

IRRADIAÇÃO SOLAR- DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO RECURSOS NA PALMA DA MÃO

I. A. G. Rísoli¹, C. A. Mariotoni².

Grupo de Planejamento Energético e Sistemas Elétricos (GPESE)- DRH/FEC/UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas - (FEC-Área de Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais) – Campinas-SP - Telefone: (19) 3251-2304
italogatica@yahoo.com.br - italoagr@fec.unicamp.br - cam@fec.unicamp.br

Resumo : Pequenos equipamentos de hardware, possibilitam a versatilidade para executar tarefas com grande autonomia e deslocabilidade. Este artigo tem por objetivo mostrar algumas opções existentes para operar em pequenos equipamentos de hardware a estimação da irradiação solar sobre um plano inclinado, vislumbrando uma melhoria no trato do bom dimensionamento e verificação de aquecedores solares de água por engenheiros, arquitetos, técnicos e vendedores, assim como, apresentar um novo software apropriado para calculadoras da marca HP elaborado especialmente para este fim, mostrando resultados e comparações com programas livres existentes para microcomputadores de mesa sob o aval da bibliografia.

Palavras Chaves: handhelds, pocket, HP48GX, HP50, Irradiância solar, aquecedor solar, dimensionamento e verificação de aquecedor solar.

INTRODUÇÃO

Define-se radiação solar como fenômeno físico inerente ao transporte de calor e energia na forma de ondas eletromagnéticas provenientes do sol, e irradiância como grandeza física, a potência da energia radiante ou fluxo de energia que atravessa uma determinada área em um certo período de tempo medida em W/m², ao passo que a irradiação solar, diz-se da grandeza física, a quantidade de energia radiante que atravessa uma determinada superfície sendo numericamente igual à integração da irradiância no intervalo de tempo em questão, por isso se dimensiona em Wh/m². Insolação é o período de tempo durante o qual o feixe de radiação solar direta ilumina uma superfície, pode ser obtida experimentalmente registrando-se o número de horas do dia no qual a irradiância permaneceu acima de um valor definido, usualmente, 120 W/m² (Rosa, 2003).

Ao dimensionar a área coletora solar de um aquecedor de água residencial, Creder (2006) apresenta a equação que basicamente é a mesma apresentada por Orozco (apud Burbano, Restrepo, Sagobal, 2006, p. 86) apresentada em (1) agregando-se o calor perdido no tanque de água quente.

$$A_c = \frac{Q + Q_T}{\eta H_T} \quad (1)$$

Onde, "A_c" é área da placa de absorção [m²]; "Q" é o calor requerido na água em um dia, a se transformar de [kcal/dia] para [kWh/dia]; "Q_T" é o calor perdido no reservatório de água quente, a se transformar de [kcal/dia] para [kWh/dia]; η é a eficiência da placa de absorção (adimensional com informação do fabricante ou arbitrado pelo bom senso); H_T é a irradiação solar global incidente num plano inclinado para um dia definido [kWh/m² dia] proveniente da irradiância solar de um dia completo no período de insolação. O numerador do segundo membro da equação (1) é projetado em função da demanda de calor por domicílio em kcal, mas junto ao denominador, especificamente com relação à irradiação solar tem-se uma grande variabilidade nos 365 dias do ano em qualquer coordenada geográfica terrestre. A informação da irradiância solar e da irradiação solar para um dia completo normalmente se encontra em bancos de dados provenientes de estações de medição quando disponíveis.

O Atlas Solarimétrico do Brasil - Banco de dados Terrestres, da Universidade Federal de Pernambuco (Giba, 2000) conta com informações impressas das isolinhas de radiação solar, fornecidas para cada mês do ano em todo território brasileiro em

¹ Msc., aluno regular do programa de doutorado em Engenharia Civil - FEC UNICAMP - Campinas SP - 2007

² Ph. D., professor titular - FEC/UNICAMP - Campinas SP - 2007

MJ/m² dia, acompanha um banco de dados digitalizados de várias fontes de medição da irradiação solar para inúmeras cidades brasileiras com médias mensais de janeiro a dezembro. Adequado para microcomputadores de mesa.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul do Brasil, disponibiliza gratuitamente na *internet* o *software* Radiasol (2007), que traz informação na forma de banco de dados de mais de 2000 estações meteorológicas do mundo, das quais cerca de 200 do Brasil, possibilitando inserções e alterações além de calcular a irradiação solar sobre um plano inclinado com qualquer desvio azimutal e vários modelos temporais e espaciais da distribuição da radiação (isotropia ou anisotropia), através da área de transferência se faz amigável às planilhas eletrônicas e editores de textos no ambiente *Windows* anterior à versão XP adequado para microcomputadores de mesa.

