CC)/UL*(1.-EXP(-UL*YL*W*FPR/(DB*CP)))
QU=DB*CP*(TS(LMA)-TAP)
TFM=TAP+QU*((1.-FR/FPR)/(W*YL*UL*FR))
TCC=((HR1CA+CHW-HR1PA)*TAP+TPA*HR1PA+CH1*TFM+CM*(TAP+273.)*4.)
*/(HR1CA+CH1+CHW)
DTP=TCC-TC
TC=TCC
IF(ABS(DTP)-0.05)1,1,2
1 TPM=QU/(CH1*W*YL)+2.*TFM-TC
DPT=TPM-TPA
TPA=TPM
IF(ABS(DPT)-0.05)3,3,4
3 RN=QU/(W*YL*(S/(RF*TAU)+CC))
SOMA=SOMA+QU
SONA=SONA+(S/(RF*TAU)+CC)*W*YL
IF(MM.EQ.0)GO TO 52
IF(MM.EQ.30)GO TO 52
GO TO 188
52 WRITE(2,100)IH,MM
188 WRITE(2,950)R,S,SH(K,1)
WRITE(2,105)TC,TFM,TPM
WRITE(2,110)TAP,TS(LMA)
WRITE(2,920)URP,UA(LMA)
WRITE(2,145)QU,RN
IF(MM.EQ.0)GO TO 152
IF(MM.EQ.30)GO TO 152
GO TO 55
152 WRITE(2,106)PVS,VS,DB
WRITE(2,103)TIADH,TISDH
WRITE(2,104)OMG,DLTA
WRITE(2,130)CH1,CH2,CHW
WRITE(2,135)HR1CA,HR1PA,HR2CA

```

```

WRITE(2,138)HR2PA,UL,UB
WRITE(2,140)FPR,FR
WRITE(2,142)CM,CN,CC
GO TO 55
41 TS(LMA)=TAP
55 MM=MM+3
   IF(MM.EQ.60)GO TO 6
   IC=IC+1
   IF(IC-20)56,5,5
56 IF(K-KK)5,54,54
6   IF(IH-24)82,91,91
91  IH=0
82  IH=IH+1
   MM=0
   IC=IC+1
   IF(IC-20)57,5,5
57 IF(K-KK)5,54,54
5   CONTINUE
   RNG=SOMA/SONA
   WRITE(2,700)RNG
   WRITE(2,965)
   WRITE(3,965)
   WRITE(3,1045)
   READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
   LUN=6
   IRECLN=4
   CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)
   K=550
   N=LMA
   WRITE(LUN,REC=K)N
   K=0
   DO 1080 I=1,N
   K=K+1
1080 WRITE(LUN,REC=K)UA(I)
      ENDFILE LUN
      WRITE(3,1010)
      READ(3,1015)NZ
      IF(NZ.EQ.0)GO TO 1090
      DO 75 I=1,N
75  WRITE(2,967)(I,UA(I),I=1,N)
1090 WRITE(2,970)
      WRITE(3,970)
      WRITE(3,1045)
      READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
      LUN=6
      IRECLN=4
      CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)
      K=550
      N=LMA
      WRITE(LUN,REC=K)N
      K=0
      DO 1060 I=1,N
      K=K+1
1060 WRITE(LUN,REC=K)TS(I)
      ENDFILE LUN
      WRITE(3,1010)

```

```

READ(3,1015)NZ
IF(NZ.EQ.0)GO TO 1070
DO 65 I=1,N
65 WRITE(2,980)(I,TS(I),I=1,N)
ZOMA=0.
TOMA=0.
DO 193 I=KP,KG
ZOMA=ZOMA+UA(I)
193 CONTINUE
KX=KG-KP+1
UAMED=ZOMA/KX
WRITE(2,1930)UAMED
DO 194 I=KP,KG
TOMA=TOMA+TS(I)
194 CONTINUE
TSMED=TOMA/KX
WRITE(2,1940)TSMED
98 FORMAT(/,' PARA 'I2':'I2' HORA(S) :-' )
100 FORMAT(//////,' PARA 'I2':'I2' HORAS :-' )
101 FORMAT(1X,'EE =' ,F6.2,13X,'DIA =' ,F6.2,12X,'OMG1 =' ,F5.2,10X
*, 'ALST =' ,F5.2)
102 FORMAT(1X,'ALLC =' ,F6.2,11X,'F1 =' ,F6.2,13X,'SS =' ,F6.2)
103 FORMAT(1X,'TIADH =' ,F5.2,11X,'TISDH =' ,F5.2)
104 FORMAT(1X,'OMG =' ,F6.2,12X,'DLTA =' ,F6.2)
105 FORMAT(1X,'TC =' ,F7.1,13X,'TFM =' ,F7.1,11X,'TPM =' ,F7.1)
106 FORMAT(1X,'PVS =' ,F6.2,12X,'VS =' ,F6.2,13X,'DB =' ,F5.2)
110 FORMAT(1X,'TA =' ,F7.1,12X,'TS =' ,F7.1)
111 FORMAT(1X,'DB =' ,F7.2,11X,'V =' ,F7.1)
115 FORMAT(1X,'CK =' ,F10.4,9X,'U =' ,E9.2,11X,'CP =' ,F10.1)
116 FORMAT(1X,'V =' ,F5.2,15X,'VA =' ,F6.2,13X,'PATM =' ,F7.2)
120 FORMAT(1X,'W =' ,F5.2,15X,'H =' ,F5.2,15X,'YL =' ,F10.2)
121 FORMAT(1X,'CKI =' ,F7.4,11X,'ESPI =' ,F7.2)
122 FORMAT(1X,'EP =' ,F5.2,14X,'RF =' ,F5.2)
123 FORMAT(1X,'EC =' ,F4.2,15X,'AA =' ,F4.2,15X,'RR =' ,F4.2)
126 FORMAT(1X,'TT =' ,F5.2,14X,'TAU =' ,F5.2)
130 FORMAT(1X,'CH1 =' ,F6.2,12X,'CH2 =' ,F6.2,12X,'CHW =' ,F6.2)
135 FORMAT(1X,'HR1CA =' ,F7.2,9X,'HR1PA =' ,F7.2,9X,'HR2CA =' ,F7.2)
138 FORMAT(1X,'HR2PA =' ,F7.2,9X,'UL =' ,F7.2,12X,'UB =' ,F7.2)
140 FORMAT(1X,'FPR =' ,F7.2,11X,'FR =' ,F7.2)
142 FORMAT(1X,'CM =' ,E11.3,8X,'CN =' ,E11.3,8X,'CC =' ,E11.3)
145 FORMAT(1X,'QU =' ,F9.1,10X,'RN =' ,F8.4)
150 FORMAT(1X,'S =' ,F7.1,12X,'SH =' ,F7.1,11X,'RF =' ,F7.2)
160 FORMAT(//////,10X,' "SOLAR1 REGIME PERMANENTE" ',/)
170 FORMAT(I2)
175 FORMAT(4A4)
180 FORMAT(I3)
185 FORMAT(F6.2)
190 FORMAT(/,' LEITURA DE DADOS "TEMPERATURA AMBIENTE" DADOS L
*IDOS NO ARQUIVO: '4A4,/)
200 FORMAT(5(' TA('I3','I2')='F5.1,5X))
210 FORMAT(/,' LEITURA DE DADOS "RADIACAO SOLAR" DADOS LIDOS
*NO ARQUIVO: "4A4,/)
220 FORMAT(5(' SH('I3','I2')='F6.1,5X))
225 FORMAT(/,' LEITURA DE DADOS "UMIDADE RELATIVA" DADOS LIDOS
*NO ARQUIVO: "4A4,/)
230 FORMAT(5(' UR('I3','I2')='F5.1,5X))

```

```

240  FORMAT(I3)
260  FORMAT(' QUAL O NOME DO 1o. ARQUIVO DE DADOS?',/)
280  FORMAT(' QUAL O NOME DO 2o. ARQUIVO DE DADOS?',/)
285  FORMAT(' QUAL O NOME DO 3o. ARQUIVO DE DADOS?',/)
290  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 1200 ')
300  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 1600 ')
310  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 2100 ')
320  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 2300 ')
330  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 5500 ')
340  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 5600 ')
500  FORMAT(/,30X,'I = 'I3,10X,'J = 'I2)
600  FORMAT(30X,'TS('I3') = 'F7.1)
700  FORMAT(/,/, ' "RENDIMENTO DIARIO" ..... RNG =',F8.4)
800  FORMAT(' INserir HORA PARA INICIAR ..... IH = ')
810  FORMAT(' INserir HORA DE INICIO DO DIA SEGUINTE ..... JH = ')
890  FORMAT(' INserir MINUTOS INICIAIS DO DIA SEGUINTE ..... LL = ')
850  FORMAT(I2)
880  FORMAT(' INserir MINUTOS INICIAIS ..... MM = ')
900  FORMAT(I2)
920  FORMAT(1X,'UR =',F6.2,13X,'UA =',F5.3)
950  FORMAT(/, ' R =',F7.2,12X,' S =',F7.1,12X,' SH =',F7.1)
965  FORMAT(/,/, ' "VALORES DE UMIDADE ABSOLUTA"/)
967  FORMAT(5(' UA('I3')='F6.3,5X))
970  FORMAT(/,/, ' "TEMPERATURAS DE SAIDA DO COLETOR"/)
980  FORMAT(5(' TS('I3')='F5.1,5X))
1000  FORMAT(/, ' "TEMPERATURAS DE SAIDA DO COLETOR ARQUIVADAS EM --
* TS/DAT -- "')
1300  FORMAT(/, ' O VALOR DE ..... DIA = ')
1350  FORMAT(/, ' O VALOR DE ..... EE = ')
1010  FORMAT(/,/, ' SE DESEJA LISTAR, TYPE ( 1 ) <ENTER>'
*/, ' SE NAO TYPE ( 0 ) <ENTER>'/)
1015  FORMAT(I1)
1045  FORMAT(/, ' QUAL SERA O NOME DO ARQUIVO ? (maximo 16 caracter
*es) ',/)
1400  FORMAT(/,1X,' "CONDICOES INICIAIS",/)
1420  FORMAT(1X,' isolante : PEDRA absorvente : ALUMINIO',/)
1450  FORMAT(/, ' HORA INICIAL 'I2' : 'I2' HORA(S) "--')
1500  FORMAT(/, ' O VALOR DE ..... KK = ')
1930  FORMAT(/,1X,'UAMEDIA =',F6.3)
1940  FORMAT(/,1X,'TSMEDIA =',F5.1)
1070  STOP
END

```

Programa para calcular o coletor solar tipo "A" regime transitório.

```

    DIMENSION TA(250,1),SH(250,1),UR(250,1),TS(550),UA(550),TI(20),
    *TIV(5),FNAME(4)
C    REGIME TRANSIENTE
    DATA FI,SS,OMG1,ALST,ALLC/-22.92,-30.,15.,45.,47.08/
    DATA CP,CK,U,PATM/1005.,0.0267,1.9E-5,9601.0/
C    VARIACOES DOS PARAMETROS:
C    COBERTURA TRANSPARENTE: POLIETILENO E PVC
    DATA EC,AA,RR,TT,TAU/0.29,0.29,0.06,0.65,0.90/
C    MATERIAIS ABSORVENTES E ISOLANTES
C    ABSORVENTES: ALUMINIO , FERRO , AMIANTO
    DATA EP,RF/0.95,0.95/
C    ISOLANTES: LA DE VIDRO , PEDRA E ISOPOR , NUMERO DE CAMADAS
C    *DO ISOLANTE(NN)
    DATA CKI,ROI,CPI,DT,DX/0.1053,1888.00,850.00,.5,.03/
C    GEOMETRICOS: COMPRIMENTO , LARGURA , ALTURA
    DATA XK,XK1,XK2/1.5,1.7,1.5/
    DATA YL,W,H/20.,3.,.10/
C    OPERACIONAIS: VAZAO DO AR(VA),TEMPERATURA DE SAIDA DO COLETOR(
C    *TS)
    DATA VA/100./
C    CLIMATOLOGICOS: TEMPERATURA AMBIENTE(TA),VELOCIDADE DO VENTO(V)
C    *,RADIACAO SOLAR(SH),UMIDADE RELATIVA(UR),HORA INICIAL SOLAR DO D
C    *IA(IH),MINUTOS INICIAIS SOLAR DO DIA(MM),HORA FINAL SOLAR DO DIA
C    *(IS),HORA INICIAL SOLAR DO DIA SEGUINTE(JH),MINUTOS INICIAIS SOL
C    *AR DO DIA SEGUINTE(LL),NUMERO DE LOOPS NO PERIODO SOLAR(KK),EE,
C    *DIA
    DATA V/3./
    WRITE(3,800)
    READ(3,850)IH
    WRITE(3,880)
    READ(3,850)MM
    KP=((49*20)-(IH*20+MM/3))+1
    KG=((21*20)-(IH*20+MM/3))+1
    WRITE(3,820)
    READ(3,850)IS
    WRITE(3,1500)
    READ(3,180)KK
    LUN=6
    IRECLN=4
    L=1
    WRITE(3,260)
    READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
    CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)
    K=250
    READ(LUN,REC=K,ERR=11)N,M
    GO TO 12
11    WRITE(3,290)
    PAUSE 10
12    DO 10 I=L,N
10    READ(LUN,REC=I,ERR=15)(TA(I,J),J=1,M)
    GO TO 17
15    WRITE(3,300)
    PAUSE 20
17    ENDFILE LUN
    WRITE(3,1010)
    READ(3,1015)NZ

```

