

HP50 IRRADSOLAR V.01

IRRADIAÇÃO SOLAR-DIMENSIONAMENTO E
VERIFICAÇÃO - RECURSOS NA PALMA DA MÃO

Última revisão em 2009

MANUAL DO USUÁRIO

Ítalo Alberto Gatica Rísoli

Brasil - 2009

"As palavras são importantes, mas o que vale é o exemplo "

[Esopo]

SUMÁRIO

RESUMO	4
OBJETIVOS.....	5
INSTALAÇÃO	6
EXEMPLO DE APLICAÇÃO COMENTADO.....	8
EXTRAS	27
1º PROBLEMA PROPOSTO DE ENGENHARIA	36
2º PROBLEMA PROPOSTO DE ENGENHARIA	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
NOTA FINAL E AGRADECIMENTOS	41
APÊNDICE I - ARTIGO PUBLICADO SOBRE O TEMA EM EPÍGRAFE	42

RESUMO

Esta rotina está sob rigorosa revisão realizada em 2009, a qual a publico no site oficial da HP, pois sei que neste ambiente, será rapidamente proliferado, logo muitos engenheiros e projetistas poderão estar empregando esta pequena, mas poderosa ferramenta para instalações termo solares sustentados na boa engenharia.

Sem grandes conhecimentos de programação da HP50, mas com muito entusiasmo em colaborar na proliferação do conhecimento da tecnologia termo solar no Brasil, elaborei em 2006 uma rotina muito flexível para o cálculo da irradiação solar global em qualquer coordenada terrestre, assim como possibilitar o dimensionamento e o aferimento de instalações termo-solares. O modelo de distribuição da componente da irradiação solar difusa, aqui se reporta ao método de um céu isotrópico, visto os seguintes motivos, que foram defendidos com sucesso em banca de doutorado:

- O Brasil de norte a sul tem um índice de claridade atmosférico medido para uma média mensal por volta de 0,5;
- Para esse valor, não se encontram grandes diferenças numéricas entre os diferentes modelos de céus isotrópicos e anisotrópicos para a irradiação solar global, até porque a fração predominante do brilho do horizonte é menor nos dias mais nublados junto aos modelos anisotrópicos;
- Finalmente por conta da simplicidade algébrica para as equações selecionadas que podem ser encontradas junto às referências bibliográficas aqui apresentadas.

Sendo este trabalho público, não me faço responsável pelo seu uso indevido, ou por qualquer prejuízo material ou moral que o usuário venha a produzir em decorrência do seu uso ou interpretação errônea, todavia dentro das minhas possibilidades de tempo e orçamento poderei colaborar para sarar qualquer dúvida do usuário.

Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

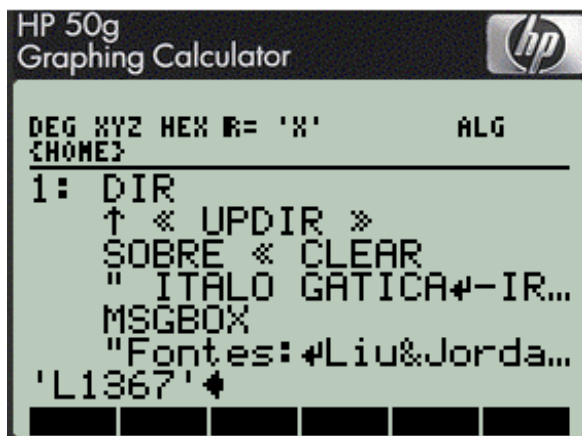
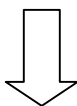
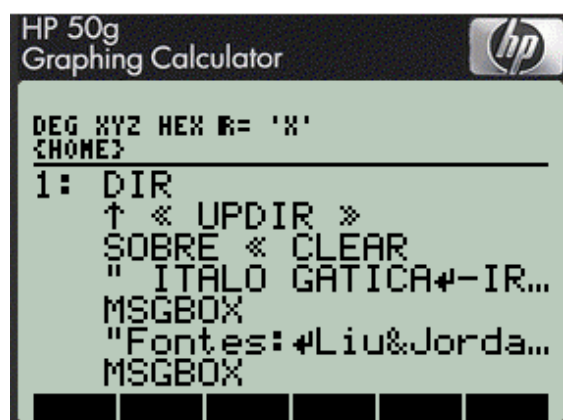
italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

OBJETIVOS

1. Calcular as componentes da irradiação solar: direta, difusa e albedo se fornecida a irradiação solar medida na superfície terrestre do local em estudo;
2. Estimar as componentes da irradiação solar e global, caso desconhecida a irradiação solar terrestre no local em estudo, mediante a arbitragem de um índice de claridade atmosférico que caracteriza a qualidade da abóbada celeste durante o dia solar;
3. Aferir um sistema já instalado;
4. Calcular a irradiância solar num horário qualquer;
5. Fornecer listas da irradiação solar global ou de suas componentes, a cada 15 minutos;
6. Melhorar as atuais condições de cálculo de sistemas de aquecimento solar confinados a tabelas demasiadamente empíricas que não consideram a variabilidade das variáveis aqui observadas;
7. Segmentar o conhecimento desta tecnologia, que embora muito aplicada ainda é pouco desenvolvida na graduação de escolas de engenharia e arquitetura;
8. Ilustrar nos exemplos de aplicação a flexibilidade de operação, assim como a facilidade na obtenção de dados dentro e fora do programa.

INSTALAÇÃO

Salvar o arquivo dentro de uma pasta com qualquer nome. Aqui se apresenta o nome L1367. A letra L, em homenagem a Liu e Jordam e o número 1367 W/m² é a atual constante solar.



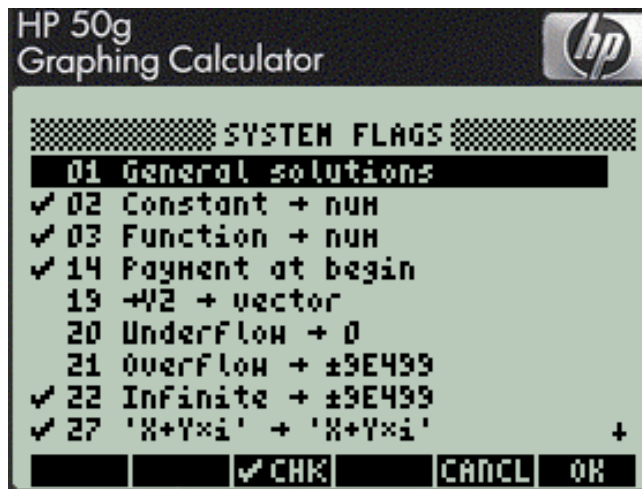
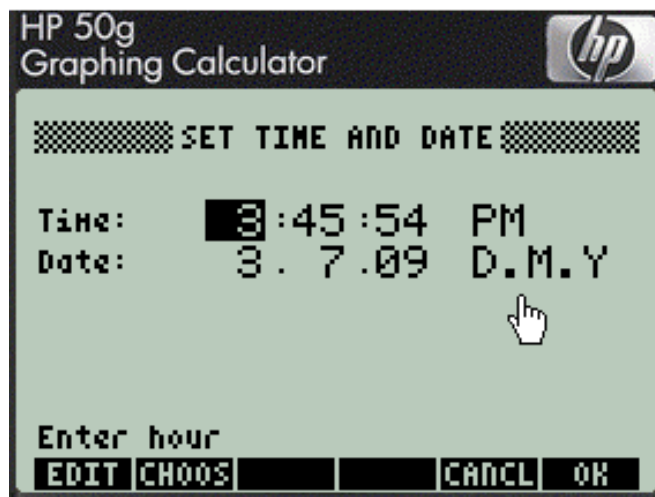
Seguido
de STO



Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

Certificar as seguintes configurações na calculadora antes de executar o programa.



FORMATO PARA DATA → DIA MÊS ANO

Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

EXEMPLO DE APLICAÇÃO COMENTADO

Uma edificação projetada na Rua Foz do Iguaçu nº 112 na Cidade de Americana, SP Brasil, teve contemplado no seu projeto de instalações prediais um tanque de acumulação de calor solar com 400 litros devidamente isolado. Dimensionar a área coletora solar para elevar em 35 °C a temperatura da água (natural) armazenada, considerando-se o aproveitamento da irradiação solar local sobre os coletores solares planos na estação fria e quente do ano (Novembro e Julho), sendo que referidos coletores solares planos deverão ser dispostos sobre telhas de concreto a uma inclinação de 30%. Durante o processo de administração e execução da obra foram selecionados coletores solares de marca brasileira certificada com 55% pelo órgão certificador tendo cada coletor solar plano uma área de 1,22m². Os coletores solares serão posicionados apontando de frente para a Rua Foz do Iguaçu.

SOLUÇÃO COMENTADA PASSO A PASSO

Pode-se perceber que a fonte de informação acima parece pobre demais para o cálculo solicitado, não se apresenta plano topográfico da construção, além do endereço da obra, nem qualquer informação sobre a quantidade de energia solar que chega nesse local, todavia aqui se ilustra ao usuário uma seqüência de fotografias de satélite, obtidas gratuitamente do Google Earth que o usuário poderá tomar da Internet ao instalar o utilitário Google Earth no seu computador. O objetivo desta situação de cálculo, é demonstrar ao usuário que existem formas para obter dados geográficos precisos de qualquer cidade do mundo, caso não se tenha em mãos um levantamento planimétrico do local, em seguida se “estimar” com precisão a quantidade de energia solar que chegam nos coletores solares, exatamente na posição prevista para instalação.

Ao entrar no Google Earth, localizar no menu, Brasil, depois Americana, e finalmente colocar o endereço da obra na barra de ferramentas: Rua Foz do Iguaçu 112. O banco de dados mostrará a fotografia aqui ilustrada pela Figura 1, com demarcação de quadrículas dos eixos Norte, Sul, Este e Oeste.

Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil **Dr Msc.**

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil



22°44'41.70" S

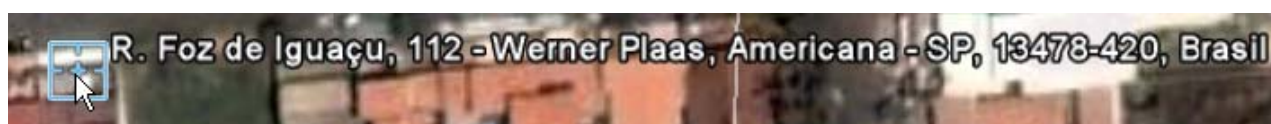


Figura 1: Latitude da obra localizada pelo Google Earth de 22°44'41,70".

Fonte: Google Earth.

A latitude de 22° 44' 41,70" Sul é igual a $-22,74492^\circ$ (o negativo fica por conta da convenção Sul). Ao entrar na pasta do programa, se apresenta o menu ilustrado pela figura 2. Para

Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

obter uma garantia de organização e separação dos comandos operacionais do programa das demais variáveis criadas pelo programa, recomenda-se ao início digitar uma só vez → CUSTOM. Isto irá ilustrar apenas as teclas de operação do programa ao correr com o menu com a tecla NXT.

A flechinha para cima é apenas para voltar a Home, abandonando a pasta de trabalho. A tecla escrita “SOBRE” mostra o autor, fontes, patrocínio, unidades e pequena instrução para entrada e saída de dados. Toda a pasta tem os códigos fontes abertos, pois não se tem a pretensão de esconder nada, nem imaginar que alguém tenha a capacidade de plagiar este trabalho uma vez publicado na rede, mas sim contribuir com um melhoramento do mesmo e um possível compartilhamento desses melhoramentos.