O *software* livre Geosol de Hernández, (2003) que pode ser encontrado na *internet*, apresenta possibilidades de cálculos com modelos de céus isotrópicos e anisotrópicos para estimação da irradiação solar sobre um plano inclinado, além de possibilitar a elaboração de cartas solares com a trajetória do Sol em planta e em altura. Escrito para o ambiente *Windows* anterior à versão XP é adequado para microcomputadores de mesa.

O *software* livre Radiac2.1/95 de Czajkowski, (2007) na versão de 1995 é um executável nativo do DOS que fornece a irradiância horária e irradiação solar num dia completo, separando as componentes direta, difusa, refletida e global após o informe das variáveis: latitude, dia, mês, azimute do plano, inclinação do plano, índice de reflexibilidade do solo (albedo) e índice de transparência atmosférica (Kt). Foi escrito conceitualmente para produzir uma distribuição espacial e temporal do céu sob o modelo isotrópico de Liu e Jordam (1960) em conformidade com a correlação de Orgill e Hollands (apud, Duffie, Beckman, 1991, p.81) com a constante solar de 1353 W/m², hoje ajustada para 1367 W/m² segundo o Centro Mundial de Radiação (Duffie, Beckman, 1991, p.6).

Conforme Hay e Davies (apud Rosa, 2003, p. 50), existe um maior brilho na região circumsolar durante o dia, caracterizando uma anisotropia no céu. Temps, Coulson (1977) incorporaram ainda, um maior brilho junto ao horizonte em dias limpos e claros. Baseado nos modelo de Hay- Davies e Temps - Coulson, Klucher (1979) desenvolveu funções moduladas de tal forma que para dias nublados a componente difusa se aproxima mais aos resultados do modelo isotrópico de Liu e Jordam, e em dias limpos e claros ao modelo de Temps e Coulson. O programa livre Radiasol (2007) possibilita junto às opções avançadas de cálculo, a consideração da anisotropia do céu conforme o modelo de irradiação solar difusa de Klucher.

Estes programas livres proporciona uma alternativa para a informação do denominador da equação (1) em qualquer dia do ano, podendo estimar-se as médias mensais empregando os dias médios contabilizados de janeiro a dezembro por: 17; 16; 16; 15; 15; 11; 17; 16; 15; 15; 14 e 10 (Duffie, Beckman, 1991).

O programa Radiac2.1/95 funciona em qualquer versão do *Windows* que permita o *prompt* do DOS. *Handhelds* tipo *pocket* compatíveis com o *Windows Mobile* aceitam através de *software* a emulação do *DOS* e sobre este último a possibilidade de executar programas nativos do *DOS*. Também é possível emular gratuitamente as calculadoras programáveis da série 48, 49 e 50 da HP nos microcomputadores de mesa, *handhelds* compatíveis com o *Windows Mobile* e sistema operacional *OS* da Palm, levando todos os recursos de cálculo dessas calculadoras para esses pequenos equipamentos de mão. Na figura 1, junto às extremidades se ilustram telas produzida em *pocket* IPAQ da HP para a execução do Radiac2.1/95 e emulação da HP48GX e ao centro a emulação das calculadoras HP 48GX e HP50 em microcomputador de mesa.