```

IF(NZ.EQ.0)GOTO 1020
WRITE(2,190)(FNAME(I),I=1,4)
WRITE(2,200)((I,J,TA(I,J),J=1,M),I=L,N)
1020 WRITE(3,280)
READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)
READ(LUN,REC=K,ERR=22)N,M
GO TO 25
22 WRITE(3,310)
PAUSE 30
25 DO 20 I=L,N
20 READ(LUN,REC=I,ERR=27)(SH(I,J),J=1,M)
GO TO 32
27 WRITE(3,320)
PAUSE 40
32 ENDFILE LUN
WRITE(3,1010)
READ(3,1015)NZ
IF(NZ.EQ.0)GOTO 1030
WRITE(2,210)(FNAME(I),I=1,4)
WRITE(2,220)((I,J,SH(I,J),J=1,M),I=L,N)
1030 WRITE(3,285)
READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)
READ(LUN,REC=K,ERR=92)N,M
GO TO 28
92 WRITE(3,330)
PAUSE 50
28 DO 72 I=1,N
72 READ(LUN,REC=I,ERR=63)(UR(I,J),J=1,M)
GO TO 93
63 WRITE(3,340)
PAUSE 60
93 ENDFILE LUN
WRITE(3,1010)
READ(3,1015)NZ
IF(NZ.EQ.0)GO TO 1040
WRITE(2,225)(FNAME(I),I=1,4)
WRITE(2,230)((I,J,UR(I,J),J=1,M),I=1,N)
1040 WRITE(2,160)
SOMA=0.
SONA=0.
SONI=0.
SONAA=0.
ARM=0.
WRITE(3,1300)
READ(3,185)DIA
WRITE(3,1350)
READ(3,185)EE
WRITE(3,1050)
READ(3,170)NN
ESPI=FLOAT(NN)*DX-DX
WRITE(2,1400)
WRITE(2,1420)
WRITE(2,115)CK,U,CP
WRITE(2,116)V,VA,PATM

```

```

WRITE(2,120)W,H,YL
WRITE(2,121)CKI,ROI,CPI
WRITE(2,122)EP,RF,DT,DX
WRITE(2,119)NN,ESPI
WRITE(2,123)EC,AA,RR
WRITE(2,124)TT,TAU
WRITE(2,101)EE,DIA,OMG1,ALST
WRITE(2,102)ALLC,FI,SS
TIADM=FLOAT(IH)*60.+FLOAT(MM)
DO 29 I=1,NN
29  TI(I)=TA(1,1)
CONTINUE
TC=TA(1,1)
TSP=TA(1,1)
TFM=TA(1,1)
WRITE(2,1450)IH,MM
WRITE(2,990)TA(1,1),TC,TFM,TSP
WRITE(2,900)(I,TI(I),I=1,NN)
LMA=0
DO 5 K=1,N
DO 5 J=1,M
IC=0
DC=0.
DP=0.
54  ISOMA=0
DCC=(TA(K+1,1)-TA(K,1))/20.
DPP=(UR(K+1,1)-UR(K,1))/20.
LMA=LMA+1
IF(K-KK)50,53,53
53  TAP=DC+TA(K,1)
DC=DCC+DC
URP=(DP+UR(K,1))*0.01
DP=DPP+DP
GO TO 49
50  TAP=TA(K,J)
URP=UR(K,J)*0.01
49  PVS=EXP(54.63-12301.69/(TAP*1.8+492.))-5.19*ALOG(TAP*1.8+492.))
UA(LMA)=0.622*URP*PVS/(PATM*14.7/10332.-URP*PVS)
PVS=PVS*10332./14.7
RA=53.35
VS=((RA*(TAP*1.8+492.)/(PATM*14.7/10332.*144.))*(1.+1.608*UA(LM
*A)))*0.06242
DE=VA/(VS*60.)
51  ISOMA=ISOMA+1
IF(K-KK)80,81,81
80  IF(ISOMA-6)13,14,14
81  IF(ISOMA-6)13,85,85
13  TAA=TAP
GO TO 16
14  TAA=TA(K+1,J)
GO TO 16
85  TAA=TAP+DCC
16  WRITE(3,500)K,J
C    EE=-(9.*SIN((DIA-1.)/0.5))-5. .... PARA DIA<100.
C    EE=(5.*SIN((DIA-100.)/0.395))-1. .... PARA 100.<=DIA<=244.
C    EE=(18.6*SIN((DIA-242.)/0.685))-2.5 ... PARA DIA>242.

```

```

C      OS VALORES DE TIADM e EE DEPENDEM DO DIA
C      OS VALORES IH,MM,EE e DIA SERAO MUDADOS EM FUNCAO DO DIA
C      COS(OMGS)=-SIN(FI)*SIN(DLTA)/(COS(FI)*COS(DLTA))
C      OMGS EO ANGULO HORARIO DO INICIO E FIM DO DIA SOLAR
C      TD=2./15.*ACOS(-TAN(FI)*TAN(DLTA))
C      TD E O NUMERO DE HORAS MAXIMAS DE INSOLACAO
      PI=3.141592
      FIR=FI*PI/180.
      SSR=SS*PI/180.
      TIADH=TIADM/60.
      TISDM=TIADM+EE+4.*(ALST-ALLC)
      TISDH=TISDM/60.
      IF(LMA-KK)59,59,60
60      S=0.
      SH(K,1)=0.
      GO TO 58
59      OMG2=OMG1*(12.-TISDH)
      OMG=OMG2-OMG1/20.*(FLOAT(K)-1.)
      OMGR=OMG*PI/180.
      DLTA=23.45*SIN((360.*(284.+DIA)/365.)*PI/180.)
      DLTAR=DLTA*PI/180.
      R=(COS(FIR-SSR)*COS(DLTAR)*COS(OMGR)+SIN(FIR-SSR)*SIN(DLTAR))/
      *(COS(FIR)*COS(DLTAR)*COS(OMGR)+SIN(FIR)*SIN(DLTAR))
      S=SH(K,1)*R*RF*TAU
      IF(R-3.)58,58,69
69      S=50.
58      DD=5.67E-8
      CH1=0.0158*(2.*DB/(W*U))*0.8*CK/(2.*H)
      CH2=CH1*XK
      HO=CH1
      CHW=5.7+3.8*V
      HC=CHW
      HR1CA=(2.*EC*DD-DD*EC*(1.-EP)*AA*(1./(1.-RR*(1.-EP))))*((TC+273
      *.)**2.+(TAP+273.)*2.)*(TC+273.+TAP+273.)
      HR1PA=DD*EP*AA*(1./(1.-RR*(1.-EP)))*((TI(1)+273.)*2.+(TAP+273.
      *))*2.)*(TI(1)+273.+TAP+273.)
      HR2CA=EC*EP*DD*(1./(1.-RR*(1.-EP)))*((TC+273.)*2.+(TAP+273.)*2.
      *2.)*(TC+273.+TAP+273.)
      HR2PA=(DD*EP-DD*EP**2.*RR*(1./(1.-RR*(1.-EP))))*((TI(1)+273.)*2.
      *2.+(TAP+273.)*2.)*(TI(1)+273.+TAP+273.)
      CHR1A=EP*DD*((TI(NN)+273.)*2.+(TAP+273.)*2.)*(TI(NN)+273.+TA
      *P+273.)
      CM=DD*AA*(1.+(1./(1.-RR*(1.-EP)))*(TT+EC-EP*(TT+EC-1.)))-2.*DD*
      *EC
      CN=DD*EP*(1./(1.-RR*(1.-EP)))*(EC+EP*RR+TT)-DD*EP
      A1=(2.*CKI*DT)/(ROI*CPI*(DX**2.))*60.
      A2=(HO*DX*XK2)/CKI
      A3=(HR2CA*DX)/CKI
      A4=(HR2PA*DX)/CKI
      A5=DX/CKI
      A6=(CHR1A+HC)*DX/CKI
      IF(KW.EQ.1)GO TO 21
      IF(IH-21)201,201,21
201      CC=(HC+CHR1A)*(TI(NN)-TAP)
      CCP=CC
      CB=EC*DD*(TC+273.)*4.-AA*DD*(TAP+273.)*4.+1./(1.-RR*(1.-

```

```

*EP))* (EC*(1.-EP)*TT*DD*(TC+273.)**4.+TT*EP*DD*(TI(1)+273.)**
*4.-(EP*TT+AA*TT*(1.-EP))*DD*(TAP+273.)**4.)+CHW*(TC-TAP)
  CBP=CB
  QU=DB*CP*(TSP-TAP)
  SONI=SONI+QU
  QA=W*YL*(S-CC-CB)-QU
  IF(TI(NN)-TAP)42,42,43
43  CC=0.
42  IF(TC-TAP)44,44,45
45  CB=0.
44  CARS=W*YL*(S/(RF*TAU)-CC-CB)
  SONAA=SONAA+CARS
  IF(LMA-KK)70,70,21
70  SOMA=SOMA+QU
  ARM=ARM+QA
  RN=QU/CARS
  SONA=SONA+CARS
  KKA=KK+2
21  IF(ISOMA-1)77,77,30
77  TS(LMA)=TSP
  WRITE(3,98)IH,MM
  IF(MM.EQ.0)GO TO 52
  IF(MM.EQ.30)GO TO 52
  IF(K-KKA)188,188,30
52  WRITE(2,100)IH,MM
  WRITE(2,130)CHW,CH1,CHRIA
  WRITE(2,135)HR1CA,HR1PA,HR2CA,HR2PA
  WRITE(2,960)R,S,SH(K,1)
  GO TO 199
188 WRITE(2,950)R,S,SH(K,1)
  WRITE(2,951)CCP,CBP,CARS
  WRITE(2,146)QU,QA,RN
199 WRITE(2,990)TAP,TC,TFM,TS(LMA)
  WRITE(2,900)(I,TI(I),I=1,NN)
  WRITE(2,920)URP,UA(LMA)
  IF(MM.EQ.0)GO TO 152
  IF(MM.EQ.30)GO TO 152
  GO TO 30
152 WRITE(2,105)PVS,VS,DB
  WRITE(2,103)TIADH,TISDH
  WRITE(2,104)OMG,DLTA
  WRITE(2,111)A1,A2,A3,A4,A5,A6
  WRITE(2,112)CCP,CBP,CARS
  WRITE(2,145)QU,QA,RN,ARM
30  TIV(1)=TI(1)
  TI(1)=A1*A2*TFM+A1*A3*TC+(A1*A4-A1*A3)*TAP+A1*TI(2)+A1*A5*(C
*N*(TAP+273.)**4.)+A1*A5*S+(1.-A1*A2-A1*A4-A1)*TI(1)
  DO 1 JL=2,5
  TIV(JL)=TI(JL)
  TI(JL)=A1*(TIV(JL-1)+TI(JL+1))/2.+(1.-A1)*TI(JL)
1  CONTINUE
  TI(6)=A1*TIV(5)+A1*A6*TAP+(1.-A1-A1*A6)*TI(6)
  XR=YL*W*CH1/(DB*CP)
  A7=(XK*XK1-(1.+XK*XK1)*XR-XK*XK1*EXP(-XR))
  A8=(HR1CA+CHW-HR1PA)
  A9=(HR1CA+CHW+CH1)

```

```

      A10=(EXP(-XR)-1.)
      A11=(1.-XR-EXP(-XR))
      TC=((A7*A8+CH1*A10)*TAA+(A7*HR1PA+CH1*A11*XK*XK1)*TI(1)
      **A7*CM*(TAA+273)**4.)/(A7*A9-CH1*A11)
      TFM=(A10*TAA+A11*(TC+XK*XK1*TI(1)))/A7
      TSP=YL*W/(DB*CP)*CH1*(TC-TFM)-YL*W*XK1/(DB*CP)*CH2*(TFM
      *-TI(1))+TAA
      IF(ISOA-6)51,7,7
41      WRITE(2,995)TA(K+1,1),TC,TFM,TSP
      WRITE(2,900)(I, TI(I), I=1, NN)
      WRITE(2,145)QU, RN
7      MM=MM+3
      IF(MM.EQ.60) GO TO 6
      IC=IC+1
      IF(IC-20)56,5,5
56      IF(K-N)90,95,95
90      IF(K-KK)5,54,54
6      IF(IH-24)82,91,91
91      IH=0
      KW=1
82      IH=IH+1
      MM=0
      IC=IC+1
      IF(IC-20)57,5,5
57      IF(K-N)94,95,95
94      IF(K-KK)5,54,54
5      CONTINUE
95      RNG=SOMA/SONA
      RNGU=SONI/SONAA
      RNARM=(SONI-SOMA)/ARM
      WRITE(2,700)RNG
      WRITE(2,760)RNARM
      WRITE(2,750)RNGU
      WRITE(2,965)
      WRITE(3,965)
      WRITE(3,1045)
      READ(3,175)(FNAME(I), I=1,4)
      LUN=6
      IRECLN=4
      CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)
      K=550
      N=LMA
      WRITE(LUN,REC=K)N
      K=0
      DO 1080 I=1,N
      K=K+1
1080      WRITE(LUN,REC=K)UA(I)
      ENDFILE LUN
      WRITE(3,1010)
      READ(3,1015)NZ
      IF(NZ.EQ.0)GO TO 1090
      DO 75 I=1,N
75      WRITE(2,967)(I,UA(I), I=1,N)
1090      WRITE(2,970)
      WRITE(3,970)
      WRITE(3,1045)

```