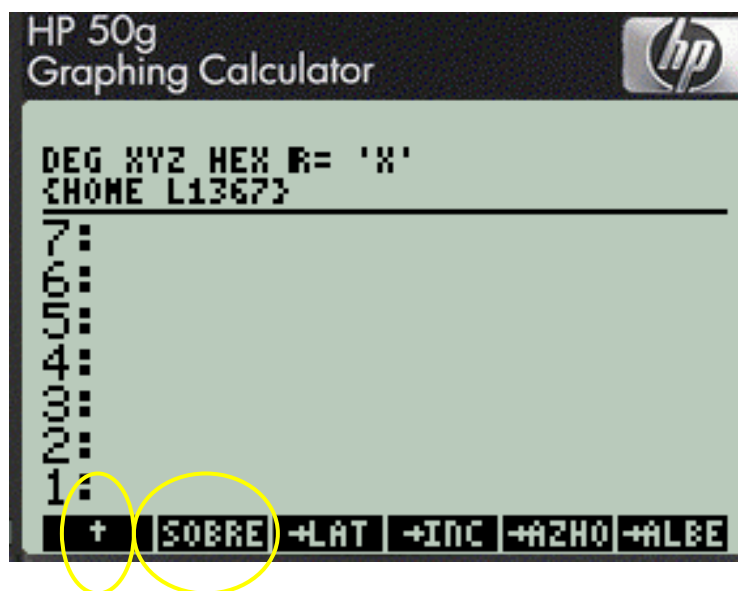


Figura 2: Pasta de operação do programa

Ao se pressionar o menu →LAT o programa solicita a latitude local do problema em questão. Na figura 3 se ilustra a digitação do valor do exemplo 1, já transformado em graus. Ao se digitar ENTER a tela ilustra o valor introduzido e a calculadora fica no menu principal da pasta, como se ilustra na sequência da figura 3.

Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

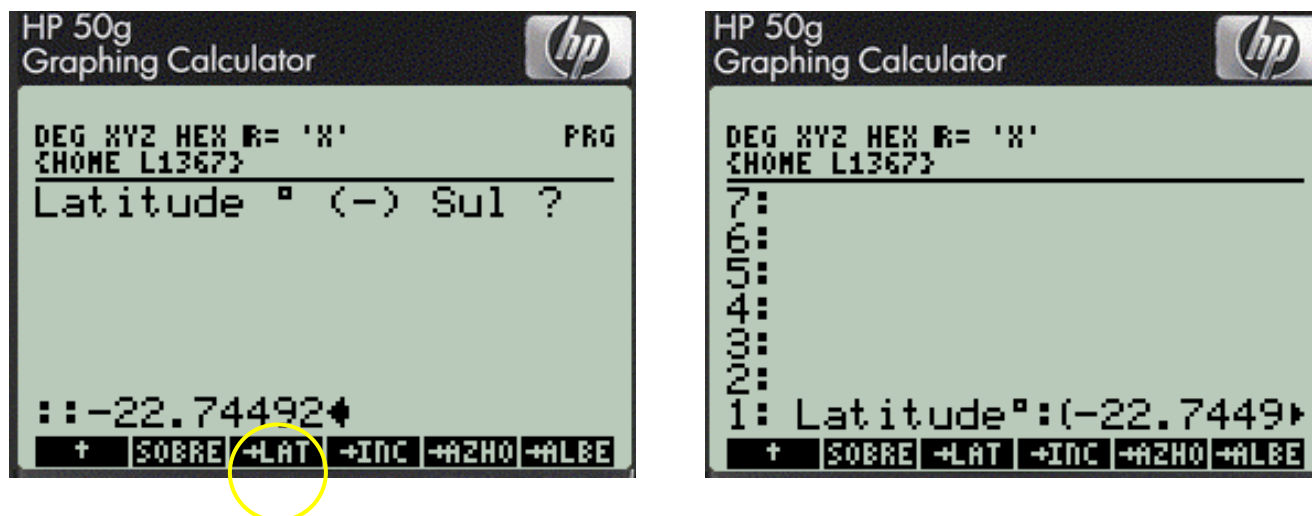


Figura 3: Introdução da latitude local em →LAT.

Depois se digita →INC para informar a inclinação dos coletores solares com relação ao plano horizontal, neste primeiro exemplo = arco tangente 0,3 = 16,7° como se ilustra na figura 4.

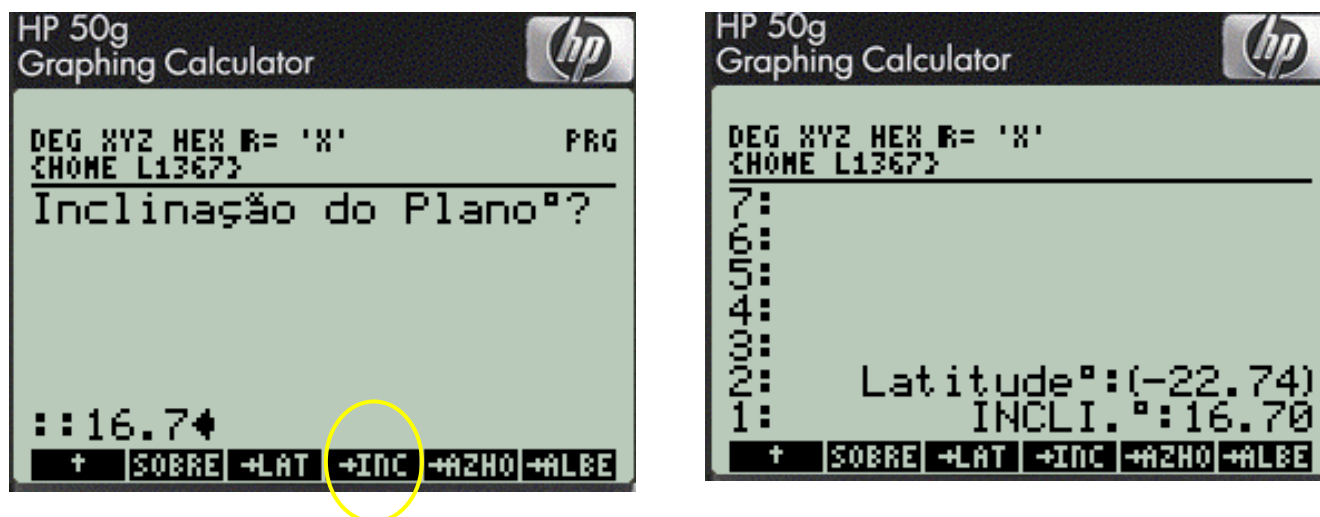


Figura 4: Introdução da inclinação dos coletores solares com relação ao plano horizontal.

Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

Na sequência, junto ao menu →AZHO deverá ser introduzido o azimute horário do eixo do coletor solar com relação ao Norte Verdadeiro. Como neste exemplo tem-se a informação do satélite pode-se determinar este ângulo, ao medir, com transferidor entre o eixo do coletor e a marcação do Norte, como se ilustra na figura 5. Note que uma linha amarela auxiliar, está paralela à linha Norte Sul dada pela fotografia, pois assim, é possível construir um ângulo e medir com transferidor na própria tela do computador. A outra linha amarela, corresponde ao eixo longitudinal dos coletores solares, veja que estes ficarão paralelos ao muro de divisa da obra em questão.

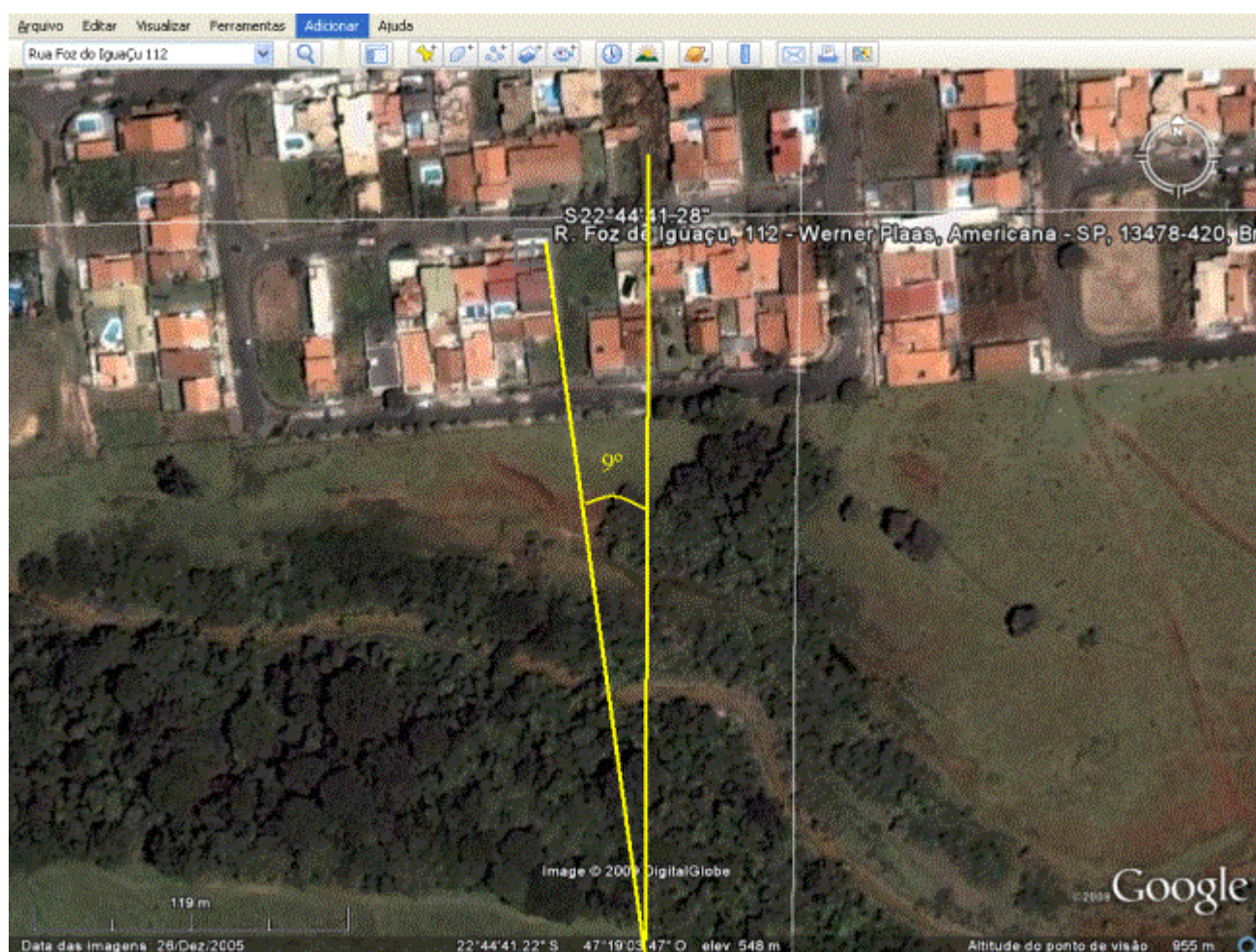


Figura 5: Desvio azimutal entre o eixo dos coletores solares e o Norte Verdadeiro = 9° para Oeste.

Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

Referido desvio azimutal dos coletores solares, deve ser introduzido segundo uma convenção horária como se solicita no menu →AZHO. Desta forma o valor será $= 360^\circ - 9^\circ = 351^\circ$ como se ilustra a entrada na figura 6.

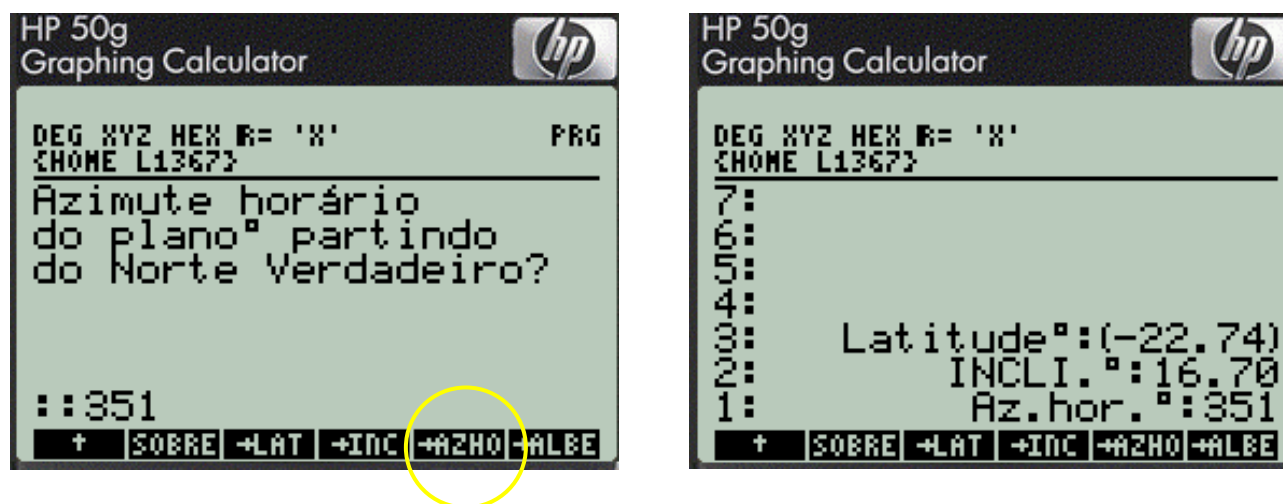


Figura 6: Introdução do desvio azimutal horário = Ângulo entre o Norte Verdadeiro e o eixo dos coletores solares, contando-se o sentido horário.

Ao se pressionar no menu →ALBE se solicita a entrada do coeficiente de refletância do solo, chamado por muitos autores de albedo. Para neve seria 0,8 para vegetações urbanas, contando com asfalto, materiais cerâmicos, telhados e concreto 0,2 representa um bom valor. Por isso se deixou como valor padrão a indicação de 0,2. Contudo a contribuição da componente solar inerente ao albedo, por muitos autores é sumariamente desprezada por apresentar uma fração insignificante diante da irradiação solar global. Mesmo assim, neste trabalho se levou em conta referido valor.

Apresenta-se a sequência de telas, na figura 7 a introdução do albedo em →ALBE.

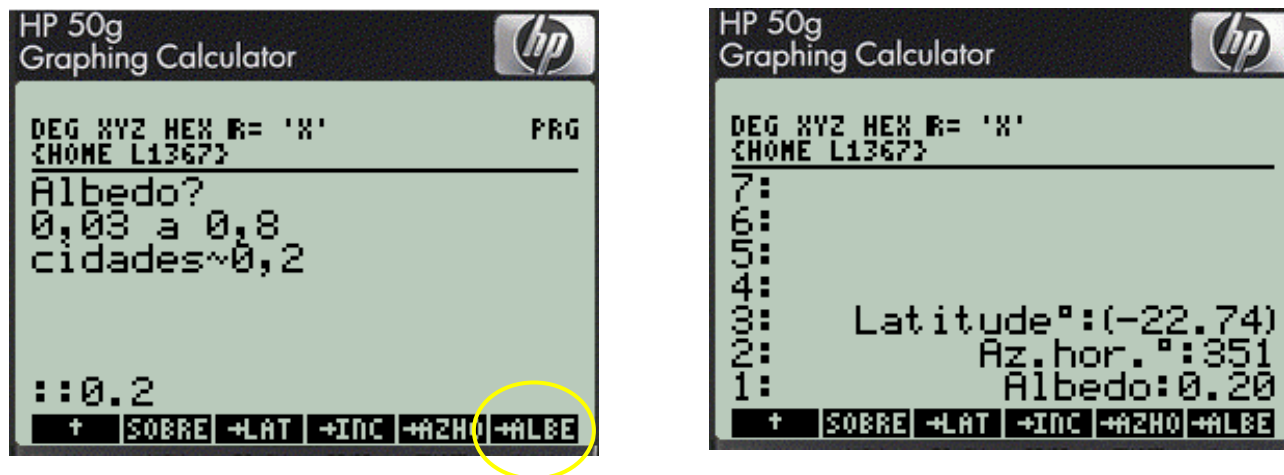


Figura 7: Introdução do Albedo no comando →ALBE.

Ao se pressionar a tecla NXT, é possível rolar o menu e visualizar mais comandos de entradas, como, por exemplo, →DIA, que serve para introduzir uma data na forma de dia e mês. Nesta tela se apresentam todos os dias médios mensais desde Janeiro até Dezembro, para o exemplo 1, o dia médio mensal de Novembro é 14. Na figura abaixo se ilustra a entrada de 14 de Novembro.

Usar a tecla SPC para separar os dados 14 e 11. Ao se digitar a tecla ENTER neste passo se realiza a primeira bateria de cálculos intermediários sobre irradiação solar, que podem ser vistos nas figuras 9 e 10.

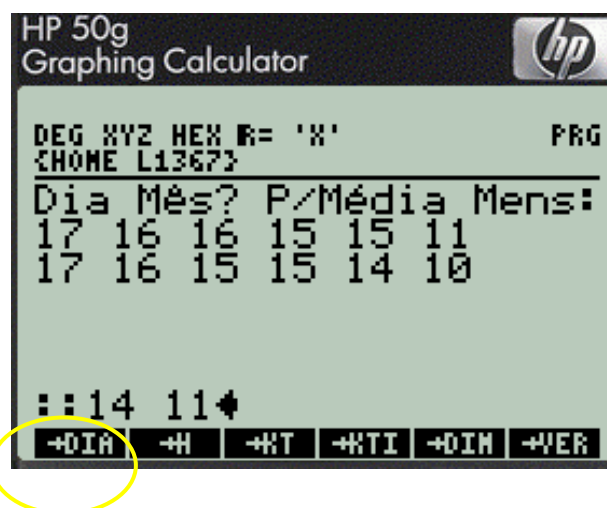
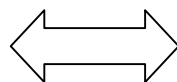
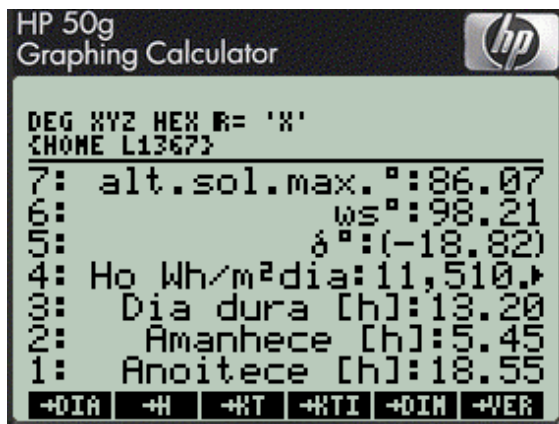


Figura 8: Introdução da data desejada para apreciar a irradiação solar.



ω_s = ângulo horário do anoitecer;

δ = declinação solar;

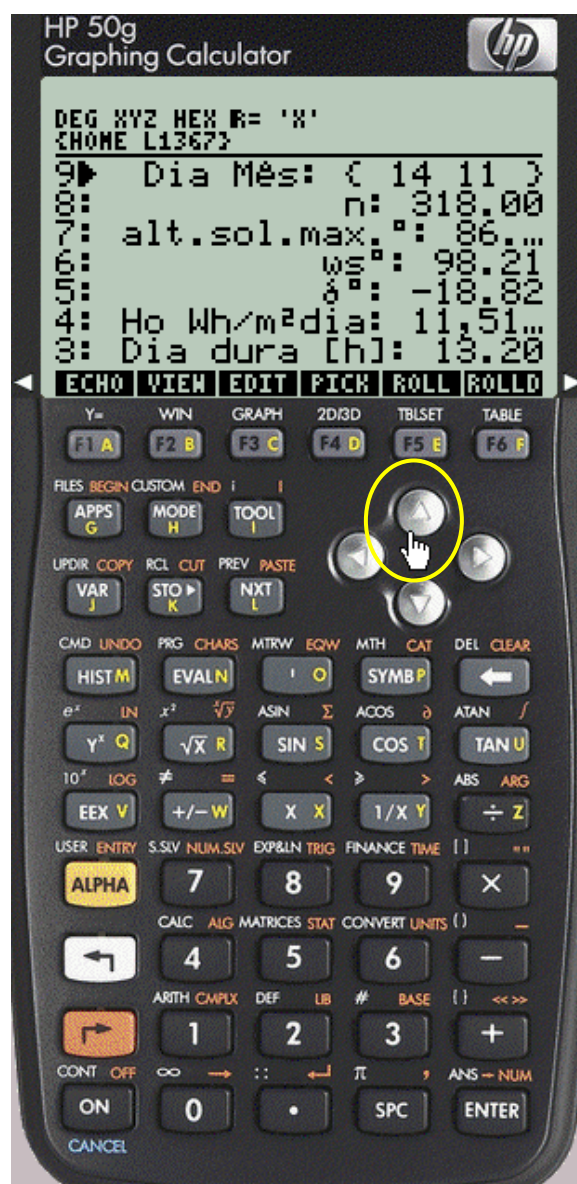
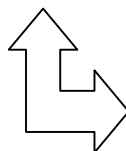
H_o = Irradiação solar num plano teórico horizontal no topo da atmosfera terrestre;

Figura 9: Primeira bateria de cálculos.

Ao buscar a posição da pilha em 9 com o cursor para cima [Δ], pode-se observar a data introduzida e o correspondente ordinal calculado entre 1 a 365, aqui calculado 318 como se ilustra na figura 10.

Ao se pressionar a tecla ENTER reaparece o menu da pasta de cálculo. NXT para correr o

Figura 10: Primeira bateria de cálculos na pilha 9 onde se apresenta a data 14 de Novembro e o correspondente ordinal 318 dias.



Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

Não havendo informe da irradiação solar global no local da obra considera-se um procedimento “prático” para efeito da estimação da irradiação solar global, atribuindo-se os índices de transparência (claridade) atmosférica de 0,5 para dia parcialmente nublado e 0,75 para dia de céu muito limpo com Sol radiante junto aos dias médios de Novembro, e Julho. Na figura 11 se apresenta uma estratificação do valor do índice de claridade kt em função da qualidade da abóbada celeste. Em todos esses casos há irradiação solar, porém uma variação da transparência.