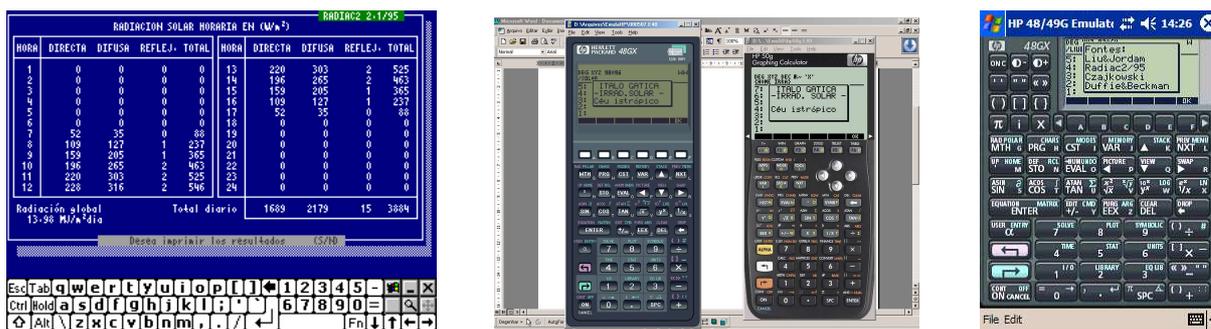


Figura 1. *Software* livre Radiac2.1/95 executado num *pocket* de mão, modelo IPAQ da HP e emulação das calculadoras HP em microcomputadores de mesa e *handhelds*.

PROGRAMA PROPOSTO

Se escreveu um programa escrito em *User RPL* para calculadoras programáveis da HP séries 48G ou superiores, habilitado para fornecer a irradiância e irradiação solar sobre um plano inclinado na superfície terrestre em conformidade ao céu isotrópico adotando a correlação de Orgill e Hollands para a componente difusa, inspirado na versatilidade do *software* Radiac2.1 de Czajkowski (2007), aqui valorizando particularmente a possibilidade de reprodução em *handhelds* para quem não possui a calculadora HP, mas pode emular a mesma num *pocket* ou Palm *OS*. Para a constante solar, foi adotado o valor de 1367 W/m² razão pela qual os resultados finais da irradiação solar serão ligeiramente superiores aos calculados por

Radiac2.1 de Czajkowsk (2007). Se incorporou um menu de operação mais flexível para o dimensionamento e verificação de sistemas de aquecimento solar contando com 23 comandos de operação que se detalham na tabela 1.

Tabela 1. Comandos específicos de operação do programa proposto para calculadoras HP 48G ou superior para desenho e verificação de aquecedores solares de água.

COMANDO	FUNÇÃO
↑	Sai da pasta onde se instalou o programa e vai para a <i>home</i> da calculadora;
SOBRE	Apresenta o autor, as referências usadas, mostra instruções de uso, organiza a pasta completa e cria a tecla de menu CST para separar os comandos de operação das variáveis do programa.
CST	Seleciona as teclas de operação no menu da calculadora separando-as das variáveis de cálculo;
→LAT	Informar a latitude local em graus;
→INC	Informar a inclinação do plano com relação ao plano horizontal em graus;
→AZH	Informar o azimute horário do plano inclinado em graus medido do Norte Verdadeiro;
→ALB	Informar o índice adimensional de reflexibilidade do solo (albedo);
→DIA	Informar o dia e o mês que se deseja calcular;
→H	Informar a irradiação solar local num plano horizontal em Wh/m ² dia, o horário solar a integrar para calcular-se a irradiação solar global e suas componentes num plano inclinado em Wh/m ² ;
→KT	Informar o índice de claridade atmosférica, o horário solar a integrar para calcular-se a irradiação solar global e suas componentes num plano inclinado em Wh/m ² ;
→KTI	Informar outro índice de claridade atmosférico mantendo o mesmo período anterior para calcular-se a irradiação solar global e suas componentes num plano inclinado em Wh/m ² ;
→DIM	Informar um volume em litros, ΔT em °C e rendimento dos coletores solares em % para calcular-se a área coletora solar em m ² ;
→VER	Informar um volume em litros, área coletora solar em m ² e o rendimento em % para calcular-se o ΔT em °C;
DAD→	Apresenta uma lista de todas as variáveis informadas na última aplicação do programa;
SA1→	Apresenta a irradiação solar sobre um plano inclinado em Wh/m ² para a última aplicação do programa;
SA2→	Apresenta entre o stack 1 a 6: data contada entre 1 a 365, declinação solar em graus, duração teórica da insolação em horas, horário do amanhecer, horário do anoitecer e a irradiação solar diária na superfície da atmosfera terrestre sobre um plano teórico horizontal em Wh/m ² dia;
→Hs	Informar uma hora solar para calcular-se a irradiância solar pontual em W/m ²
→δT	Permite alterar o intervalo horário solar e integrar a irradiância solar de 15 em 15 minutos para gerar uma nova irradiação solar no plano inclinado em Wh/m ² ;
HI→	Gera uma lista do último horário solar de 15 em 15 minutos em horas;
DIR→	Gera uma lista da irradiância solar direta sobre a superfície inclinada em W/m ² a cada 15 minutos entre o último intervalo solar horário informado;
DIF→	Gera uma lista da irradiância solar difusa sobre a superfície inclinada em W/m ² a cada 15 minutos entre o último intervalo solar horário informado;
ALB→	Gera uma lista da irradiância solar refletida sobre a superfície inclinada em W/m ² a cada 15 minutos entre o último intervalo solar horário informado;
GLO→	Gera uma lista da irradiância solar global sobre a superfície inclinada em W/m ² a cada 15 minutos entre o último intervalo solar horário informado;