```

      READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
      LUN=6
      IRECLN=4
      CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)
      K=550
      N=LMA
      WRITE(LUN,REC=K)N
      K=0
      DO 1060 I=1,N
      K=K+1
1060  WRITE(LUN,REC=K)TS(I)
      ENDFILE LUN
      WRITE(3,1010)
      READ(3,1015)NZ
      IF(NZ.EQ.0)GO TO 1070
      DO 65 I=1,N
65    WRITE(2,980)(I,TS(I),I=1,N)
      ZOMA=0.
      TOMA=0.
      DO 193 I=KP,KG
      ZOMA=ZOMA+UA(I)
193    CONTINUE
      KX=KG-KP+1
      UAMED=ZOMA/KX
      WRITE(2,1930)UAMED
      DO 194 I=KP,KG
      TOMA=TOMA+TS(I)
194    CONTINUE
      TSMED=TOMA/KX
      WRITE(2,1940)TSMED
98    FORMAT(/,' PARA      'I2':'I2'   HORA(S) :-'/)
100   FORMAT(////,' PARA      'I2':'I2'   HORAS :-')
101   FORMAT(1X,'EE =' ,F6.2,13X,'DIA =' ,F6.2,12X,'OMG1 =' ,F5.2,12X
*, 'ALST=' ,F5.2)
102   FORMAT(1X,'ALLC =' ,F6.2,11X,'FI =' ,F6.2,13X,'SS =' ,F5.1)
103   FORMAT(1X,'TIADH =' ,F5.2,11X,'TISDH =' ,F5.2)
104   FORMAT(1X,'OMG =' ,F6.2,12X,'DLTA =' ,F6.2)
105   FORMAT(1X,'PVS =' ,F6.2,12X,'VS =' ,F6.2,13X,'DB =' ,F5.2)
106   FORMAT(1X,'TFM =' ,F7.1,11X,'TAB =' ,F7.1)
111   FORMAT(1X,'A1 =' ,F7.3,12X,'A2 =' ,F7.3,12X,'A3 =' ,F7.3,
*,13X,'A4 =' ,F7.3,10X,'A5 =' ,F7.3,8X,'A6 =' ,F7.3)
112   FORMAT(1X,'CCP =' ,F7.1,12X,'CBP =' ,F7.1,12X,'CARS =' ,F7.1)
115   FORMAT(1X,'CK =' ,F10.4,9X,'U =' ,E12.2,8X,'CP =' ,F10.1)
116   FORMAT(1X,'V =' ,F5.2,15X,'VA =' ,F6.2,13X,'PATM =' ,F8.2)
120   FORMAT(1X,'W =' ,F5.2,15X,'H =' ,F5.2,15X,'YL =' ,F10.2)
121   FORMAT(1X,'CKI =' ,F9.4,9X,'ROI =' ,F7.2,11X,'CPI =' ,F7.2)
122   FORMAT(1X,'EP =' ,F5.2,14X,'RF =' ,F5.2,14X,'DT =' ,F5.2,14X,
*, 'DX =' ,F5.2)
119   FORMAT(1X,'NN =' ,I2,17X,'ESPI =' ,F5.2)
123   FORMAT(1X,'EC =' ,F7.2,12X,'AA =' ,F7.2,12X,'RR =' ,F7.2)
124   FORMAT(1X,'TT =' ,F7.2,12X,'TAU =' ,F7.2)
130   FORMAT(1X,'CHW =' ,F8.3,10X,'CH1 =' ,F7.3,11X,'CHRIA =' ,F7.3)
135   FORMAT(1X,'HR1CA =' ,F7.3,9X,'HR1PA =' ,F7.3,9X,'HR2CA =' ,F7.3,
*,9X,'HR2PA =' ,F7.3)
145   FORMAT(1X,'QU =' ,F10.1,9X,'QA =' ,F10.1,9X,'RN=' ,F6.3
*,14X,'ARM=' ,F10.1)

```

```

146     FORMAT(1X,'QU=',F7.1,13X,'QA=',F8.1,12X,'RN=',F6.3)
160     FORMAT(////,10X,'"SOLAR2  REGIME TRANSIENTE"',/)
170     FORMAT(I2)
175     FORMAT(4A4)
180     FORMAT(I3)
185     FORMAT(F6.2)
190     FORMAT(//,' LEITURA  DE DADOS  "TEMPERATURA AMBIENTE"  DADOS L
*IDOS NO ARQUIVO:  "'4A4,/)
200     FORMAT(5(' TA('I3','I2')='F5.1,5X))
210     FORMAT(//,' LEITURA  DE DADOS  "RADIACAO SOLAR"  DADOS LIDOS
*NO ARQUIVO:  "'4A4,/)
220     FORMAT(5(' SH('I3','I2')='F6.1,5X))
225     FORMAT(//,' LEITURA  DE DADOS  "UMIDADE RELATIVA"  DADOS LIDOS
*NO ARQUIVO:  "'4A4,/)
230     FORMAT(5(' UR('I3','I2')='F5.1,5X))
240     FORMAT(I3)
260     FORMAT(' QUAL O NOME DO  1o. ARQUIVO DE DADOS?',/)
280     FORMAT(' QUAL O NOME  2o. ARQUIVO DE DADOS?',/)
285     FORMAT(' QUAL O NOME DO  3o. ARQUIVO DE DADOS?',/)
290     FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 1200 ')
300     FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 1600 ')
310     FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 2100 ')
320     FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 2300 ')
330     FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 5500 ')
340     FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 5600 ')
500     FORMAT(//,30X,'I = 'I3,10X,'J = 'I2)
600     FORMAT(30X,'TS('I3') = 'F7.1)
700     FORMAT(///,' "RENDIMENTO SOLAR DIARIO" ..... RNG =',F8.4)
750     FORMAT(/,' "RENDIMENTO UTIL DIARIO".....RNGU=',F8.4)
760     FORMAT(///,' "EFICIENCIA DE ARMAZENAMENTO DE CALOR" ..RNARM=
*,F8.4)
800     FORMAT(' INSERIR HORA PARA INICIAR ..... 1H = ')
810     FORMAT(' INSERIR HORA DE INICIO DO DIA SEGUINTE ..... JH = ')
820     FORMAT(' INSERIR HORA DO POR DO SOL ..... IS = ')
850     FORMAT(I2)
880     FORMAT(' INSERIR MINUTOS INICIAIS ..... MM = ')
890     FORMAT(' INSERIR MINUTOS INICIAIS DO DIA SEGUINTE ..... LL = ')
900     FORMAT(5(' TI('I3')='F5.1,9X))
951     FORMAT(1X,'CCP =',F7.1,12X,'CBP =',F7.1,12X,'CARS =',F7.1)
920     FORMAT(1X,'UR =',F6.2,13X,'UA =',F5.3)
950     FORMAT(/,' R =', F7.2, 12X,' S =',F7.1,12X,' SH =',F7.1)
960     FORMAT(' R =', F7.2, 12X,' S =',F7.1,12X,' SH =',F7.1)
965     FORMAT(///,' "VALORES DE UMIDADE ABSOLUTA"'/)
967     FORMAT(5(' UA('I3')='F6.3,5X))
970     FORMAT(///,' "TEMPERATURAS DE SAIDA DO COLETOR"'/)
980     FORMAT(5(' TS('I3')='F5.1,5X))
990     FORMAT(' TA =',F7.1,11X,' TC =',F7.1, 11X,' TFM =',F7.1,10X
*, ' TS =',F7.1)
995     FORMAT(/,' TA =',F7.1,11X,' TC =',F7.1, 10X,' TFM =',F7.1,
*10X,' TS =',F7.1)
1000     FORMAT(//,' "TEMPERATURAS DE SAIDA DO COLETOR ARQUIVADAS EM --
* TS/DAT -- "')
1010     FORMAT(///,' SE DESEJA LISTAR:      TYPE   ( 1 ) <ENTER>'
*, ' SE      N A O      TYPE   ( 0 ) <ENTER>'/)
1015     FORMAT(I1)
1045     FORMAT(/,' QUAL SERA O NOME DO ARQUIVO ?   (maximo 16 caractere

```

```
*s) ',/)  
1050  FORMAT(/,' O VALOR DE ..... NN = ')  
1150  FORMAT(1X,' S = 50.')
```

1250 FORMAT(1X,'S =',F7.1)

```
1300  FORMAT(/,' O VALOR DE ..... DIA = ')  
1350  FORMAT(/,' O VALOR DE ..... EE = ')  
1400  FORMAT(/,1X,'"CONDICOES INICIAIS"',/)  
1420  FORMAT(1X,' isolante : LA DE VIDRO      absorvente : ALUMINIO',/)  
1450  FORMAT(/,' HORA INICIAL   'I2':'I2'   HORA(S)  :-')
```

1500 FORMAT(/,' O VALOR DE KK = ')

```
1930  FORMAT(/,1X,'UAMEDIA =',F6.3)  
1940  FORMAT(/,1X,'TSMEDIA =',F5.1)  
1070  STOP  
      END
```

Programa para calcular o coletor solar tipo "B" regime permanente.

```

      DIMENSION TA(250,1),SH(250,1),UR(250,1),TS(550),UA(550),FNAME
      *(4)
C      REGIME PERMANENTE
      DATA FI,SS,OMG1,ALST,ALLC/-22.92,-30.,15.,45.,47.08/
      DATA CP,CK,U,PATH/1005.,0.0267,1.9E-5,9601.0/
C      VARIACOES DOS PARAMETROS:
C      MATERIAIS ABSORVENTES E ISOLANTES
C      ABSORVENTES: ALUMINIO , FERRO , AMIANTO
      DATA EPA1,EPA2,RF/.95,.95,.95/
C      ISOLANTES: LA DE VIDRO , PEDRA E ISOPOR
      DATA EPI,CKI,ESPI/.95,0.1053,0.06/
C      GEOMETRICOS: COMPRIMENTO , LARGURA , ALTURA
      DATA YL,W,H/20.,3.,.10/
C      OPERACIONAIS: VAZAO DO AR(VA),TEMPERATURA DE SAIDA DO COLE
C      *TOR(TS)
      DATA VA/50./
C      CLIMATOLOGICOS: TEMPERATURA AMBIENTE(TA),VELOCIDADE DO VENTO
C      *(V),RADIACAO SOLAR(SH),UMIDADE RELATIVA(UR),HORA INICIAL SOLA
C      *R DO DIA(IH),MINUTOS INICIAIS SOLAR DO DIA(MM),HORA FINAL SOL
C      *AR DO DIA(IS),HORA INICIAL SOLAR DO DIA SEGUINTE(JH),MINUTOS
C      *INICIAIS SOLAR DO DIA SEGUINTE(LL),NUMERO DE LOOPS NO PERIODO
C      *SOLAR(KK),EE,DIA
      DATA V/3./
      WRITE(3,800)
      READ(3,850)IH
      WRITE(3,880)
      READ(3,850)MM
      WRITE(3,1500)
      KP=((9*20)-(IH*20+MM/3))+1
      KG=((20*20)-(IH*20+MM/3))+1
      READ(3,180)KK
      LUN=6
      IRECLN=4
      L=1
      WRITE(3,260)
      READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
      CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)
      K=250
      READ(LUN,REC=K,ERR=11)N,M
      GO TO 12
11      WRITE(3,290)
      PAUSE 10
12      DO 10 I=L,N
10      READ(LUN,REC=I,ERR=15)(TA(I,J),J=1,M)
      GO TO 17
15      WRITE(3,300)
      PAUSE 20
17      ENDFILE LUN
      WRITE(3,1010)
      READ(3,1015)NZ
      IF(NZ.EQ.0)GO TO 1020
      WRITE(2,170)(FNAME(I),I=1,4)
      WRITE(2,200)((I,J,TA(I,J),J=1,M),I=L,N)
1020      WRITE(3,280)
      READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
      CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)

```