Caso tenha informação da irradiação solar medida no local do problema de aplicação digita-se →H, todavia se digitar sem querer neste comando existe a possibilidade de sair introduzindo 0 que automaticamente se desvia para o comando →KT

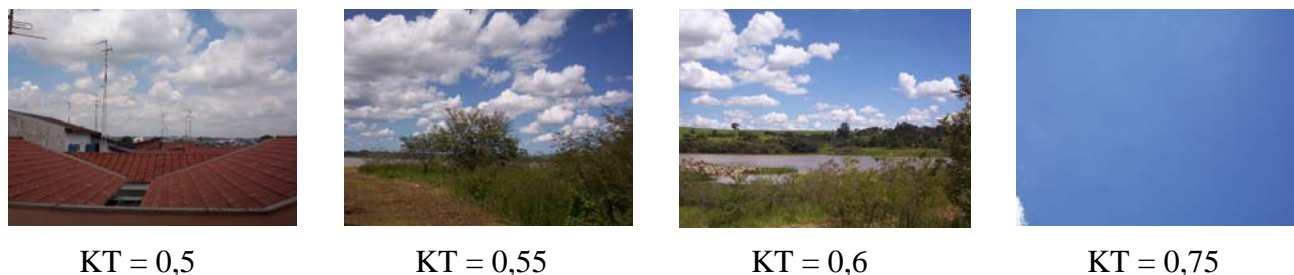


Figura 11: Recomendação para o índice de claridade atmosférica KT .

Para este primeiro exemplo, foi estipulado $KT = 0,5$ (céu parcialmente coberto), ilustram-se as próximas telas depois de digitado zero em →H ou direto em →KT, após a instrução do KT , se solicita o intervalo horário para integrar-se a irradiação solar global a de 15 em 15 minutos. Digitar sempre horas inteiras entre o horário calculado do amanhecer e anoitecer, aqui se avalia entre 7 às 18 horas.

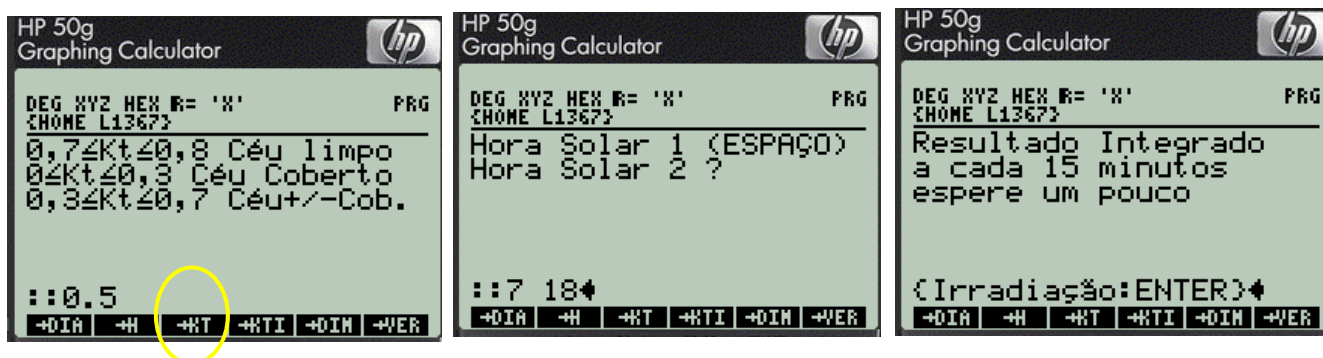


Figura 12: Instrução do índice de claridade KT e do intervalo horário a se calcular a irradiação solar.

Ao digitar-se ENTER, calcula-se a irradiação solar, neste caso entre as 7 às 18 horas¹

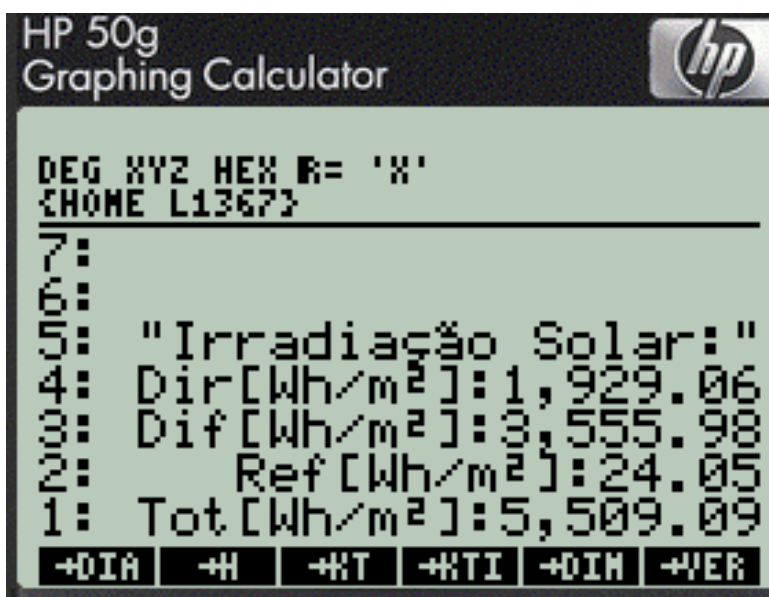


Figura 13: Irradiação solar estimada no local e suas componentes em conformidade aos dados fornecidos.

¹ Horário solar não corresponde ao horário civil. Consultar as fontes bibliográficas.

Ao se alterar o índice de claridade mantendo todo o resto de informação, basta digitar →KTI, mas no momento necessita-se dimensionar a área coletora solar com a fonte de informação até agora introduzida, para isto emprega-se o comando →DIM que se ilustra na próxima figura, informando aqui o volume de reserva de água quente a aquecer pela irradiação solar (400 litros) o ΔT desejado (35°C) e o rendimento da área coletora solar selecionada do mercado (55%), ao se digitar ENTER o programa dimensionará a área coletora solar necessária para as condições informadas. Neste Exemplo, para a estação quente de 14 de Novembro, estima-se com $KT = 0,5$ a área apresentada pela tela da figura 14.

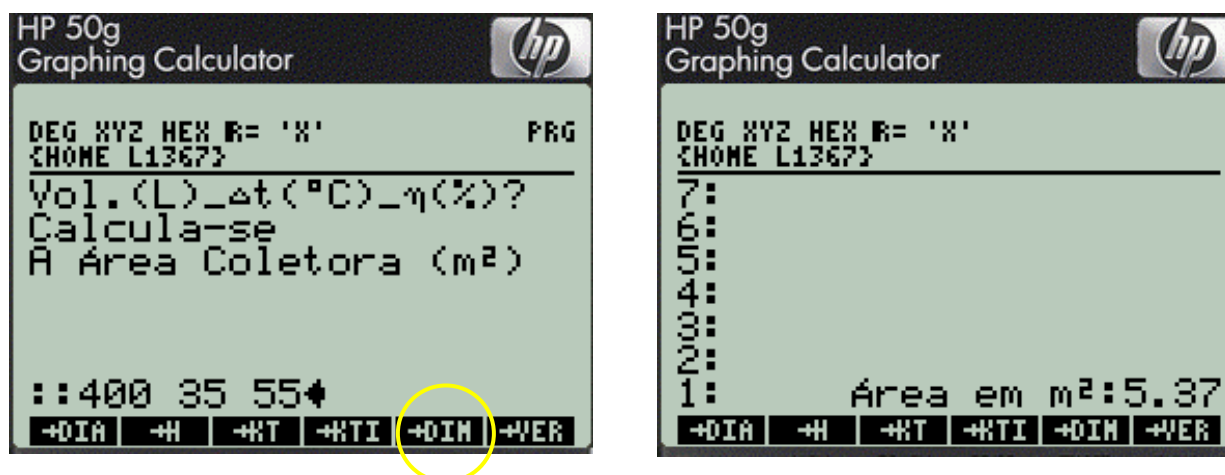


Figura 14: Dimensionamento realizado junto ao comando →DIM

Se o modelo coletor solar selecionado no mercado tem por unidade coletora $1,22\text{m}^2$ conforme este dimensionamento se recomenda a compra de 5 unidades para atender à demanda de calor em dias parcialmente nublados da estação quente do ano na região em questão (Novembro). Todavia este dimensionamento pode ser estimado para dias de céu limpo e Sol radiante onde $kt = 0,75$.

→KTI é um comando prático que serve para introduzir um novo valor numérico de kt (aqui 0,75) mantendo-se o mesmo intervalo horário já fornecido anteriormente que seguido de ENTER estima

uma nova irradiação solar sobre o plano inclinado na localidade em questão. Ilustra-se sua aplicação na figura 15.

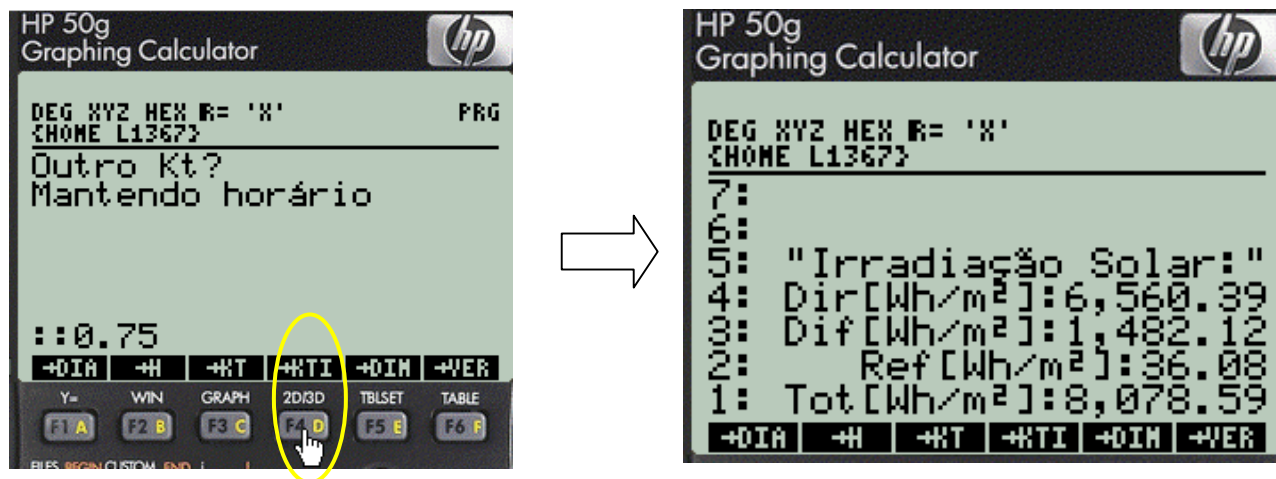


Figura 15: Nova irradiação solar global e suas componentes para o local em questão ao considerar-se um dia muito radiante e claro em 14 de Novembro com $kt = 0,75$ introduzido no comando $\rightarrow KT$.

Com este novo valor de irradiação solar para 14 de Novembro em dia radiante e claro se procede a uma nova área coletora solar utilizando o comando $\rightarrow DIM$, com seus novos resultados ilustrados na figura 16.