Como não existe compatibilidade de comunicação nem de compartilhamento de arquivos gravados entre as séries antigas com as novas das calculadoras HP, o programa gravado previamente digitado pode ser solicitado na versão 48G, 49 ou 50 pelo email italogatica@yahoo.com.br mencionando "ASADES" seguido do título deste artigo sem qualquer ônus ao interessado.

OBSERVAÇÕES

- Ao pressionar a tecla CST nas famílias antigas 48G, GX e G+ ou CUSTOM nas séries 49 e 50 o programa apresenta as fontes, autoria e organiza um menu separado das variáveis de operação, com o objetivo de preservar inalteradas as rotinas de cálculo que não são manipuladas pelo usuário, contudo este último, não poderá apagar ou alterar qualquer rotina da pasta onde o programa foi instalado uma vez que os códigos fontes estão livres.
- Se convencionou no software da HP o sentido horário para o azimute do plano medido com relação ao Norte Verdadeiro, pois este sentido, tem a mesma convenção que a leitura realizada numa bússola comum, lembrando que a bússola oferece o azimute horário medido do norte magnético, onde o usuário deverá realizar a devida correção da declinação magnética para o local em estudo, ou assumir o erro devido à utilização do Norte magnético ao invés do verdadeiro. Além disto o horário tratado no programa é solar e não civil, caso o usuário necessite mais aprofundamento destas convenções e transformações se recomenda a leitura de Duffie, Beckman (1991) junto à página 11.

- Ao produzir as listas a cada 15 minutos com as rotinas DIR→, DIF→, ALB→ e GLO→ o usuário deverá entender que são valores instantâneos de irradiância solar em $[W/m^2]$, que ao multiplicar cada lista por 0,25 hora (15 minutos) ao realizar o somatório de cada lista através do comando Σ List da HP, se produzirá o resultado integrado para $[Wh/m^2 \text{ dia}]$ para a irradiação solar que deverá ser idêntico ao resultado apresentado nas rotinas de →H ou →KT;
- O processo de integração da irradiação solar a cada 15 minutos para um dia completo, leva ao redor de 30 segundos no processador da HP48GX, 12 segundos no processador da HP 50 e apenas 5 segundos na versão emulada em pocket IPAQ da HP. Justifica-se a opção entre horários solares possibilitando o cálculo entre faixas diferentes num dia de insolação. Para obter uma resposta mais rápida no modelo físico da HP48G pode-se informar a hora solar do amanhecer até o meio dia solar e multiplicar por dois o resultado da irradiação, uma vez que a curva da função tem seu eixo de simetria ao meio dia solar.

APLICAÇÕES

Exemplo 1 - Para a latitude 22,88° Sul, dimensionar a área coletora solar para elevar em 35 °C a temperatura da água de um tanque de 400 litros devidamente isolado considerando o aproveitamento da irradiância solar sobre os coletores inclinados a 23° com relação ao plano horizontal com um desvio azimutal de 10° para Oeste, ou seja, com um desvio horário de 350° com relação ao Norte Verdadeiro, adotando um albedo de 0,2 e um rendimento de 50% para os coletores solares. Não tendo informações locais sobre irradiância, considerar os índices de transparência (claridade) atmosférica de 0,5; 0,63 e 0,75, para os dias médios de Janeiro, Março, Maio, Junho, Julho, Setembro e Outubro.

Na tabela 2 se apresentam os resultados obtidos com o software da HP em comparação com resultados obtidos da irradiação solar fornecida pelos programas livres Radiac2/95 e Radiasol e o conseqüente dimensionamento com a equação (1).