```

      READ(LUN,REC=K,ERR=22)N,M
      GO TO 25
22    WRITE(3,310)
      PAUSE 30
25    DO 20 I=L,N
20    READ(LUN,REC=I,ERR=27)(SH(I,J),J=1,M)
      GO TO 32
27    WRITE(3,320)
      PAUSE 40
32    ENDFILE LUN
      WRITE(3,1010)
      READ(3,1015)NZ
      IF(NZ.EQ.0)GO TO 1030
      WRITE(2,210)(FNAME(I),I=1,4)
      WRITE(2,220)((I,J,SH(I,J),J=1,M),I=L,N)
1030  WRITE(3,285)
      READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
      CALL OPEN(LUN,FNAME,I,RECLN)
      READ(LUN,REC=K,ERR=92)N,M
      GO TO 28
92    WRITE(3,330)
      PAUSE 50
28    DO 72 I=1,N
72    READ(LUN,REC=I,ERR=63)(UR(I,J),J=1,M)
      GO TO 93
63    WRITE(3,340)
      PAUSE 60
93    ENDFILE LUN
      WRITE(3,1010)
      READ(3,1015)NZ
      IF(NZ.EQ.0)GO TO 1040
      WRITE(2,225)(FNAME(I),I=1,4)
      WRITE(2,230)((I,J,UR(I,J),J=1,M),I=1,N)
1040  WRITE(2,160)
      SOMA=0.
      SONA=0.
      WRITE(3,1300)
      READ(3,185)DIA
      WRITE(3,1350)
      READ(3,185)EE
      WRITE(2,1400)
      WRITE(2,1420)
      WRITE(2,115)CK,U,CP
      WRITE(2,116)V,VA,PATM
      WRITE(2,120)W,H,YL
      WRITE(2,121)CKI,ESPI,EPI
      WRITE(2,122)EPA1,EPA2,RF
      WRITE(2,101)EE,DIA,OMG1,ALST
      WRITE(2,102)ALLC,FI,SS
      TIADM=FLOAT(IH)*60.+FLOAT(MM)
      WRITE(2,1450)IH,MM
      LMA=0
      DO 5 K=1,N
      DO 5 J=1,M
      IC=0
      DC=0.

```

```

DP=0.
54 DCC=(TA(K+1,1)-TA(K,1))/20.
DPP=(UR(K+1,1)-UR(K,1))/20.
LMA=LMA+1
IF(K-KK)50,53,53
53 TAP=DC+TA(K,1)
DC=DCC+DC
URP=(DP+UR(K,1))*0.01
DP=DPP+DP
GO TO 49
50 TAP=TA(K,J)
URP=UR(K,J)*0.01
49 PVS=EXP(54.63-12301.69/(TAP*1.8+492.))-5.19*ALOG(TAP*1.8+492.)
UA(LMA)=0.622*URP*PVS/(PATM*14.7/10332.-URP*PVS)
PVS=PVS*10332./14.7
RA=53.35
VS=((RA*(TAP*1.8+492.)/(PATM*14.7/10332.*144.))*(1.+1.608*UA(LM
*A)))*0.06242
DB=VA/(VS*60.)
WRITE(3,500)K,J
C EE=-(9.*SIN((DIA-1.)/0.5))-5. .... PARA DIA<100.
C EE=(5.*SIN((DIA-100.)/0.395))-1. .... PARA 100.<=DIA<=244.
C EE=(18.6*SIN((DIA-242.)/0.685))-2.5 ... PARA DIA>242.
C OS VALORES DE TIADM e EE DEPENDEM DO DIA
C OS VALORES IH,MM,EE e DIA SERAO MUDADOS EM FUNCAO DO DIA
C COS(OMGS)=-SIN(FI)*SIN(DLTA)/(COS(FI)*COS(DLTA))
C OMGS EO ANGULO HORARIO DO INICIO E FIM DO DIA SOLAR
C TD=2./15.*COS(-TAN(FI)*TAN(DLTA))
C TD E O NUMERO DE HORAS MAXIMAS DE INSOLACAO
PI=3.141592
FIR=FI*PI/180.
SSR=SS*PI/180.
TIADH=TIADM/60.
TISDM=TIADM+EE+4.*(ALST-ALLC)
TISDH=TISDM/60.
IF(LMA-KK)71,71,73
73 S=0.
R=0.
SH(K,1)=0.
GO TO 41
71 OMG2=OMG1*(12.-TISDH)
OMG=OMG2-OMG1/20.*(FLOAT(K)-1.)
OMGR=OMG*PI/180.
DLTA=23.45*SIN((360.*(284.+DIA)/365.)*PI/180.)
DLTAR=DLTA*PI/180.
R=(COS(FIR-SSR)*COS(DLTAR)*COS(OMGR)+SIN(FIR-SSR)*SIN(DLTAR))/
*(COS(FIR)*COS(DLTAR)*COS(OMGR)+SIN(FIR)*SIN(DLTA))
S=SH(K,J)*R*RF
IF(R-3.)40,40,69
69 S=50.
40 DD=5.67E-8
CH1=0.0158*(2.*DB/(W*U))*0.8*CK/(2.*H)
CH2=CH1
CHW=5.7+3.8*V
UB=CKI/ESPI
TAB=40.

```

```

2      TI=20.
4      CHRAA=EPA1*DD*((TAB+273.)**2.+(TAP+273.)**2.)*
      *((TAB+273.)+(TAP+273.))
      UT=CHW+CHRAA
      CHRAI=DD*((TAB+273.)**2.+(TI+273.)**2.)*((TAB+273.)+(TI+273.))/
      *(1./EPA2+1./EPI-1.)
      AA=CH2+UB+CHRAI
      BB=UT+CH1+CHRAI
      FPR=-(CH1*AA+CH2*CHRAI)/(CHRAI**2.-BB*AA)
      UL=(CH1*(UB*CHRAI+UT*AA)+CH2*(UB*BB+UT*CHRAI))/(CH1*AA+CH2*CHRA
      *I)
      TS(LMA)=TAP+(S/UL)*(1.-EXP(-((W*UL*FPR*YL)/(DB*CP))))
      QU=DB*CP*(TS(LMA)-TAP)
      FR=DB*CP/(W*YL*UL)*(1.-EXP(-(UL*FPR*W*YL/(DB*CP))))
      TFM=TAP+QU*(1.-FR/FPR)/(W*YL*UL*FR)
      TIM=(CH2*TFM+UB*TAP+CHRAI*TAB)/AA
      DIT=TIM-TI
      TI=TIM
      IF(ABS(DIT)-0.05)3,3,4
3     TABB=QU/(CH1*W*YL)+2.*TFM-TI
      DTP=TABB-TAB
      TAB=TABB
      IF(ABS(DTP)-0.05)1,1,2
1     RN=QU/(W*YL*S/RF)
      SOMA=SOMA+QU
      SONA=SONA+S/RF*W*YL
      IF(MM.EQ.0)GO TO 52
      IF(MM.EQ.30)GO TO 52
      GO TO 188
52    WRITE(2,100)IH,MM
188   WRITE(2,950)R,S,SH(K,1)
      WRITE(2,105)TIM,TFM,TABB
      WRITE(2,110)TAP,TS(LMA)
      WRITE(2,920)URP,UA(LMA)
      WRITE(2,145)QU,RN
      IF(MM.EQ.0)GO TO 152
      IF(MM.EQ.30)GO TO 152
      GO TO 55
152   WRITE(2,106)PVS,VS,DB
      WRITE(2,103)TIADH,TISDH
      WRITE(2,104)OMG,DLTA
      WRITE(2,130)CHW,CHRAA,UT,UB
      WRITE(2,135)CH1,CHRAI
      WRITE(2,140)UL,FPR,FR
      GO TO 55
41    TS(LMA)=TAP
55    MM=MM+3
      IF(MM.EQ.60)GO TO 6
      IC=IC+1
      IF(IC-20)56,5,5
56    IF(K-KK)5,54,54
6     IF(IH-24)82,91,91
91    IH=0
82    IH=IH+1
      MM=0
      IC=IC+1

```

```

57      IF(IC-20)57,5,5
5       IF(K-KK)5,54,54
        CONTINUE
        RNG=SOMA/SONA
        WRITE(2,700)RNG
        WRITE(2,965)
        WRITE(3,965)
        WRITE(3,1045)
        READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
        LUN=6
        IRECLN=4
        CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)
        K=550
        N=LMA
        WRITE(LUN,REC=K)N
        K=0
        DO 1080 I=1,N
1080    K=K+1
        WRITE(LUN,REC=K)UA(I)
        ENDFILE LUN
        WRITE(3,1010)
        READ(3,1015)NZ
        IF(NZ.EQ.0)GO TO 1090
75      DO 75 I=1,N
1090    WRITE(2,967)(I,UA(I),I=1,N)
        WRITE(2,970)
        WRITE(3,970)
        WRITE(3,1045)
        READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
        LUN=6
        IRECLN=4
        CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)
        K=550
        N=LMA
        WRITE(LUN,REC=K)N
        K=0
        DO 1060 I=1,N
1060    K=K+1
        WRITE(LUN,REC=K)TS(I)
        ENDFILE LUN
        WRITE(3,1010)
        READ(3,1015)NZ
        IF(NZ.EQ.0)GO TO 1070
65      DO 65 I=1,N
        WRITE(2,980)(I,TS(I),I=1,N)
        ZOMA=0.
        TOMA=0.
        DO 193 I=KP,KG
193      ZOMA=ZOMA+UA(I)
        CONTINUE
        KX=KG-KP+1
        UAMED=ZOMA/KX
        WRITE(2,1930)UAMED
        DO 194 I=KP,KG
        TOMA=TOMA+TS(I)
194      CONTINUE

```

```

TSMED=TOMA/KX
WRITE(2,1940)TSMED
98  FORMAT(/,' PARA      'I2':'I2'    HORA(S) :-')
100  FORMAT(////,' PARA      'I2':'I2'    HORAS :-')
101  FORMAT(1X,'EE =' ,F6.2,13X,'DIA =' ,F6.2,12X,'OMG1 =' ,F5.2,10X
*, 'ALST =' ,F5.2)
102  FORMAT(1X,'ALLC =' ,F6.2,11X,'FI =' ,F6.2,13X,'SS =' ,F6.2)
103  FORMAT(1X,'TIADH =' ,F5.2,11X,'TISDH =' ,F5.2)
104  FORMAT(1X,'OMG =' ,F6.2,12X,'DLTA =' ,F6.2)
105  FORMAT(1X,'TIM =' ,F7.1,11X,'TFM =' ,F7.1,11X,'TABB =' ,F7.1)
106  FORMAT(1X,'PVS =' ,F6.2,12X,'VS =' ,F6.2,13X,'DB =' ,F5.2)
110  FORMAT(1X,'TA =' ,F7.1,12X,'TS =' ,F7.1)
111  FORMAT(1X,'DB =' ,F7.2,11X,'V =' ,F7.1)
115  FORMAT(1X,'CK =' ,F10.4,9X,'U =' ,E9.2,11X,'CP =' ,F10.1)
116  FORMAT(1X,'V =' ,F5.2,15X,'VA =' ,F6.2,13X,'PATM =' ,F7.2)
120  FORMAT(1X,'W =' ,F5.2,15X,'H =' ,F5.2,15X,'YL =' ,F10.2)
121  FORMAT(1X,'CKI =' ,F7.4,11X,'ESPI =' ,F7.2,10X,'EPI =' ,F5.2)
122  FORMAT(1X,'EPA1 =' ,F5.2,12X,'EPA2 =' ,F5.2,12X,'RF =' ,F5.2)
130  FORMAT(1X,'CHW =' ,F9.3,9X,'CHRAA =' ,F10.3,6X,'UT =' ,F9.2,
*9X,'UB =' ,F7.2)
135  FORMAT(1X,'CH1 =' ,F10.3,8X,'CHRA1 =' ,F10.3)
140  FORMAT(1X,'UL =' ,F9.3,10X,'FPR =' ,F10.4,8X,'FR =' ,F10.4)
145  FORMAT(1X,'QU =' ,F9.1,10X,'RN =' ,F8.4)
150  FORMAT(1X,'S =' ,F7.1,12X,'SH =' ,F7.1,11X,'RF =' ,F7.2)
160  FORMAT(////,10X,'*ISOL1  REGIME PERMANENTE*',/)
170  FORMAT(I2)
175  FORMAT(4A4)
180  FORMAT(I3)
185  FORMAT(F6.2)
190  FORMAT(/,' LEITURA  DE DADOS  "TEMPERATURA AMBIENTE"  DADOS L
*IDOS NO ARQUIVO:  '4A4,/)
200  FORMAT(5(' TA('I3','I2')='F5.1,5X))
210  FORMAT(/,' LEITURA  DE DADOS  "RADIACAO SOLAR"  DADOS LIDOS
*NO ARQUIVO:  " 4A4,/)
220  FORMAT(5(' SH('I3','I2')='F6.1,5X))
225  FORMAT(/,' LEITURA  DE DADOS  "UMIDADE RELATIVA" DADOS LIDOS
*NO ARQUIVO:  " 4A4,/)
230  FORMAT(5(' UR('I3','I2')='F5.1,5X))
240  FORMAT(I3)
260  FORMAT(' QUAL O NOME DO 1o. ARQUIVO DE DADOS?',/)
280  FORMAT(' QUAL O NOME DO 2o. ARQUIVO DE DADOS?',/)
285  FORMAT(' QUAL O NOME DO 3o. ARQUIVO DE DADOS?',/)
290  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 1200 ')
300  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 1600 ')
310  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 2100 ')
320  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 2300 ')
330  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 5500 ')
340  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 5600 ')
500  FORMAT(//,30X,'I = 'I3,10X,'J = 'I2)
600  FORMAT(30X,'TS('I3') = 'F7.1)
700  FORMAT(////,' "RENDIMENTO DIARIO" ..... RNG =' ,F8.4)
800  FORMAT(' INSERIR HORA PARA INICIAR ..... IH = ')
810  FORMAT(' INSERIR HORA DE INICIO DO DIA SEGUINTE ..... JH = ')
890  FORMAT(' INSERIR MINUTOS INICIAIS DO DIA SEGUINTE ..... LL = ')
850  FORMAT(I2)
880  FORMAT(' INSERIR MINUTOS INICIAIS ..... MM = ')

```