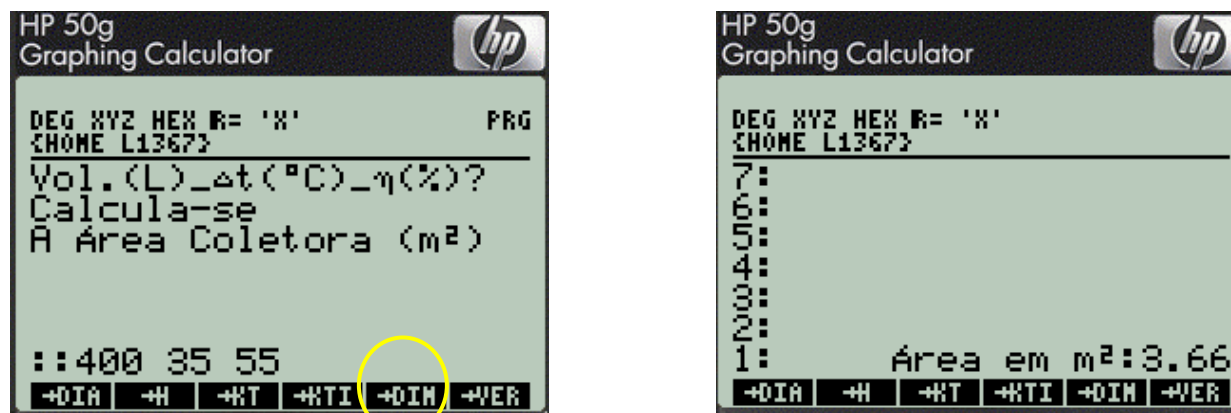


Figura 16: Redimensionamento da área coletora solar em função de um valor máximo estimado para a irradiação solar em 14 de Novembro para dia radiante e claro junto à localidade em questão.

Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

Este último dimensionamento conduz a 3 coletores solares de $1,22\text{m}^2$, todavia, antes de decidir a quantidade final de coletores solares a implantar nessa obra é preciso avaliar o dimensionamento para a estação fria do ano, aqui sugerida no dia médio de Julho. Pressione sobre as teclas VAR e NEXT para localizar o comando →DIA, nele introduzir a nova data média de Julho, apontada pela tabela em 17 como se ilustra na seqüência.

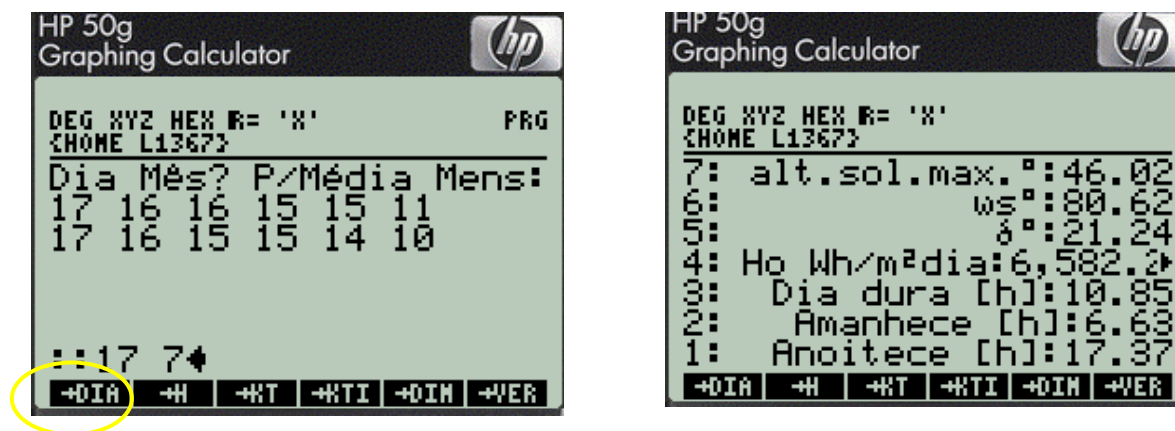
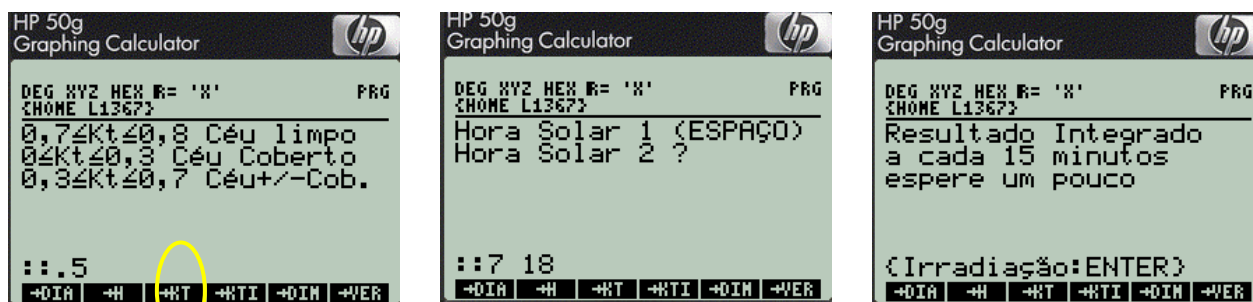


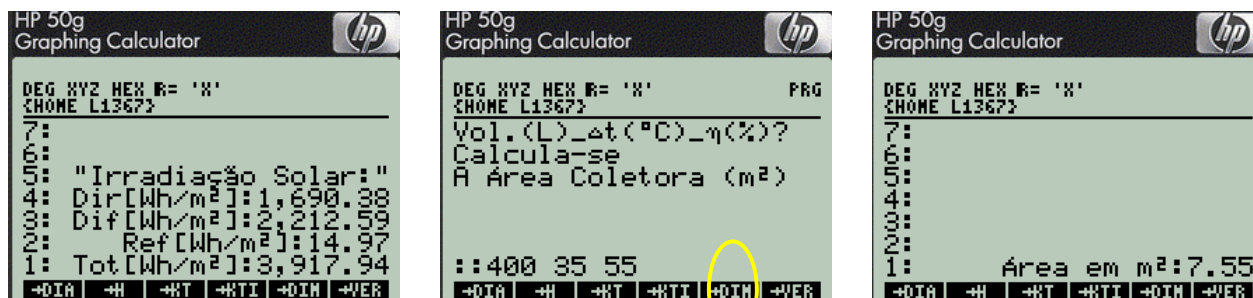
Figura 17: Introdução de nova data em →DIA e cálculos preliminares.

Repare como a altura do Sol (ao meio dia solar) está bem mais baixa que no dia 14 de Novembro o que justificará uma redução da irradiação solar global na estação fria como se aponta adiante.

Ilustram-se a seguir, na figura 18, da esquerda para a direita e de cima para baixo, todas as telas correspondentes ao dimensionamento para o dia 17 de Julho com 0,5 de índice de transparência (céu parcialmente nublado).



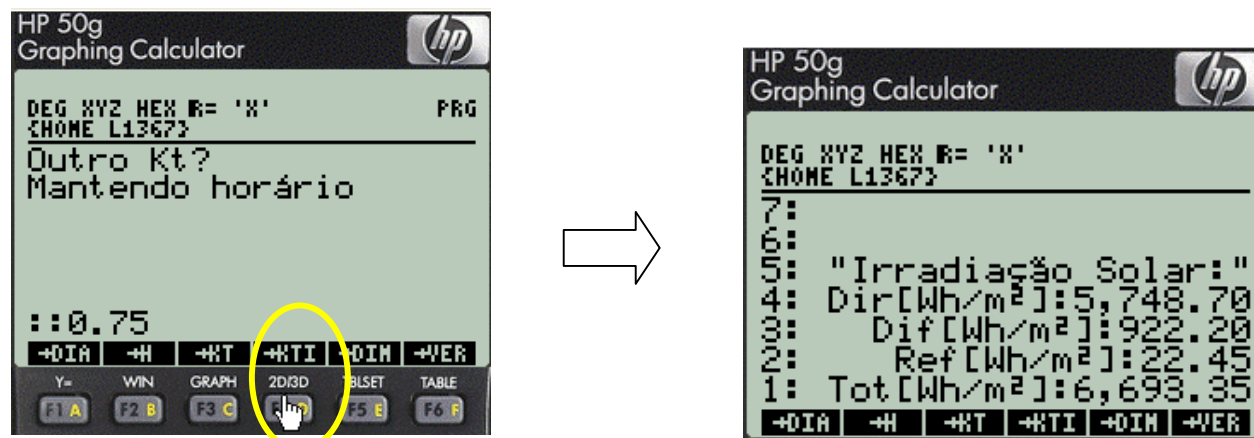
→KT introduzido 0.5 seguido de ENTER introduzir 7 8 seguido de ENTER, novamente ENTER



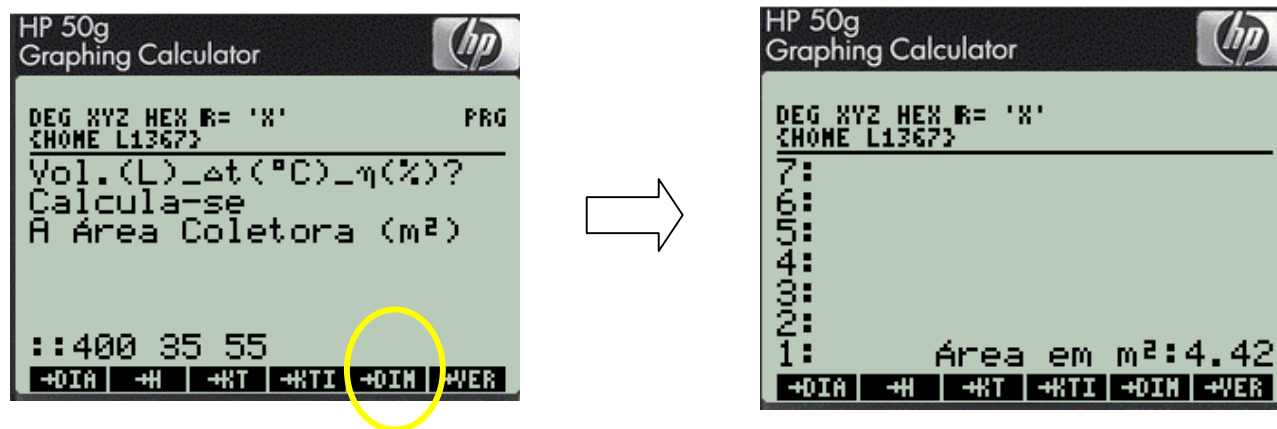
Irradiação solar global estimada sobre os coletores inclinados e dimensionamento para 17 de Julho com céu parcialmente nublado. Seguido do comando →DIM e resultado da área coletora solar.

Figura 18: Telas comentadas e obtidas para o dia 17 de Julho com céu parcialmente nublado.

Ilustram-se a seguir, na figura 19, da esquerda para a direita e de cima para baixo, todas as telas correspondentes ao dimensionamento para o dia 17 de Julho com 0,75 de índice de transparência (céu limpo e Sol radiante).



Troca do kt em →KTI com manutenção do mesmo intervalo horário já fornecido entre 7 e 18 horas e reavaliação da irradiação solar para dia muito claro em 17 de Julho na localidade em estudo.



Seguido do comando →DIM ao introduzir 400 35 55 separados por SPC e seguido de ENTER se calcula a área coletora solar em m².

Figura 19: Telas comentadas e obtidas para o dia 17 de Julho com céu limpo e Sol radiante, na localidade em questão.

O resumo final com resultados obtidos por este software para o problema 1 encontram-se ilustrados na tabela 1.

Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

Tabela 1: Resumo dos resultados obtidos para o problema 1

DATA	CÉU	ÁREA COLETORA SOLAR [m ²]	Nº APROXIMADO DE COLETORES SOLARES
14 de Novembro	Parcialmente nublado (kt=0,5)	5,37	5
14 de Novembro	Sol radiante (kt=0,75)	3,66	3
17 de Julho	Parcialmente nublado (kt=0,5)	7,55	6
17 de Julho	Sol radiante (kt=0,75)	4,42	4

ESCOLHA DA ÁREA COLETORA SOLAR PARA A OBRA EM QUESTÃO

Todo o processo aqui descrito se reporta ao método empírico da escolha da qualidade do céu pelo índice de claridade atmosférico kt ante o desconhecimento de medições locais da irradiação solar na superfície em estudo (Americana SP Brasil).