Tabela 2: Resultados comparativos entre software da HP, Radiac2/95 e Radiasol no dimensionamento do 1º exemplo

Data	Kt	Produzido por software da HP céu isotrópico		Calculado por Radiac2.1 céu isotrópico	Calculado com resultado de Radiac2.1	Calculado por Radiasol céu anisotrópico	Calculado com resultado de Radiasol	Nº de coletores solares de 1,72m ²
		[Wh/m ² dia]	Ac [m ²]	[Wh/m ² dia]	Ac [m ²]	[Wh/m ² dia]	Ac [m ²]	
17 de Jan.	0,50	5538,76	5,88	5482	5,94	5677	5,74	4
	0,63	6796,35	4,79	6727	4,84	6960	4,68	3
	0,75	7890,37	4,13	7810	4,17	8075	4,03	3
16 de Mar.	0,50	5178,87	6,29	5112	6,37	5223	6,23	4
	0,63	6673,71	4,88	6595	4,94	6724	4,84	3
	0,75	8107,89	4,02	8020	4,06	8022	4,06	3
15 de Maio	0,50	4185,43	7,78	4115	7,91	4121	7,90	5
	0,63	5746,37	5,67	5630	5,78	5534	5,88	4
	0,75	7360,39	4,42	7191	4,53	6715	4,85	3
11 de Jun.	0,50	3919,91	8,31	3858	8,44	3925	8,30	5
	0,63	5466,09	5,96	5359	6,08	5280	6,17	4
	0,75	7086,37	4,59	6927	4,7	6398	5,09	3
17 de Jul.	0,50	4040,27	8,06	3961	8,22	3982	8,18	5
	0,63	5593,99	5,82	5469	5,95	5300	6,14	4
	0,75	7212,53	4,51	7035	4,63	6536	4,98	3
15 de Set.	0,50	5011,46	6,5	4908	6,63	4949	6,58	4
	0,63	6540,03	4,98	6424	5,07	6454	5,04	3
	0,75	8033,66	4,05	7910	4,12	7625	4,27	3
14 de Nov.	0,50	5523,64	5,89	5457	5,97	5535	5,88	4
	0,63	6814,54	4,78	6751	4,82	6886	4,73	3
	0,75	7952,93	4,09	7899	4,12	8060	4,04	3

Exemplo 2 - Para o dados do exemplo 1, supondo que tivesse sido instalada uma área coletora solar composta por 4 unidades manufaturadas em 1,22 m² de área unitária, certificados com 50% de rendimento, calcular o incremento possível de temperatura ΔT em [°C] no interior do reservatório de água quente após um dia de exposição solar, considerando os mesmos dias da tabela 2 e um índice de transparência médio de 0,5 e máximo de 0,75 para dias claros.

Na tabela 3 se apresentam os resultados obtidos usando a rotina "→VER" do software da HP em comparação com parte dos resultados obtidos com o software livre Radiac2/95 e Radiasol.

Tabela 3: Resultados comparativos do 2º exemplo com aplicação do software da HP e Irradiação solar do Radiac2.1/95

Data	Kt	Produzido por software da HP céu isotrópico		Calculado por Radiac2.1 céu isotrópico	Calculado com resultado de Radiac2.1	Calculado por Radasol céu anisotrópico	Calculado com Resultado de Radasol
		[Wh/m² dia]	ΔT [°C]	[Wh/m² dia]	ΔT [°C]	[Wh/m² dia]	ΔT [°C]
17 de Janeiro	0,50	5538,76	29,06	5482	28,76	5677	29,78
	0,75	7890,37	41,39	7810	40,97	8075	42,36
16 de Março	0,50	5178,87	27,17	5112	26,82	5223	27,40
	0,75	8107,89	42,53	8020	42,07	8022	42,08
15 de Maio	0,50	4185,43	21,96	4115	21,59	4121	21,62
	0,75	7360,39	38,61	7191	37,72	6715	35,23
11 de Junho	0,50	3919,91	20,56	3858	20,24	3925	20,59
	0,75	7086,37	37,18	6927	36,34	6398	33,56
17 de Julho	0,50	4040,27	21,20	3961	20,78	3982	20,89
	0,75	7212,53	37,84	7035	36,91	6536	34,29
15 de Setembro	0,50	5011,46	26,29	4908	25,75	4949	25,96
	0,75	8033,66	42,14	7910	41,50	7625	40,00
14 de Novembro	0,50	5523,64	28,98	5457	28,63	5535	29,04
	0,75	7952,93	41,72	7899	41,44	8060	42,28