```

900    FORMAT(I2)
920    FORMAT(1X,'UR =',F6.2,13X,'UA =',F5.3)
950    FORMAT(/,' R =',F7.2,12X,' S =',F7.1,12X,' SH =',F7.1)
965    FORMAT(///,' "VALORES DE UMIDADE ABSOLUTA"'/)
967    FORMAT(5(' UA('I3')='F6.3,5X))
970    FORMAT(///,' "TEMPERATURAS DE SAIDA DO COLETOR"'/)
980    FORMAT(5(' TS('I3')='F5.1,5X))
1000   FORMAT(//,' "TEMPERATURAS DE SAIDA DO COLETOR ARQUIVADAS EM --
      * TS/DAT -- "')
1300   FORMAT(/,' O VALOR DE ..... DIA = ')
1350   FORMAT(/,' O VALOR DE ..... EE = ')
1010   FORMAT(///,' SE DESEJA LISTAR,      TYPE  ( 1 ) <ENTER>'
      */,' SE      NAO      TYPE  ( 0 ) <ENTER>'//)
1015   FORMAT(I1)
1045   FORMAT(/,' QUAL SERA O NOME DO ARQUIVO ? (maximo 16 caracter
      *es) ',/)
1400   FORMAT(//,1X,' "CONDICOES INICIAIS" ',/)
1420   FORMAT(1X,' isolante : LA DE VIDRO absorvente : ALUMINIO',/)
1450   FORMAT(/,' HORA INICIAL 'I2' : 'I2' HORA(S) "--')
1500   FORMAT(/,' O VALOR DE ..... KK = ')
1930   FORMAT(/,1X,'UAMEDIA =',F6.3)
1940   FORMAT(/,1X,'TSMEDIA =',F5.1)
1070   STOP
      END

```

Programa para calcular o coletor solar tipo "B" regime transi-
sitório.

```

      DIMENSION TA(250,1),SH(250,1),UR(250,1),TS(550),UA(550),TI(30),
      *TIV(5),FNAME(4)
C      REGIME TRANSIENTE
      DATA FI,SS,OMG1,ALST,ALLC/-22.92,-30.,15.,45.,47.08/
      DATA CP,CK,U,PATM/1005.,0.0267,1.9E-5,9601.0/
C      VARIACOES DOS PARAMETROS:
C      MATERIAIS ABSORVENTES E ISOLANTES
C      ABSORVENTES: ALUMINIO , FERRO , AMIANTO
      DATA ESPAB,ROAB,CPAB,EPA1,EPA2,RF/.002,2685.,870.,.95,.95,.95/
C      ISOLANTES: LA DE VIDRO , PEDRA E ISOPOR , NUMERO DE CAMADAS
C      *DO ISOLANTE(NN)
      DATA CKI,ROI,CPI,EPI1,EPI2,DT,DX/0.1053,188F * 850.0,.95,.95,
      *.5,.03/
C      GEOMETRICOS: COMPRIMENTO , LARGURA , ALTURA ,
      DATA YL,W,H/20.,3.,.10/
C      OPERACIONAIS: VAZAO DO AR(VA),TEMPERATURA DE SAIDA DO COLETOR(
C      *TS)
      DATA VA/100./
C      CLIMATOLOGICOS: TEMPERATURA AMBIENTE(TA),VELOCIDADE DO VENTO(V)
C      *,RADIACAO SOLAR(SH),UMIDADE RELATIVA(UR),HORA INICIAL SOLAR DO D
C      *IA(IH),MINUTOS INICIAIS SOLAR DO DIA(MM),HORA FINAL SOLAR DO DIA
C      *(IS),HORA INICIAL SOLAR DO DIA SEGUINTE(JH),MINUTOS INICIAIS SOL
C      *AR DO DIA SEGUINTE(LL),NUMERO DE LOOPS NO PERIODO SOLAR(KK),EE,
C      *DIA
      DATA V/3./
      WRITE(3,800)
      READ(3,850)IH
      WRITE(3,880)
      READ(3,850)MM
      KP=((9*20)-(IH*20+MM/3))+1
      KG=((21*20)-(IH*20+MM/3))+1
      WRITE(3,820)
      READ(3,850)IS
      WRITE(3,1500)
      READ(3,180)KK
      LUN=6
      IRECLN=4
      L=1
      WRITE(3,260)
      READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
      CALL OPEN(LUN,FNAME,I,IRECLN)
      K=250
      READ(LUN,REC=K,ERR=11)N,M
      GO TO 12
11      WRITE(3,290)
      PAUSE 10
12      DO 10 I=L,N
10      READ(LUN,REC=I,ERR=15)(TA(I,J),J=1,M)
      GO TO 17
15      WRITE(3,300)
      PAUSE 20
17      ENDFILE LUN
      WRITE(3,1010)
      READ(3,1015)NZ
      IF(NZ.EQ.0)GOTO 1020
      WRITE(2,190)(FNAME(I),I=1,4)

```

```

WRITE(2,200)((I,J,TA(I,J),J=1,M),I=L,N)
1020 WRITE(3,280)
READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
CALL OPEN(LUN,FNAME,I RECLN)
READ(LUN,REC=K,ERR=22)N,M
GO TO 25
22 WRITE(3,310)
PAUSE 30
25 DO 20 I=L,N
20 READ(LUN,REC=I,ERR=27)(SH(I,J),J=1,M)
GO TO 32
27 WRITE(3,320)
PAUSE 40
32 ENDFILE LUN
WRITE(3,1010)
READ(3,1015)NZ
IF(NZ.EQ.0)GOTO 1030
WRITE(2,210)(FNAME(I),I=1,4)
WRITE(2,220)((I,J,SH(I,J),J=1,M),I=L,N)
1030 WRITE(3,285)
READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
CALL OPEN(LUN,FNAME,I RECLN)
READ(LUN,REC=K,ERR=92)N,M
GO TO 28
92 WRITE(3,330)
PAUSE 50
28 DO 72 I=1,N
72 READ(LUN,REC=I,ERR=63)(UR(I,J),J=1,M)
GO TO 93
63 WRITE(3,340)
PAUSE 60
93 ENDFILE LUN
WRITE(3,1010)
READ(3,1015)NZ
IF(NZ.EQ.0)GO TO 1040
WRITE(2,225)(FNAME(I),I=1,4)
WRITE(2,230)((I,J,UR(I,J),J=1,M),I=1,N)
1040 WRITE(2,160)
AMA=W*YL*ESPAB*ROAB
AMCAB=AMA*CPAB
SOMA=0.
SONA=0.
SONI=0.
SONAA=0.
ARM=0.
WRITE(3,1300)
READ(3,185)DIA
WRITE(3,1350)
READ(3,185)EE
WRITE(3,1050)
READ(3,170)NN
ESPI=FLOAT(NN)*DX-DX
WRITE(2,1400)
WRITE(2,1420)
WRITE(2,115)CK,U,CP
WRITE(2,116)V,VA,PATM

```

```

WRITE(2,120)W,H,YL
WRITE(2,121)CKI,ROI,CPI
WRITE(2,122)EPI1,EPI2,DT,DX
WRITE(2,119)NN,ESPI
WRITE(2,123)ESPAB,ROAB,CPAB
WRITE(2,124)EPA1,EPA2,RF
WRITE(2,101)EE,DIA,OMG1,ALST
WRITE(2,102)ALLC,FI,SS
TIADM=FLOAT(IH)*60.+FLOAT(MM)
DO 29 I=1,NN
29  TI(I)=TA(1,1)
    CONTINUE
    TAB=TA(1,1)
    TSP=TA(1,1)
    TFM=TA(1,1)
    WRITE(2,1450)IH,MM
    WRITE(2,990)TA(1,1),TAB,TFM,TSP
    WRITE(2,900)(I,TI(I),I=1,NN)
    LMA=0
    DO 5 K=1,N
    DO 5 J=1,M
    IC=0
    DC=0.
    DP=0.
54  ISOMA=0
    DCC=(TA(K+1,1)-TA(K,1))/20.
    DPP=(UR(K+1,1)-UR(K,1))/20.
    LMA=LMA+1
    IF(K-KK)50,53,53
53  TAP=DC+TA(K,1)
    DC=DCC+DC
    URP=(DP+UR(K,1))*0.01
    DP=DPP+DP
    GO TO 49
50  TAP=TA(K,J)
    URP=UR(K,J)*0.01
49  PVS=EXP(54.63-12301.69/(TAP*1.8+492.))-5.19*ALOG(TAP*1.8+492.))
    UA(LMA)=0.622*URP*PVS/(PATM*14.7/10332.-URP*PVS)
    PVS=PVS*10332./14.7
    RA=53.35
    VS=((RA*(TAP*1.8+492.)/(PATM*14.7/10332.*144.))*(1.+1.608*UA(LM
    *A)))*0.06242
    DE=VA/(VS*60.)
51  ISOMA=ISOMA+1
    IF(K-KK)80,81,81
80  IF(ISOMA-6)13,14,14
81  IF(ISOMA-6)13,85,85
13  TAA=TAP
    GO TO 16
14  TAA=TA(K+1,J)
    GO TO 16
85  TAA=TAP+DCC
C    EE=-(9.*SIN((DIA-1.)/0.5))-5. .... PARA DIA<100.
C    EE=(5.*SIN((DIA-100.)/0.395))-1. .... PARA 100.<=DIA<=244.
C    EE=(18.6*SIN((DIA-242.)/0.685))-2.5 ... PARA DIA>242.
C    OS VALORES DE TIADM e EE DEPENDEM DO DIA

```

```

C      OS VALORES IH,MM,EE e DIA SERAO MUDADOS EM FUNCAO DO DIA
C      COS(OMGS)=-SIN(FI)*SIN(DLTA)/(COS(FI)*COS(DLTA))
C      OMGS EO ANGULO HORARIO DO INICIO E FIM DO DIA SOLAR
C      TD=2./15.*ACOS(-TAN(FI)*TAN(DLTA))
C      TD E O NUMERO DE HORAS MAXIMAS DE INSOLACAO
16     PI=3.141592
        FIR=FI*PI/180.
        SSR=SS*PI/180.
        TIADH=TIADM/60.
        TISDM=TIADM+EE+4.*(ALST-ALLC)
        TISDH=TISDM/60.
        IF(LMA-KK)59,59,60
60     S=0.
        SH(K,1)=0.
        GO TO 58
59     OMG2=OMG1*(12.-TISDH)
        OMG=OMG2-OMG1/20.*(FLOAT(K)-1.)
        OMGR=OMG*PI/180.
        DLTA=23.45*SIN((360.*(284.+DIA)/365.)*PI/180.)
        DLTAR=DLTA*PI/180.
        R=(COS(FIR-SSR)*COS(DLTAR)*COS(OMGR)+SIN(FIR-SSR)*SIN(DLTAR))/
        *(COS(FIR)*COS(DLTAR)*COS(OMGR)+SIN(FIR)*SIN(DLTAR))
        S=SH(K,1)*R*RF
        IF(R-3.)58,58,69
69     S=50.
58     DD=5.67E-8
        CH1=0.0158*(2.*DB/(W*U))*0.8*CK/(2.*H)
        CH2=CH1
        HO=CH1
        CHW=5.7+3.8*V
        HC=CHW
        CHRAA=EPA1*DD*((TAB+273.)**2.+(TAP+273.)**2.)*((TAB+
        *273.)+(TAP+273.))
        UT=CHW+CHRAA
        CHRAI=DD*((TAB+273.)**2.+(TI(1)+273.)**2.)*((TAB+273.)+
        *(TI(1)+273.))/(1./EPA2+1./EPI1-1.)
        CHRIA=EPI2*DD*((TI(NN)+273.)**2.+(TAP+273.)**2.)*((TI(NN
        *)+273.)+(TAP+273.))
        A=(2.*CKI*DT)/(ROI*CPI*(DX**2.))*60.
        B=(HO*DX)/CKI
        C=(HC+CHRIA)*DX/CKI
        P=(CHRAI*DX)/CKI
        IF(KW.EQ.1)GO TO 21
        IF(IH-21)201,201,21
201    CC=(HC+CHRIA)*(TI(NN)-TAP)
        CCP=CC
        CB=UT*(TAB-TAP)
        CBP=CB
        QU=DB*CP*(TSP-TAP)
        SONI=SONI+QU
        QA=W*YL*(S-CC-CB)-QU
        IF(TI(NN)-TAP)42,42,43
43     CC=0.
42     IF(TAB-TAP)44,44,45
45     CB=0.
44     CARS=W*YL*(S/RF-CC-CB)

```