Diante 4 resultados obtidos mediante a combinação de dois tipos de céus e duas datas em estações diferentes, é preciso ponderar uma área coletora solar definitiva para a edificação em questão. O ideal seria escolher o valor previsto para a pior situação, que aqui conduziu 7,55m² ou 6 coletores solares de 1,22m²/unidade, mas referida escolha é anti econômica. Na atual prática brasileira, se escolhe por conta do recurso financeiro disponível ou recomendações das tabelas dos fabricantes, que grosseiramente estabelecem para orientação Norte: 100 litros e 1 coletor solar por habitante. Neste software e texto se dá preferência a uma escolha mais técnica possível, sustentada pela boa engenharia e estado da arte² em qualquer orientação dos coletores solares, todavia é necessário um pouco de bom senso antes de aplicar o empirismo final.

² Estimação da irradiação solar global sobre plano inclinado desviado ou não do Norte Verdadeiro.

O bom senso aqui diz respeito ao conhecimento da climatologia regional com relação ao problema proposto. A latitude do local citado está em clima tropical, bem próximo ao trópico de Capricórnio. A estação fria dura pouco e prevalece o clima quente na maior parte do ano. O frio local ocorre apenas nos meses de Junho e Julho, mas se estende um pouco em Maio e Agosto (por volta de 3 meses ao todo, que significa 25% do ano).

A tudo isto se recorre ao empirismo ao fazer uma média ponderada com os resultados obtidos pelo programa e o bom senso por adotar 25% sobre os resultados sobre a estação fria, contra 75% dos resultados obtidos para a estação quente, como se mostra abaixo:

Área adotada = 25% Resultado da estação fria + 75% Resultados da estação quente.

Ainda se considera por bom senso que apenas 25% dos dias de radiação solar têm céu completamente limpos, despoluídos e radiantes contra 75% dos dias de radiação solar com a presença de nuvens e partículas provenientes da poluição atmosférica urbana. Assim sendo, recomenda-se como decisão para compra na cidade de Americana SP Brasil o seguinte cálculo da área coletora solar ponderada:

Área adotada para Americana SP = 0,25 (0,75 Área obtida com céu parcialmente nublado no inverno + 0,25 Área obtida com céu limpo e Sol radiante no inverno) + 0,75 (0,75 Área obtida com céu parcialmente nublado no verão + 0,25 Área obtida com céu limpo e Sol radiante no verão).

Aplicando-se ao exemplo 1:

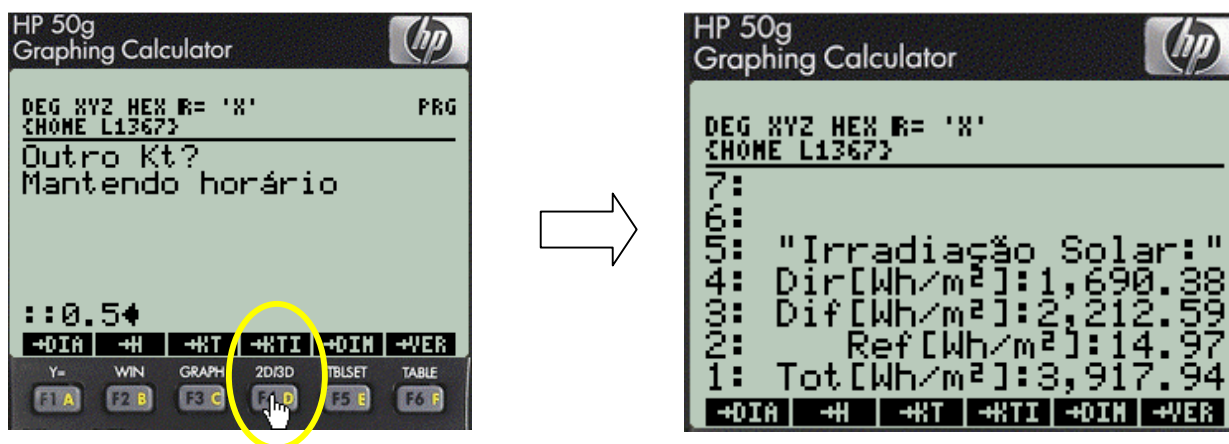
Área adotada = $0,25 (0,75 \times 7,55 + 0,25 \times 4,42) + 0,75 (0,75 \times 5,37 + 0,25 \times 3,66) = 5,4 \text{m}^2 \rightarrow \underline{\underline{5 \text{ coletores solares de } 1,22 \text{m}^2}}$. Este resultado atenderá com economia em média ponderada o ano todo na obra em questão, contudo imagine que o dono da obra decide instalar 4 coletores solares de área unitária =

Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

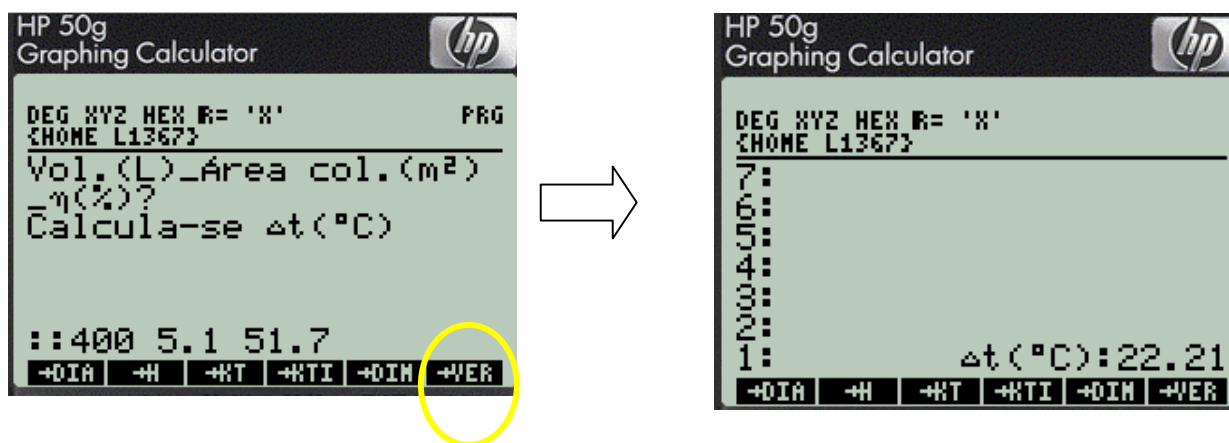
italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

1,02m² (total de 5,1m²) certificados com 51,70%. Afira o resultado desses coletores na obra para o dia médio de Julho com céu parcialmente nublado.

Rode no menu VAR NXT e siga as seguintes instruções, considerando que a última data introduzida fora o dia 17 de Julho.



Busque e pressione →KTI introduza nele 0,50 seguido de ENTER apresenta-se estimativa da irradiação solar global e suas componentes para o dia 17 de Julho com céu parcialmente nublado.

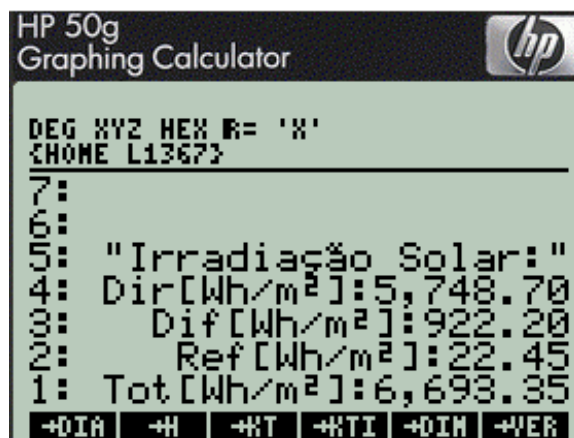
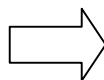
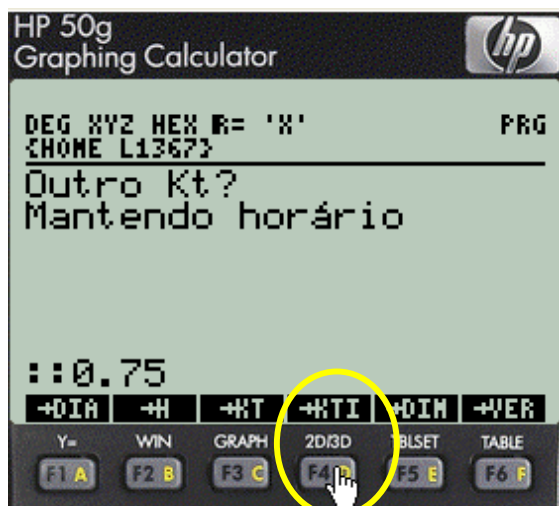


Digite em seguida →VER Introduza 400 5.1 55.7 separados por SPC seguido de ENTER que se apresentará a diferença máxima de temperatura que se produziria em 17 de Julho num dia parcialmente nublado (somente 22,21°C).

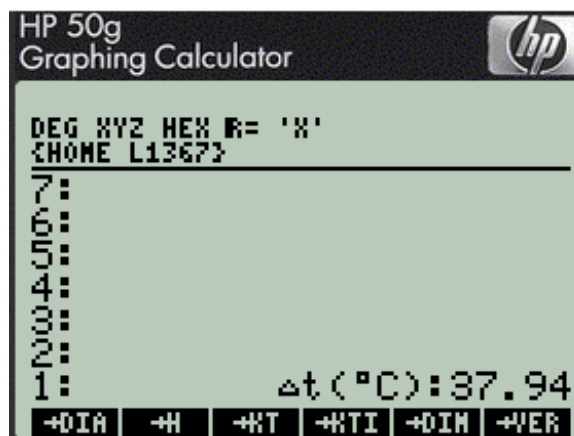
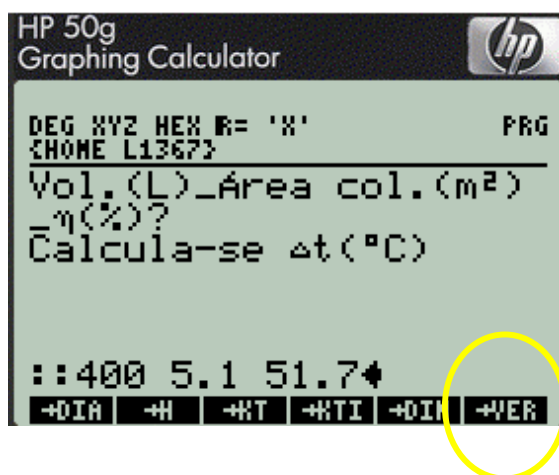
Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

Para dia radiante e claro em 17 de Julho basta alterar o valor de kt para 0,75 no comando →KTI



Busque e pressione →KTI introduza nele 0,75 seguido de ENTER apresenta-se estimativa da irradiação solar global e suas componentes para o dia 17 de Julho com céu limpo e Sol radiante.