CONCLUSÕES

Os resultados da irradiação solar obtidos no software da HP são praticamente iguais aos resultados do Radiac2.1/95;

Como o programa da HP foi desenvolvido especialmente para o dimensionamento e verificação de aquecedores solares, este se apresenta aparentemente mais confortável para esta finalidade do que o aproveitamento das respostas de *softwares* livres com aplicação isolada da equação (1), contudo como observado anteriormente o tempo de processamento das informações no modelo físico da HP48G em 30 segundos não resulta tão prático quanto à versão emulada em *handheld* reduzindo-se a 5 segundos.

Para fins térmicos, a consideração da anisotropia não oferece grandes diferenças na aproximação junto à escolha do número de coletores solares ao considerar os padrões geométricos de manufatura brasileira para os painéis solares, contudo isto se reafirma ainda mais na consideração de dias parcialmente nublados onde o $kt=0,50$ pois se calculam irradiancias solares muito próximas entre os programas e as considerações da isotropia ou anisotropia do céu.

O programa também oferece suporte ao projeto de conforto ambiental em edificações, pois ao fornecer a irradiação e irradiação solar a 90° em qualquer coordenada geográfica e qualquer desvio azimutal, representa informação fundamental para a transferência do calor solar entre os ambientes da edificação e a intempérie durante o dia.

As telas auto explicativas do *software* proposto, possibilitam que seja operado por acadêmicos, profissionais e vendedores técnicos sem grandes complicações;

A operação do programa em *handhelds* ou calculadoras da HP, permite a possibilidade de cálculos e verificações em campo graças à portabilidade desses equipamentos, abreviando o tempo entre a coleta de dados e cálculos junto ao escritório.

REFERENCIAS

Burbano, Juan Carlos; Restrepo, Álvaro Hernán; SABOGAL, Oscar Julian. Diseño y Construcción de un Calentador Solar de Água Operando por Termosifón. Scientia et Technica. Año XII, N° 31, Agosto de 2006 Univerdidad Tecnológica de Pereira. Colombia. ISSN 0122-1701

Czajkowski, Jorge, (2007) Radiac 2.1/95, RAD-OP 2.0, <http://www.arquinstal.com.ar/software.htm>, Acessado em Julho de 2007.

Creder, Hélio, (2006) Instalações Hidráulicas e Sanitárias, 6ª edição, Ltc livros técnicos e científicos editora, Rio de Janeiro.

Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª edición,. Wiley Interscience, New York.

Giba, Chiguero, Atlas Solarimétrico do Brasil – Banco de Dados Terrestres. Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, 2000.

Hernández, Alejandro, Geosol: Una Herramienta Computacional para el Cálculo de Coordenadas Solares y la Estimación de Irradiación Solar Horária, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ASADES, Vol. 7, Nº 2, 2003, ISSN 0329-5184.

Klucher, T. M., Evaluation of Models to Predict Insolation on Tilted Surfaces, Solar Energy 23, pp 111 - 114, 1979.

Rosa, Daniel Jordão de Magalhães, Caracterização da radiação solar: o caso da cidade universitária/USPe da ilha do Cardoso/Cananéia São Paulo, dissertação de mestrado, USP, julho de 2003

Radiasol, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Faculdade de Engenharia Mecânica, Brasil, software livre disponível em <http://www.solar.ufrgs.br/> Acessado em Julho de 2007.

Temps, R. C., Coulson, K. L., Solar Radiation Incident Upon Slopes of Different Orientations, Solar Energy 19, pp 179 – 184, 1977.

ABSTRACT

Small hardware equipments have the advantage of being versatile to develop tasks with greates autonomy and easily transported. This paper presents some options to operate with small hardware equipments in order to evaluate the solar irradiation on a bent plane, looking for a bettering of both the dimensioning and analysis of the solar water heating systems. That would help engineers, architects, technicians and sailors to better understanding solar heaters as well as to work with a newer software which is more apropiate to single pocket scientific calculators type HP or similar, specially designed for this purpose. The results and comparisons with microcomputer free software programs are also presented.

KEY WORDS : Handhelds and pocket HP48GX and HP50, solar irradiation, solar water heating system, dimensioning and checking.