```

SONAA=SONAA+CARS
IF (LMA-KK) 70, 70, 21
70  SOMA=SOMA+QU
    ARM=ARM+QA
    RN=QU/CARS
    SONA=SONA+CARS
    KKA=KK+2
21  IF (ISOMA-1) 77, 77, 30
77  TS(LMA)=TSP
    WRITE(3, 98) IH, MM
    IF (MM.EQ.0) GO TO 52
    IF (MM.EQ.30) GO TO 52
    IF (K-KKA) 188, 188, 30
52  WRITE(2, 100) IH, MM
    WRITE(2, 130) CHW, CH1, CHRIA
    WRITE(2, 135) CHRAA, CHRAI, UT
    WRITE(2, 960) R, S, SH(K, 1)
    GO TO 199
188 WRITE(2, 950) R, S, SH(K, 1)
    WRITE(2, 951) CCP, CBP, CARS
    WRITE(2, 146) QU, QA, RN
199 WRITE(2, 990) TAP, TAB, TFM, TS(LMA)
    WRITE(2, 900) (I, TI(I), I=1, NN)
    WRITE(2, 920) URP, UA(LMA)
    IF (MM.EQ.0) GO TO 152
    IF (MM.EQ.30) GO TO 152
    GO TO 30
152 WRITE(2, 105) PVS, VS, DB
    WRITE(2, 103) TIADH, TISDH
    WRITE(2, 104) OMG, DLTA
    WRITE(2, 111) A, B, C, P
    WRITE(2, 112) CCP, CBP, CARS
    WRITE(2, 145) QU, QA, RN, ARM
30  TABV=TAB
    TAB=TAB+DT*60.*W*YL/AMCAB*(S-UT*(TAB-TAP)-CH
*1*(TAB-TFM)-CHRAI*(TAB-TI(1)))
    TIV(1)=TI(1)
    TI(1)=A*B*TFM+A*P*TABV+A*TI(2)+(1.-A*B-A*P-A)*TI(1
*)
    DO 1 JL=2, 5
        TIV(JL)=TI(JL)
        TI(JL)=A*(TIV(JL-1)+TI(JL+1))/2.+(1.-A)*TI(JL)
1    CONTINUE
        TI(6)=A*TIV(5)+A*C*TAP+(1.-A-A*C)*TI(6)
        XR=YL*W*CH1/(DB*CP)
        TFM=((XR-1.+EXP(-XR))*(TAB+TI(1)))+(1.-EXP(-X
*)R))*TAA)/(2.*XR-1.+EXP(-XR))
        TSP=YL*W/(DB*CP)*(CH1*(TAB-TFM)-CH2*(TFM
*-TI(1)))+TAA
        IF (ISOMA-6) 51, 7, 7
7    MM=MM+3
        IF (MM.EQ.60) GO TO 6
        IC=IC+1
        IF (IC-20) 56, 5, 5
56  IF (K-KK) 5, 54, 54
6    IF (IH-24) 82, 91, 91

```

```

91      IH=0
      KW=1
82      IH=IH+1
      MM=0
      IC=IC+1
      IF(IC-20)57,5,5
57      IF(K-KK)5,54,54
5      CONTINUE
      RNG=SOMA/SONA
      RNGU=SONI/SONAA
      RNARM=(SONI-SOMA)/ARM
      WRITE(2,700)RNG
      WRITE(2,760)RNARM
      WRITE(2,750)RNGU
      WRITE(2,965)
      WRITE(3,965)
      WRITE(3,1045)
      READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
      LUN=6
      IRECLN=4
      CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)
      K=550
      N=LMA
      WRITE(LUN,REC=K)N
      K=0
      DO 1080 I=1,N
      K=K+1
1080    WRITE(LUN,REC=K)UA(I)
      ENDFILE LUN
      WRITE(3,1010)
      READ(3,1015)NZ
      IF(NZ.EQ.0)GO TO 1090
      DO 75 I=1,N
75      WRITE(2,967)(I,UA(I),I=1,N)
1090    WRITE(2,970)
      WRITE(3,970)
      WRITE(3,1045)
      READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
      LUN=6
      IRECLN=4
      CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)
      K=550
      N=LMA
      WRITE(LUN,REC=K)N
      K=0
      DO 1060 I=1,N
      K=K+1
1060    WRITE(LUN,REC=K)TS(I)
      ENDFILE LUN
      WRITE(3,1010)
      READ(3,1015)NZ
      IF(NZ.EQ.0)GO TO 1070
      DO 65 I=1,N
65      WRITE(2,980)(I,TS(I),I=1,N)
      ZOMA=0.
      TOMA=0.

```

```

DO 193 I=KP,KG
ZOMA=ZOMA+UA(I)
193 CONTINUE
KX=KG-KP+1
UAMED=ZOMA/KX
WRITE(2,1930)UAMED
DO 194 I=KP,KG
TOMA=TOMA+TS(I)
194 CONTINUE
TSMED=TOMA/KX
WRITE(2,1940)TSMED
98  FORMAT(/,' PARA      'I2':'I2'   HORA(S) :-'/)
100  FORMAT(////,' PARA      'I2':'I2'   HORAS :-')
101  FORMAT(1X,'EE =' ,F6.2,13X,'DIA =' ,F6.2,12X,'OMG1 =' ,F5.2,12X
*, 'ALST=' ,F5.2)
102  FORMAT(1X,'ALLC =' ,F6.2,11X,'FI =' ,F6.2,13X,'SS =' ,F5.1)
103  FORMAT(1X,'TIADH =' ,F5.2,11X,'TISDH =' ,F5.2)
104  FORMAT(1X,'OMG =' ,F6.2,12X,'DLTA =' ,F6.2)
105  FORMAT(1X,'PVS =' ,F6.2,12X,'VS =' ,F6.2,13X,'DB =' ,F5.2)
106  FORMAT(1X,'TFM =' ,F7.1,11X,'TAB =' ,F7.1)
111  FORMAT(1X,'A =' ,F7.3,13X,'B =' ,F7.3,13X,'C=' ,F7.3,
*14X,'P=' ,F7.3)
112  FORMAT(1X,'CCP=' ,F7.1,12X,'CBP=' ,F7.1,12X,'
*CARS=' ,F7.1)
115  FORMAT(1X,'CK =' ,F10.4,9X,'U =' ,E12.2,8X,'CP =' ,F10.1)
116  FORMAT(1X,'V =' ,F5.2,15X,'VA =' ,F6.2,13X,'PATM =' ,F8.2)
120  FORMAT(1X,'W =' ,F5.2,15X,'H =' ,F5.2,15X,'YL =' ,F10.2)
121  FORMAT(1X,'CKI =' ,F9.4,9X,'ROI =' ,F7.2,11X,'CPI =' ,F7.2)
122  FORMAT(1X,'EPI1 =' ,F5.2,12X,'EPI2 =' ,F5.2,12X,'DT =' ,F5.2,14X,
*'DX =' ,F5.2)
119  FORMAT(1X,'NN =' ,I2,17X,'ESPI =' ,F5.2)
123  FORMAT(1X,'ESPAB =' ,F7.4,9X,'ROAB =' ,F7.2,10X,'CPAB =' ,F7.2)
124  FORMAT(1X,'EPA1 =' ,F5.2,12X,'EPA2 =' ,F5.2,12X,'RF =' ,F5.2)
130  FORMAT(1X,'CHW =' ,F8.3,10X,'CH1 =' ,F7.3,11X,'CHRIA =' ,F7.3)
135  FORMAT(1X,'CHRAA =' ,F7.3,9X,'CHRAI =' ,F7.3,9X,'UT =' ,F7.2)
145  FORMAT(1X,'QU =' ,F15.1,4X,'QA =' ,F16.1,3X,'RN=' ,F6.3
*,14X,'ARM=' ,F12.1)
146  FORMAT(1X,'QU=' ,F7.1,13X,'QA=' ,F8.1,13X,'RN=' ,F6.3)
160  FORMAT(////,10X,'*ISOL2  REGIME TRANSIENTE*',/)
170  FORMAT(I2)
175  FORMAT(4A4)
180  FORMAT(I3)
185  FORMAT(F6.2)
190  FORMAT(/,' LEITURA  DE DADOS  "TEMPERATURA AMBIENTE"  DADOS L
*IDOS NO ARQUIVO:  "'4A4,/)
200  FORMAT(5(' TA('I3','I2')='F5.1,5X))
210  FORMAT(/,' LEITURA  DE DADOS  "RADIACAO SOLAR"  DADOS LIDOS
*NO ARQUIVO:  "'4A4,/)
220  FORMAT(5(' SH('I3','I2')='F6.1,5X))
225  FORMAT(/,' LEITURA  DE DADOS  "UMIDADE RELATIVA"  DADOS LIDOS
*NO ARQUIVO:  "'4A4,/)
230  FORMAT(5(' UR('I3','I2')='F5.1,5X))
240  FORMAT(I3)
260  FORMAT(' GUAL O NOME DO 1o. ARQUIVO DE DADOS?',/)
280  FORMAT(' GUAL O NOME DO 2o. ARQUIVO DE DADOS?',/)
285  FORMAT(' GUAL O NOME DO 3o. ARQUIVO DE DADOS?',/)

```

```

290  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 1200 ')
300  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 1600 ')
310  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 2100 ')
320  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 2300 ')
330  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 5500 ')
340  FORMAT(' COMANDO ..... LINHA : 5600 ')
500  FORMAT(/,30X,'I = 'I3,10X,'J = 'I2)
600  FORMAT(30X,'TS('I3') = 'F7.1)
700  FORMAT(/,,' "RENDIMENTO SOLAR DIARIO" ..... RNG =',F8.4)
750  FORMAT(/,,' "RENDIMENTO UTIL DIARIO".....RNGU=',F8.4)
760  FORMAT(/,,' "EFICIENCIA DE ARMAZENAMENTO DE CALOR" ..RNARM=
*,FB.4)
800  FORMAT(' INSERIR HORA PARA INICIAR ..... IH = ')
810  FORMAT(' INSERIR HORA DE INICIO DO DIA SEGUINTE ..... JH = ')
820  FORMAT(' INSERIR HORA DO POR DO SOL ..... IS = ')
850  FORMAT(I2)
880  FORMAT(' INSERIR MINUTOS INICIAIS ..... MM = ')
890  FORMAT(' INSERIR MINUTOS INICIAIS DO DIA SEGUINTE ..... LL = ')
900  FORMAT(5(' TI('I3')='F5.1,9X))
951  FORMAT(1X,'CCP=',F7.1,12X,'CBP=',F7.1,12X,'CAR
*S=',F10.1)
920  FORMAT(1X,'UR =',F6.2,13X,'UA =',F5.3)
950  FORMAT(/,,' R =', F7.2, 12X,' S =',F7.1,12X,' SH =',F7.1)
960  FORMAT(' R =', F7.2, 12X,' S =',F7.1,12X,' SH =',F7.1)
965  FORMAT(/,,' "VALORES DE UMIDADE ABSOLUTA"/)
967  FORMAT(5(' UA('I3')='F6.3,5X))
970  FORMAT(/,,' "TEMPERATURAS DE SAIDA DO COLETOR"/)
980  FORMAT(5(' TS('I3')='F5.1,5X))
990  FORMAT(' TA =',F7.1,11X,' TAB =',F7.1, 10X,' TFM =',F7.1,10X
*, ' TS =',F7.1)
995  FORMAT(/,,' TA =',F7.1,11X,' TAB =',F7.1, 10X,' TFM =',F7.1,
*10X,' TS =',F7.1)
1000  FORMAT(/,,' "TEMPERATURAS DE SAIDA DO COLETOR ARQUIVADAS EM --
* TS/DAT -- "')
1010  FORMAT(/,,' SE DESEJA LISTAR,      TYPE    ( 1 ) <ENTER>'
*,', ' SE      N A O      TYPE    ( 0 ) <ENTER>'/)
1015  FORMAT(I1)
1045  FORMAT(/,,' QUAL SERA O NOME DO ARQUIVO ? (maximo 16 caractere
*s) ',/)
1050  FORMAT(/,,' O VALOR DE ..... NN = ')
1150  FORMAT(1X,' S = 50.')
1250  FORMAT(1X,'S =',F7.1)
1300  FORMAT(/,,' O VALOR DE ..... DIA = ')
1350  FORMAT(/,,' O VALOR DE ..... EE = ')
1400  FORMAT(/,1X,"CONDICOES INICIAIS"/)
1420  FORMAT(1X,' isolante : LA DE VIDRO   absorvente : ALUMINIO',/)
1450  FORMAT(/,,' HORA INICIAL   'I2':'I2'   HORA(S) :-')
1500  FORMAT(/,,' O VALOR DE ..... KK = ')
1930  FORMAT(/,1X,'UAMEDIA =',F6.3)
1940  FORMAT(/,1X,'TSMEDIA =',F5.1)
1070  STOP
      END

```

Programa para calcular a secagem com o modelo de Morey