Digite em →VER e introduza 400 5.1 51.7 separados por SPC seguido de ENTER que se apresentará a diferença máxima de temperatura = 37,94°C

CONCLUSÃO: para a escolha de 5,1m² de área coletora com 51,7% de rendimento, orientação de 351° com relação ao Norte Verdadeiro e uma inclinação de 16,7° com relação ao plano horizontal,

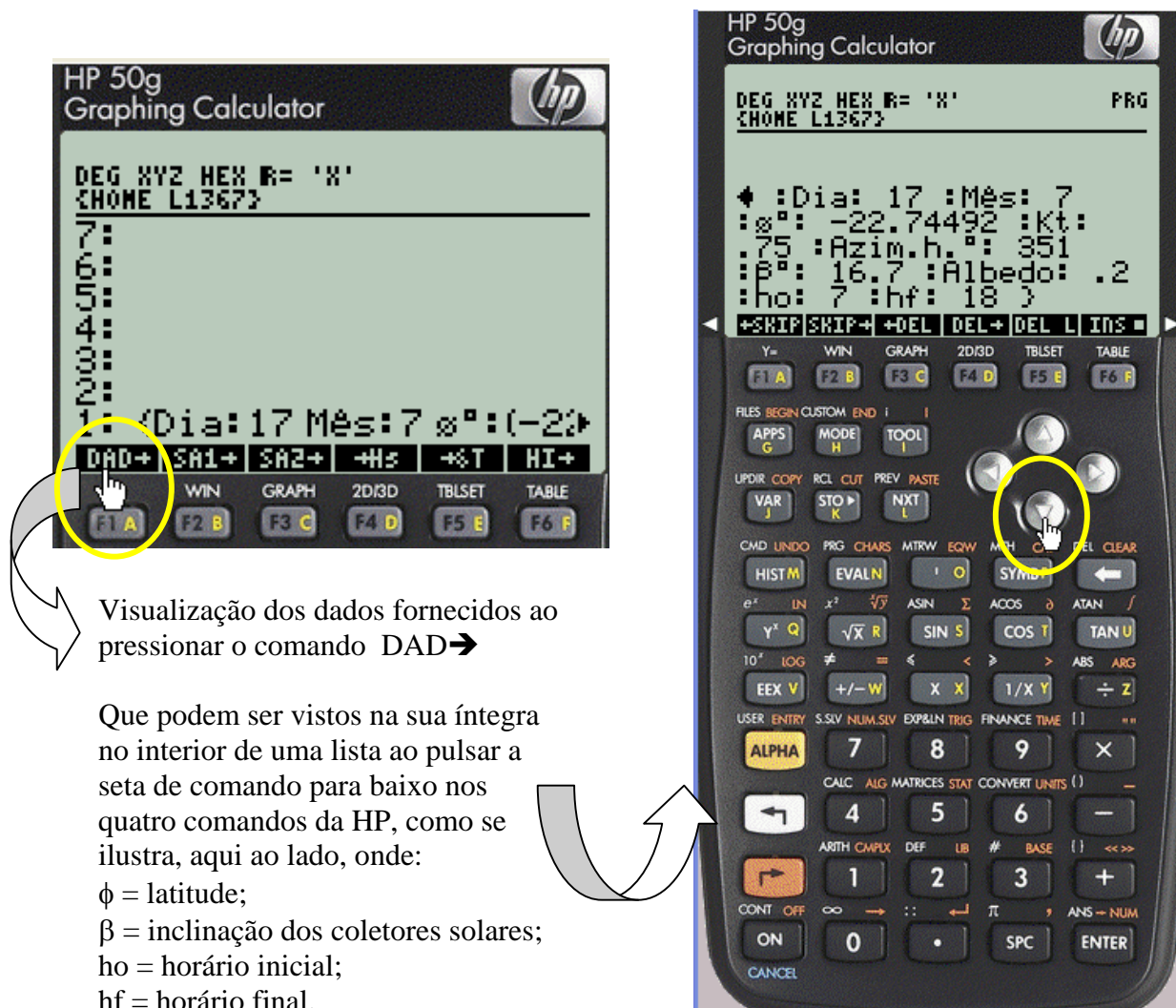
Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

haveria necessidade de um vetor energético auxiliar em dias parcialmente nublados no mês de Julho, para complementar $12,79^{\circ}\text{C} = 35^{\circ}\text{C} - 22,21^{\circ}\text{C}$ ao tanque de água quente, que pode ser através de uma resistência elétrica instalada no boiler devidamente controlada no seu tempo de operação, ou um aquecedor de passagem a GLP, também devidamente controlado na sua operação³.

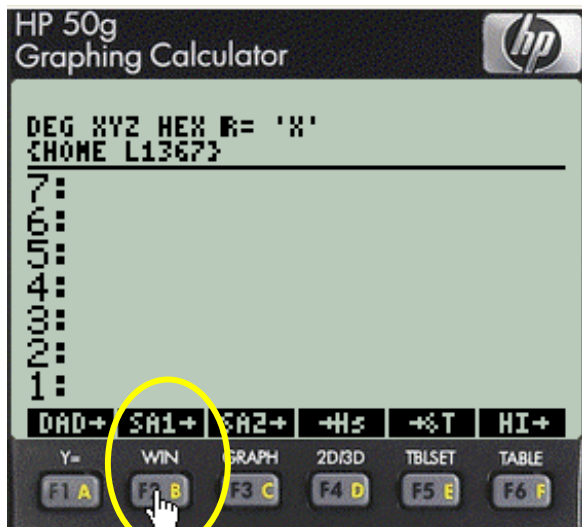
EXTRAS

O programa ainda fornece as seguintes possibilidades extras:

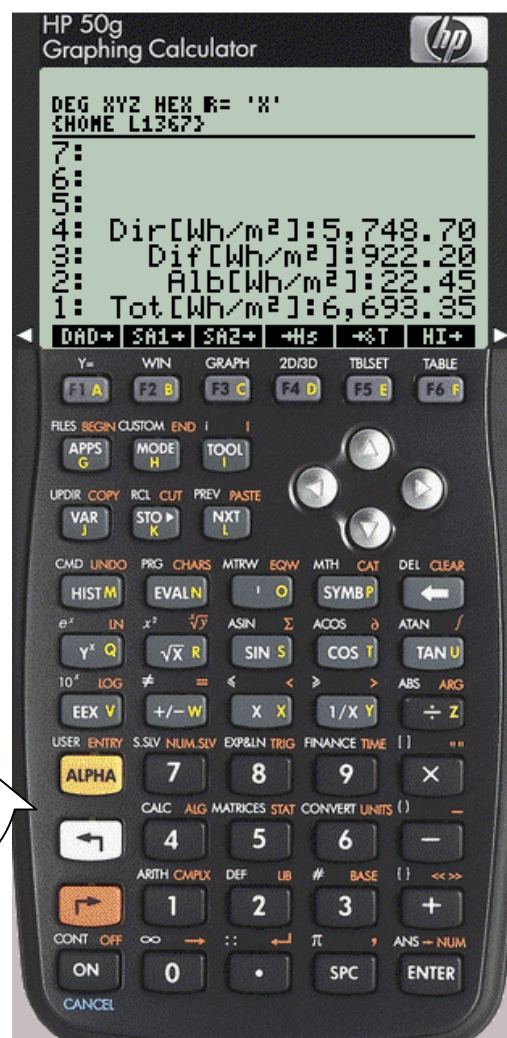
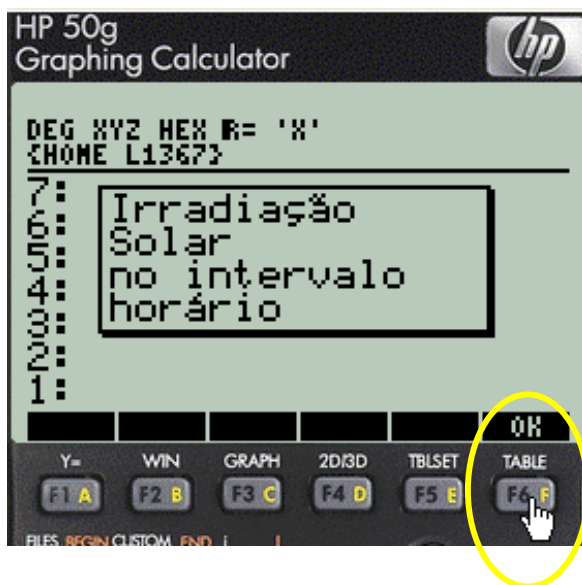


³ Sensores acoplados a sistema digital de diferença de temperatura, ou termostato regulável com timer analógico/digital.

A tecla ENTER e VAR recuperam a visualização do menu da pasta e a tecla NXT possibilita a navegação nesse menu em direção à direita.



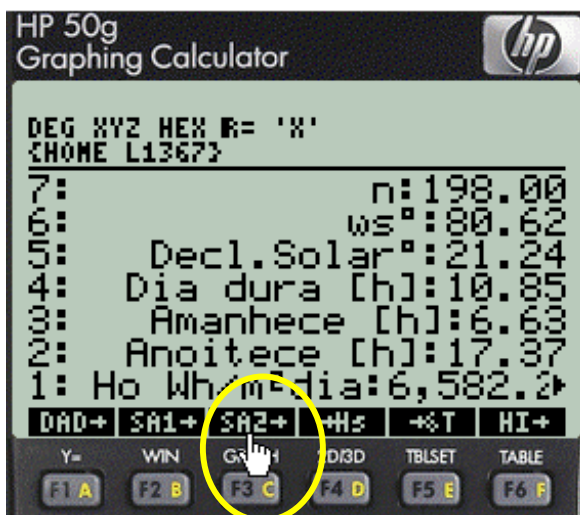
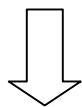
O comando SA1→ recoloca na tela a irradiação solar antes calculada no intervalo horário fornecido, aparecerá pequena instrução, disto, onde se deve pressionar em OK



Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

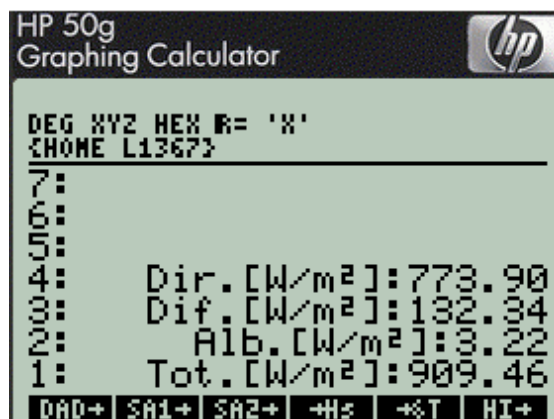
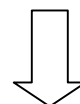
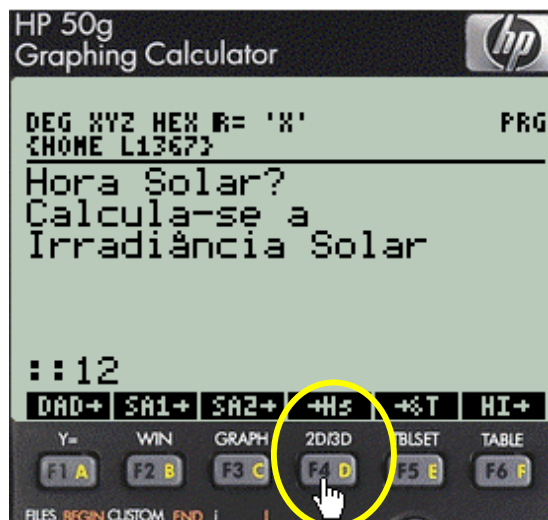
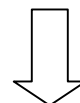
italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

O comando SA2→ reappresenta os cálculos preliminares da irradiação solar para os últimos dados fornecidos.