```

    DIMENSION DETERI(21),UBS(21),UBU(21),TAR(550),UR(550),TEPGR(21)
*,TEMDET(21),MAJOR(30),RM(500),T(500),TGUESS(50),UA(550),TS(550),
*FNAME(4),HG(6)
    DATA TUIG,VAZAO,AREA,ALTURA,TMUFG,TUMAX,DELTAT/20.,100.,22.23,
*3.00,13.,15.5,0.5/
    DATA NDT,DELPRT,NCAM/120,0.5,10/
    XX=0.
    WRITE(2,1005)TUIG,VAZAO,AREA
    WRITE(2,1011)ALTURA,TMUFG,TUMAX,DELTAT
    WRITE(2,1016)NDT,DELPRT,NCAM
    DO 5 JL=1,NDT
    WRITE(3,800)
    READ(3,850)IH
    WRITE(3,880)
    READ(3,850)MM
    WRITE(3,810)
    READ(3,850)JH
    WRITE(3,890)
    READ(3,850)LL
    IF(MM-30)72,73,73
72    MN=MM
    GO TO 74
73    MN=MM-30
74    IF(JL.EQ.1)UAI=TUIG*0.01
    IF(UAI-.16)996,996,997
996    WRITE(3,1002)
    READ(3,1015)LQ
    IF(LQ.EQ.1)GO TO 997
    IF(XX.EQ.1)GO TO 1001
    TMAX=20.-FLOAT(IH)-FLOAT(MM)/60.
    TEMPOI=0.
    XX=1.
    GO TO 153
1001    TMAX=24.
    TEMPOI=24.-20.+FLOAT(IH)+FLOAT(MM)/60.
    GO TO 153
997    TMAX=(24.*20.-(FLOAT(IH)*20.+FLOAT(MM)/3.)+(FLOAT(JH)*20.+
*FLOAT(LL)/3.))*0.05
    TEMPOI=0.
153    LUN=6
    IRECLN=4
    WRITE(3,360)
    READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)
    CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)
    K=550
    READ(LUN,REC=K)N
    DO 105 I=1,N
105    READ(LUN,REC=I)UA(I)
    ENDFILE LUN
    WRITE(3,1010)
    READ(3,1015)NZ
    IF(NZ.EQ.0)GO TO 1065
    WRITE(3,390)(FNAME(I),I=1,4)
    WRITE(2,200)(I,UA(I),I=1,N)
1065    WRITE(3,380)
    READ(3,175)(FNAME(I),I=1,4)

```

```

CALL OPEN(LUN,FNAME,I RECLN)
READ(LUN,REC=K)N
DO 106 I=1,N
106 READ(LUN,REC=I)TS(I)
ENDFILE LUN
WRITE(3,1010)
READ(3,1015)NZ
IF(NZ.EQ.0)GO TO 1075
WRITE(3,210)(FNAME(I),I=1,4)
WRITE(2,215)(I,TS(I),I=1,N)
1075 WRITE(3,80)
READ(3,85)TAM
TEMPI=TAM
IF(JL.NE.1)GO TO 97
VAZAOI=VAZAO/(AREA*ALTURA*0.8075)
WRITE(3,1025)VAZAOI
TEMPO=0.0
DO 3 I=1,NCAM
3 TEMDET(I)=0.
CONTINUE
DO 4 J=1,NCAM
4 UBS(J)=(TUIG/(100.-TUIG))
UBU(J)=TUIG*0.01
CONTINUE
97 TPRINT=0.0
DO 8 J=1,NCAM
8 TEPGR(J)=TEMPI
CONTINUE
DO 2 J=1,NCAM
2 MAJOR(J)=J
CONTINUE
B=TEMPO
IF(TEMPOI.GT.0.0)GO TO 530
GO TO 131
530 CONTINUE
DO 132 I=1,NCAM
U=UBU(I)
DM=1.0
TR=230.
UBSE=U/(1.-U)*100.
XMM=0.103*(EXP(455./UBSE**1.53)-0.00845*UBSE+1.558)
IF(TEPGR(I)-15.6)190,120,120
190 XMT=128.76*EXP(-0.1458*TEPGR(I)-2.592)
GO TO 170
120 IF(U-0.19)130,130,140
130 U=0.19
140 IF(U-0.28)160,160,150
150 U=0.28
160 XMT=32.3*EXP(-0.1044*TEPGR(I)-1.856)+(U-0.19)*EXP(0.61*(1.8*TEP
*GR(I)-28.)/60.)
170 STEELE=TR*XMM*XMT*DM
TEMDET(I)=TEMDET(I)+(TEMPOI*230.)/STEELE
DETERI(I)=0.0884*(EXP(0.006*TEMDET(I))-1.)+0.00102*TEMDET(I)
132 CONTINUE
131 CONTINUE
ASA=0.0

```

```

DELTA=0.0
VOO=0.0
TTEMPO=TEMPOI
KK=0
NN=1
15      IF (TTEMPO-TMAX) 116, 117, 117
116     TTEMPO=TTEMPO+DELTAT
        MM=MM+30
        IF (MM-60) 88, 86, 86
86      MM=MN
        IF (IH-24) 82, 94, 94
94      IH=0
82      IH=IH+1
6677   CONTINUE
88      KK=KK+1
        SSOMA=0.
        LR=NN+9
        DO 158 I=NN, LR
        SSOMA=SSOMA+TS(I)
158     CONTINUE
        TS(NN)=SSOMA/10.
        TPH=TS(NN)
        TA=TPH+273.16
        TSOMA=0.
        DO 159 I=NN, LR
        TSOMA=TSOMA+UA(I)
159     CONTINUE
        UA(NN)=TSOMA/10.
        H=UA(NN)
        IF (TPH-20.) 30, 30, 31
30      ARSEC=TPH+3.
        GO TO 34
31      IF (TPH.GT.20.AND.TPH.LT.41.) GO TO 32
        ARSEC=TPH
        GO TO 34
32      ARSEC=TPH-TPH/7.+41./7.
34      ASA=ASA+ARSEC
        TAR(KK)=ARSEC
        PV=H*760./(H+0.622)
        VESPAR=287.*(ARSEC+273.16)/((133.322*(760.-PV))
        VOLUME=AREA*ALTURA
        R=670.*VESPAR*VOLUME/(VAZAO*60.*DELTAT*NCAM)
        T(1)=ARSEC
        RM(1)=H
        TA=ARSEC+273.16
        A=-7511.52/TA+89.63121+0.02399897*TA
        A=A+2.0998405E-11*(TA**4.)-12.150799*ALOG(TA)
        A=A-1.1654551E-5*(TA*TA)-1.2810336E-8*(TA*TA*TA)
        PS=EXP(A)/0.133322
        UREL=(760.*H/(H+0.6219))/PS
        UR(KK)=UREL
        VOO=VOO+UREL*100.
        IF (UREL.GE.1.) UREL=0.99
        XTUEQ=SQRT((-ALOG(1.-UREL))/(0.0000382*(ARSEC*1.8+82.)))
        UAI=0.0
        GERAIS=0.0

```

```

DO 7 I=1,NCAM
  IJ=I+1
  C=((0.35+0.851*UBU(I))*R)/(1.-UBU(I))
  UAF=H
  DELLAT=(606.-0.57*T(I))*4.35*EXP(-28.25*UBS(I))
  IRW=0
  TA=T(I)+273.16
  A=-7511.52/TA+89.6312+0.02399897*TA
  A=A+2.0998405E-11*(TA**4.)-12.150799*ALOG(TA)
  A=A-1.1654551E-5*(TA*TA)-1.2810336E-8*(TA*TA*TA)
  PS=EXP(A)/0.133322
  URA=(760.*RM(I)/(RM(I)+0.6219))/PS
  IF(URA.GE.1.)URA=0.99
  URESEC=1.-EXP(-3.82E-5*(1.8*T(I)+82.)*(UBS(I)*100.))**2.)
  IF(URA.LT.URESEC)GO TO 28
  UREUMI=1.-EXP(-1.045E-4*(1.8*T(I)+82.)*(UBS(I)*100.))**1.72)
  IF(URA.GT.UREUMI)GO TO 29
  XUI=UBS(I)
  UAF=RM(I)
  IRW=2
  GO TO 10
29  CONTINUE
  IRW=1
28  CONTINUE
  IF(IRW.EQ.1)GO TO 111
  GO TO 112
111  CONTINUE
112  CONTINUE
  GC1=TEPGR(I)
  TC1=T(I)
  UAC1=RM(I)
  DMC1=UBS(I)
  UAF=RM(I)
  DEHF=0.005
  IF(IRW.EQ.1)DEHF=-DEHF
26  XMI=DMC1-(UAF-UAC1)/R
  XMI=XMI*100.
  TIJ=(C*GC1+0.24*TC1+0.45*UAC1*TC1-((UAF-UAC1)*(587.-GC1+DELLAT)
  *))/((0.24+0.45*UAF+C)
  IF(IRW.EQ.1)GO TO 51
  ERH=1.-EXP(-3.82E-5*(1.8*TIJ+82.)*XMI**2.)
  TA=TIJ+273.16
  A=-7511.52/TA+89.63121+0.02399897*TA
  A=A+2.0998405E-11*(TA**4.)-12.150799*ALOG(TA)
  A=A-1.1654551E-5*(TA*TA)-1.2810336E-8*(TA*TA*TA)
  PS=EXP(A)/0.133322
  RHSS=(760.*UAF/(UAF+0.6219))/PS
  EQZERO=ERH-RHSS
  GO TO 42
51  ERH=1.-EXP(-1.045E-4*(1.8*TIJ+82.)*XMI**1.72)
  TA=TIJ+273.16
  A=-7511.52/TA+89.63121+0.02399897*TA
  A=A+2.0998405E-11*(TA**4.)-12.150799*ALOG(TA)
  A=A-1.1654551E-5*(TA*TA)-1.2810336E-8*(TA*TA*TA)
  PS=EXP(A)/0.133322
  RHSS=(760.*UAF/(UAF+0.6219))/PS

```

```

EQZERO=RHSS-ERH
42 IF(EQZERO.GT.0.005)GO TO 25
   IF(EQZERO.LT.-0.005)GO TO 27
   GO TO 24
25 DEHF=0.001
   IF(IRW.EQ.1)DEHF=-DEHF
   UAF=UAF+DEHF
   GO TO 26
27 UAF=UAF-(0.5*DEHF)
   DEHF=DEHF*0.5
   GO TO 26
24 XUI=UBS(I)-(UAF-RM(I))/R
   T(IJ)=(C*TEPGR(I)+0.24*T(I)+0.45*RM(I)*T(I)-((UAF-RM(I))*(587.-
*TEPGR(I)+DELLAT)))/(0.24+0.45*UAF+C)
   IF(IRW.EQ.1)GO TO 13
   CM1=ABS(UBS(I)-XUI)
   IF(CM1.LT.0.000001)GO TO 13
   XUC=UBS(I)
   XMC=XUC*100.
   XUIG=100.*TUIG/(100.-TUIG)
   UR1=URA
   XUE2=SQRT((-ALOG(1.-UR1))/(0.0000382*(1.8*T(I)+82.)))
   XME1=XUE2
   IF(XME1.LT.XMC)GO TO 52
   WRITE(2,1090)XMC,XUE2,IRW,T(I),UR1
52 IF(XUIG.LT.XMC)GO TO 43
   TXUD1=XUIG
   GO TO 35
43 TXUD1=XMC
35 DELM=TXUD1-XME1
   XMR=(XMC-XME1)/DELM
   CN=0.375+8.76*0.01*ALOG(UR1*100.)
   CK=0.0821+1.37*0.01*T(I)-1.31*0.0001*T(I)**2.
   IF(XMR.LT.0.999)GO TO 101
   T2=0.0
   GO TO 102
101 T2=(-ALOG(XMR)/CK)**(1./CN)
102 T2=T2+DELTAT
   XMC=DELM*EXP(-CK*T2**CN)+XME1
   XUC=XMC/100.
   CM2=ABS(UBS(I)-XUC)
   IF(CM1.LT.CM2)GO TO 13
   XUI=XUC
   UAF=RM(I)+R*(UBS(I)-XUI)
10 CONTINUE
   T(IJ)=(C*TEPGR(I)+0.24*T(I)+0.45*RM(I)*T(I)-((UAF-RM(I))*(587.
*-TEPGR(I)+DELLAT)))/(0.24+0.45*UAF+C)
13 CONTINUE
   UBS(I)=XUI
   UBU(I)=XUI/(1.+XUI)
   UAI=UAI+UBU(I)
   IF(GERAIS.LT.UBU(I))GERAIS=UBU(I)
   TEPGR(I)=T(IJ)
   RM(IJ)=UAF
   DT=DELTAT
   U=UBU(I)

```

```

DM=1.0
TR=230.
UBSE=U/(1.-U)*100.
XMM=0.103*(EXP(455./UBSE**1.53)-0.00845*UBSE+1.558)
IF(TEPGR(I)-15.6)90,220,220
90  XMT=128.76*EXP(-0.1458*TEPGR(I)-2.592)
    GO TO 70
220  IF(U-0.19)230,230,240
230  U=0.19
240  IF(U-0.28)60,60,50
50   U=0.28
60   XMT=32.3*EXP(-0.1044*TEPGR(I)-1.856)+(U-0.19)*EXP(0.61*(1.8*
    *TEPGR(I)-28.)/60.)
70   STEELE=TR*XMM*XMT*DM
    TEMDET(I)=TEMDET(I)+(DT*230.)/STEELE
    DETERI(I)=0.0884*(EXP(0.006*TEMDET(I))-1.)+0.00102*TEMDET(I)
7    CONTINUE
    TEMPO=TEMPO+DELTAT
    NN=NN+10
    WRITE(3,3040)TEMPO
3040 FORMAT(35X,' TEMPO =',F6.2)
    TPRINT=TPRINT+DELTAT
    UAI=UAI/NCAM
    IF(TPRINT.LT.DELPRT)GO TO 58
    TPRINT=TPRINT-DELPRT
    WRITE(2,4000)IH,MM
    WRITE(2,1120)TEMPO
    WRITE(2,1139)TAR(KK),UR(KK)
    WRITE(2,1140)(JX,MAJOR(JX),JX=1,NCAM)
    WRITE(2,1142)(JX,TEPGR(JX),JX=1,NCAM)
    WRITE(2,1144)(JX,UBU(JX),JX=1,NCAM)
    WRITE(2,1146)(JX,DETERI(JX),JX=1,NCAM)
    WRITE(2,1258)UAI
1258 FORMAT(1X,'UAI =',F7.4)
58   IF(UAI.LT.0.13.AND.GERAIS.LT.0.145)GO TO 370
    GO TO 15
117  UMIMED=0.0
    UMIMAX=0.0
    DO 14 I=1,NCAM
    UMIMED=UMIMED+UBU(I)/FLOAT(NCAM)
    IF(UBU(I).GT.UMIMAX)UMIMAX=UBU(I)
14   CONTINUE
    UMIMED=UMIMED*100.
    UMIMAX=UMIMAX*100.
    WRITE(3,2005)UMIMED
2005 FORMAT(1X,' UMIMED =',F7.2)
    TAR(JL)=ASA/KK
    UR(JL)=VOO/KK
    TARN=TAR(JL)
    URN=UR(JL)
    GO TO 2000
370  UMIMED=UAI*100.
    URN=UR(KK)
    TARN=TAR(KK)
    UMIMAX=GERAIS*100.
2000 MIG=0

```

```

DET=0.0
DO 11 M=1,NCAM
IF (DET.LT.DETERI(M))DET=DETERI(M)
11 CONTINUE
19 WRITE(2,1120)TEMPO
WRITE(2,1130)TARN,URN
WRITE(2,1140)(JM,MAJOR(JM),JM=1,NCAM)
WRITE(2,1142)(JM,TEPGR(JM),JM=1,NCAM)
WRITE(2,1144)(JM,UEU(JM),JM=1,NCAM)
WRITE(2,1146)(JM,DETERI(JM),JM=1,NCAM)
WRITE(2,1150)UMIMED,UMIMAX
IF(MIG.EQ.7215)GO TO 21
9 IF((UMIMED.GT.TMUFG.OR.UMIMAX.GT.TUMAX).AND.DET.LT.0.5)GO TO 5
WRITE(2,1155)IH,MM
MIG=7215
GO TO 19
5 CONTINUE
21 WRITE(2,1160)TEMPO,DET
80 FORMAT(' INSERIR O VALOR DE .... TAM = ')
85 FORMAT(F6.2)
175 FORMAT(4A4)
200 FORMAT(5(' UA('I3')='F6.3,5X))
210 FORMAT(/,,' LEITURA DE DADOS "TEMPERATURAS DE SAIDA" ,
* DADOS LIDOS NO ARQUIVO: "'4A4,/)
215 FORMAT(5(' TS('I3')='F5.1,5X))
360 FORMAT(' QUAL O NOME DO 1o. ARQUIVO DE DADOS ?',/)
380 FORMAT(' QUAL O NOME DO 2o. ARQUIVO DE DADOS ?',/)
390 FORMAT(/,,' LEITURA DE DADOS "UMIDADE ABSOLUTA" , DADOS
* LIDOS NO ARQUIVO: "'4A4,/)
800 FORMAT(' INSERIR HORA PARA INICIAR ..... IH = ')
810 FORMAT(' INSERIR HORA DE INICIO DO DIA SEGUINTE ..... JH = ')
820 FORMAT(' INSERIR HORA DO POR DO SOL ..... IS = ')
850 FORMAT(I2)
880 FORMAT(' INSERIR MINUTOS INICIAIS ..... MM = ')
890 FORMAT(' INSERIR MINUTOS INICIAIS DO DIA SEGUINTE ..... LL = ')
1000 FORMAT(1X,'TEMPO1 =',F6.2,10X,'TMAX =',F6.2,10X,'MIN =',I10)
1002 FORMAT(1X,'INSERIR O VALOR DE ..... LQ = ')
1005 FORMAT(1X,'TUIG =',F10.5,5X,'VAZAO =',F10.5,5X,'AREA =',F10.5)
1010 FORMAT(/,,' SE DESEJA LISTAR TYPE ( 1 ) <ENTER.'
*/,' SE N A O TYPE ( 0 ) <ENTER.'/)
1011 FORMAT(1X,'ALTURA =',F10.5,5X,'TMUFG =',F10.5,5X,'TUMAX =',F10.
*5,5X,'DELTAT =',F10.5)
1015 FORMAT(I1)
1016 FORMAT(1X,'NDT =',I10,5X,'DELPRT =',F10.5,5X,'NCAM =',I10)
1020 FORMAT(1X,'TPH =',F10.2,5X,'URM =',F10.2)
1025 FORMAT(1X,'VAZAO =',F6.3,' M3/MIN/TON')
1090 FORMAT(1X,'POSSIVEL ERRO NAS VARIAVEIS',/,1X,'XMC =',F8.4,5X,'X
*UE2 =',F8.4,5X,'IRW =',I5,5X,'T(I) =',F8.4,5X,'UR1 =',F8.4)
1100 FORMAT(1X,'O METODO NAO CONVERGIU EM',I2,' ITERACOES')
1110 FORMAT(1X,'T2 =',F10.4,5X,'T1 =',F10.4,5X,'Z1 =',F10.4,5X,'Z2 =
*',F10.4)
1115 FORMAT(1X,'X =',F10.4,5X,'Y =',F10.4,5X,'U =',F10.4,5X,'XMR =',
*F10.4)
1120 FORMAT(1X,'TEMPO TRANSCORRIDO = ',F9.1,'HORAS',/)
1130 FORMAT(1X,'TEMP. MEDIA =',F8.2,/,2X,'UR. MEDIA =',F8.2,/)
1139 FORMAT(1X,'TEMP =',F5.2,/,1X,'UR =',F5.2)

```

```
1135     FORMAT(1X,'UMIMED =',F5.2)
1140     FORMAT(1X,5('MAJOR('I2') =',I2,5X))
1142     FORMAT(1X,5('TEPGR('I2') =',F8.4,5X))
1144     FORMAT(1X,5('UBU('I2') =',F8.4,5X))
1146     FORMAT(1X,5('DETERI('I2') =',F8.4,5X))
1150     FORMAT(1X,'UMIMED =',F6.2,10X,'UMIMAX =',F6.2)
1155     FORMAT(/,5X,'HORAS FINAIS DE SECAGEM DO DIA 'I2' : 'I2'  HORA
*(S)  -')
1160     FORMAT(1X,'A SECAGEM TERMINOU APOS',F6.2, 'HORAS',/,1X,'A DETE
*RIORACAO MAXIMA FOI DE ',F8.4)
4000     FORMAT(/,1X,' DECORRIDAS 'I2' : 'I2' HORA(S) -')
4091     FORMAT(5X,'TEMPO =',F5.2,5X,'TTEMPO =',F5.2)
5000     STOP
        END
```

APENDICE B7

Programa para o arquivo de dados.

```

C * * * * * ARQ1/FOR -- DISKETTE: FORTRAN (4) * * * * *
  DIMENSION A(250,1),FNAME(4)
  DO 46 I=0,250
  DO 46 J=0,1
46  A(I,J)=0.
45  WRITE(3,330)
  WRITE(3,335)
51  READ(3,12)N1
  IF(N1.EQ.1)GOTO21
  IF(N1.EQ.2)GOTO400
  IF(N1.EQ.3)GOTO600
  IF(N1.EQ.4)GOTO1000
  GOTO 51
21  IL=99
  WRITE(3,1)
  1  FORMAT(20(/),' EDICAO DE ARQUIVO DE DADOS EM MATRIZ   ate'' (2
    "50,1 )' )
  WRITE(3,2)
  2  FORMAT(/,' INSERIR No. de LINHAS N=')
  READ(3,3)N
  3  FORMAT(13)
  WRITE(3,4)
  4  FORMAT(/,' INSERIR No. DE COLUNAS M=')
  READ(3,3)M
  WRITE(3,6)
  6  FORMAT(/,' INTRODUIZIR A MATRIZ LINHA POR LINHA',/)
  L=1
  DO 8 I=L,N
  DO 8 J=1,M
  WRITE(3,7)I,J
  7  FORMAT('A('13','13' ) = ')
  READ(3,19)A(I,J)
  19  FORMAT(D10.3)
  C  IMPRESSAO DO ULTIMO A(1,J) INSERIDO
  WRITE(3,9)I,I,J,A(I,J)
  8  CONTINUE
  9  FORMAT(' LINHA'13'      A ( '13','13' ) = 'F10.3,/)
  10 WRITE(3,314)N.M
  WRITE(3,315)((I,A(I,J),J=1,M),I=L,50)
  PAUSE 50
  WRITE(3,315)((I,A(I,J),J=1,M),I=51,100)
  WRITE(3,316)
  PAUSE 100
  WRITE(3,315)((I,A(I,J),J=1,M),I=101,150)
  WRITE(3,316)
  PAUSE 150
  WRITE(3,315)((I,A(I,J),J=1,M),I=151,200)
  WRITE(3,316)
  PAUSE 200
  WRITE(3,315)((I,A(I,J),J=1,M),I=201,N)

```

```

WRITE(3,11)
11  FORMAT(////' SE NECESSARIO ALTERAR ALGUMA (OUTRA) LINHA - - -
*TYPE . . 1',/, ' SE NAO - - - - - - - - - -
* TYPE . . 0',/)
READ(3,12)N1
12  FORMAT(I1)
IF(N1.EQ.0)GO TO 17
800  WRITE(3,310)
READ(3,3)NL
DO 15 K1=1,NL
WRITE(3,20)K1
20  FORMAT(/,' DIFITE A '13'a. LINHA A SER ALTERADA .... I =')
READ(3,3)I
DO 15 J=1,M
WRITE(3,14)I,J
14  FORMAT(' A('13','13' ) = ')
READ(3,19)A(I,J)
15  WRITE(3,9)I,I,J,A(I,J)
GO TO 10
17  IF(IL.EQ.100)GOTO 620
C * * REGISTRO EM DISKETTE * * * * *
WRITE(3,150)
150  FORMAT(25(/),' * * * * * REGISTRO EM DISKETTE * * * * * ')
WRITE(3,156)
156  FORMAT(' QUAL SERA' O NOME DO ARQUIVO? (max. 16 caractere
*s) ')
READ(3,158)(FNAME(I),I=1,4)
158  FORMAT(4A4)
LUN=6
IRECLN=4
CALL OPEN(LUN,FNAME,IRECLN)
810  K=250
WRITE(LUN,REC=K,ERR=100)N,M
K=L-1
DO 18 I=L,N
K=K+1
18  WRITE(LUN,REC=K,ERR=200)(A(I,J),J=1,M)
175  WRITE(3,320)
READ(3,12)N1
IF(N1.EQ.0)GOTO 170
WRITE(2,325)(FNAME(I),I=1,4),N,M
177  WRITE(2,50)((I,J,A(I,J),J=1,M),I=L,N)
50  FORMAT(5(' A('13','12')='F5,1,5X))
170  ENDFILE LUN
GOTO 45
200  WRITE(3,40)
40  FORMAT(' COMANDO: LINHA 4001')
PAUSE 4400
100  WRITE(3,30)
30  FORMAT(' COMANDO : LINHA 3800')
PAUSE 4650
310  FORMAT(//,' DESEJA ALTERAR QUANTA(S) LINHA(S)? NL=')
314  FORMAT(///,' A MATRIZ '13'x'12' INSERIDA E'':'//)
315  FORMAT(5(' L'13'='F5.1,5X)/)
316  FORMAT( )
320  FORMAT(///,' SE DESEJA LISTAR; TYPE ( 1 ) <ENTER>'
*/ ' SE N A O TYPE ( 0 ) <ENTER>'//)

```

```
620      GOTO810
700      FORMAT(////////////////////, ' * * * * *      ALTERACAO DE DADOS
* NO ARQUIVO      * * * * * '///)
710      FORMAT(' DADOS DO ARQUIVO "'4A4'" '///)
720      FORMAT('// ' QUAL O NOME DO ARQUIVO DE DADOS A SER ALTERADO?'/)
1000     END
```