O comando →Hs determina a irradiância solar instantânea em qualquer horário solar fornecido. Abaixo se avalia a irradiância, ao meio dia solar de 17 de Julho. Calculado em 909 W/m².

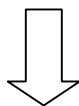
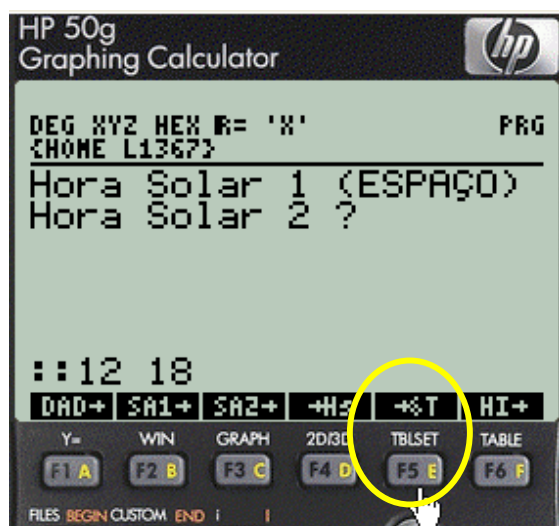
O valor máximo da irradiância solar sempre se registra ao meio dia solar (em qualquer data).



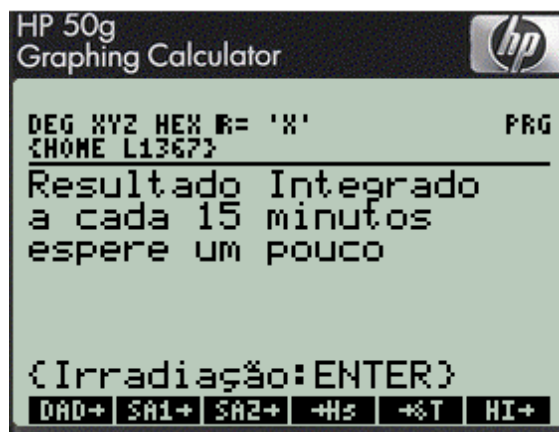
Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

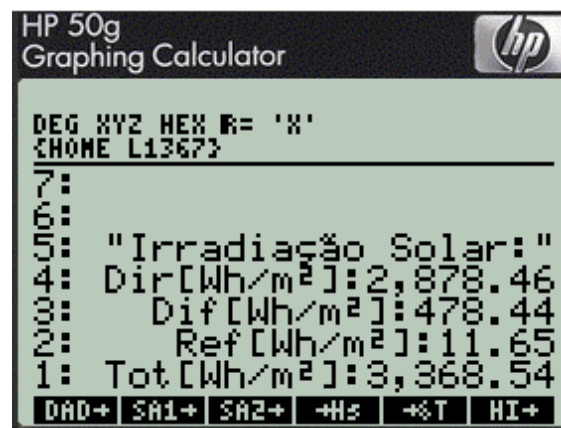
O comando $\rightarrow \Delta T$ permite recalcular a irradiação solar no dia em questão num intervalo horário diferente. Como por exemplo, do meio dia solar até o anoitecer, como se ilustra abaixo (12 SPC 18). Esta situação prevê que choveu pela manhã e é ideal para posterior verificação com o comando $\rightarrow \text{VER}$ para prever o quanto meio dia solar é capaz de aquecer uma reserva de água quente.



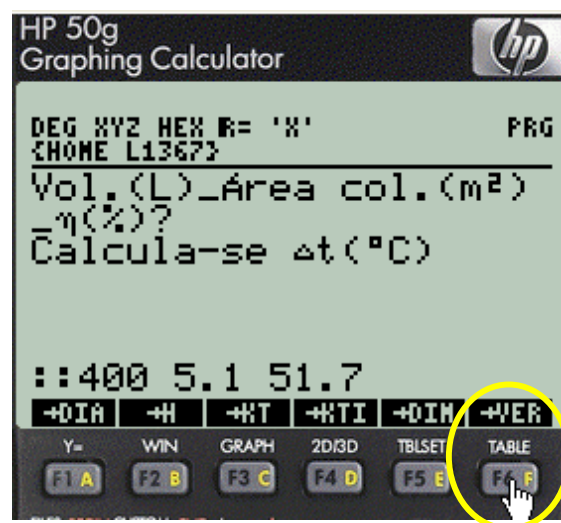
ENTER



ENTER novamente



Acima, a irradiação solar global entre 12 às 18 horas no dia 17 de Julho com céu limpo e Sol radiante ($k_t = 0,75$) com demais dados: ϕ , β e AZH já informados anteriormente.

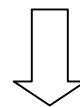
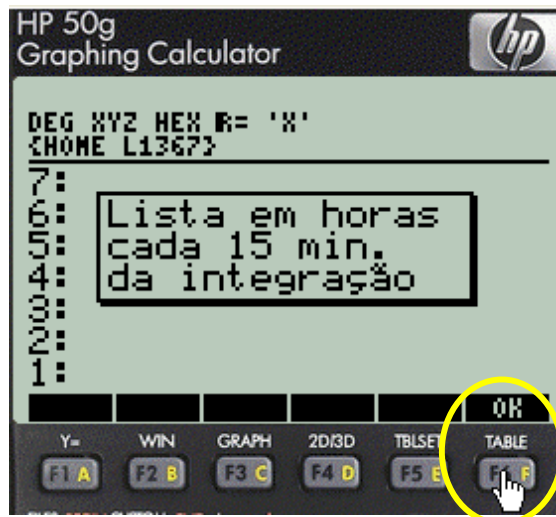
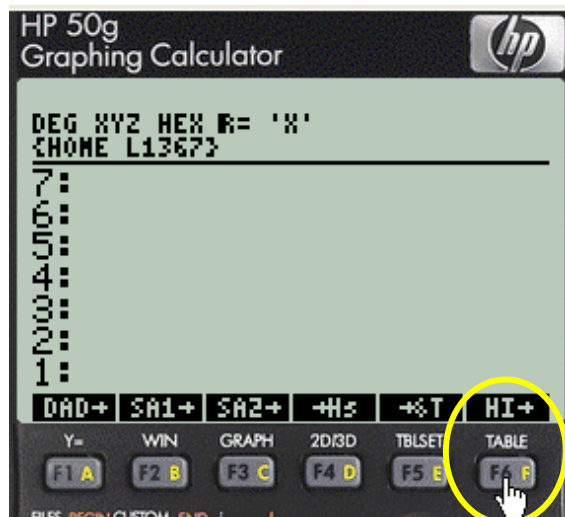


Verifica-se o ΔT máximo produzido ao informar o volume, área coletora solar e rendimento junto ao comando $\rightarrow \text{VER}$

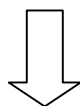


Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

O comando HI→ apresenta uma lista em horas a cada 15 minutos do último intervalo horário informado.



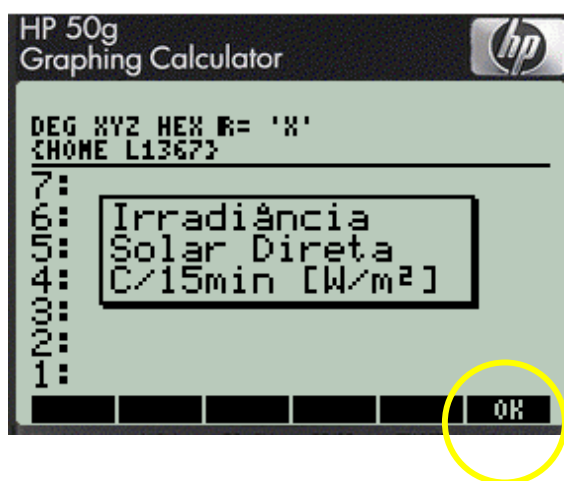
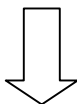
ENTER devolve o menu da pasta do programa



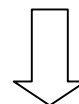
Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

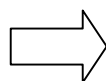
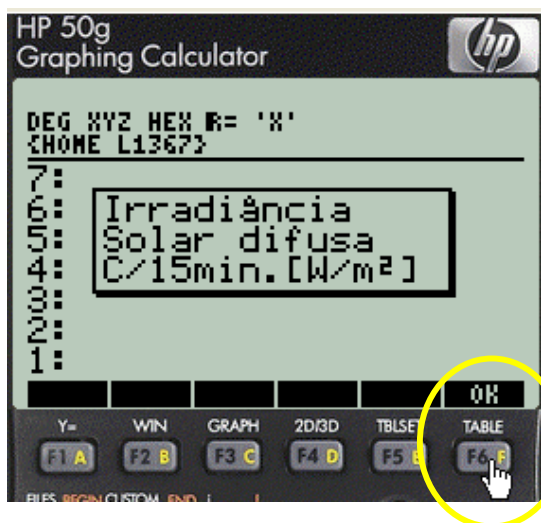
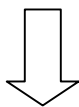
O comando DIR→ apresenta uma lista exclusiva da componente da irradiação solar direta a cada 15 minutos do último intervalo horário informado.



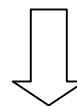
ENTER devolve o menu da pasta do programa



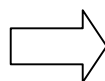
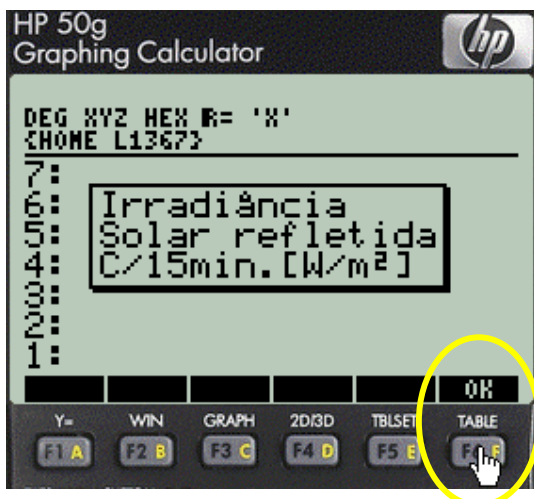
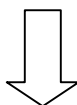
O comando DIF→ apresenta uma lista exclusiva da componente da irradiação solar difusa a cada 15 minutos do último intervalo horário informado.



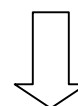
ENTER devolve o menu da pasta do programa



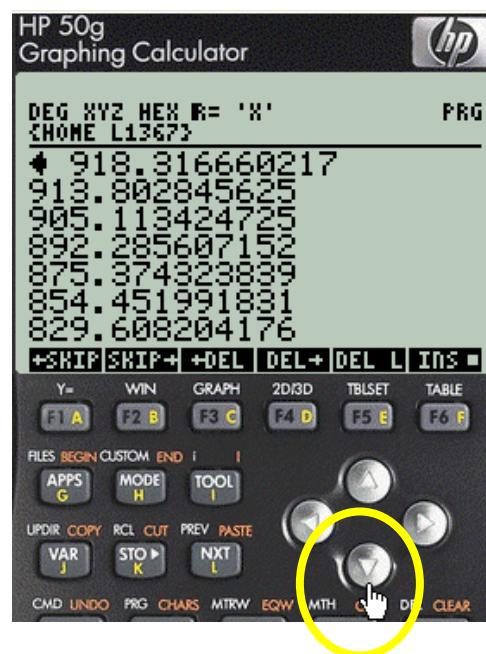
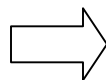
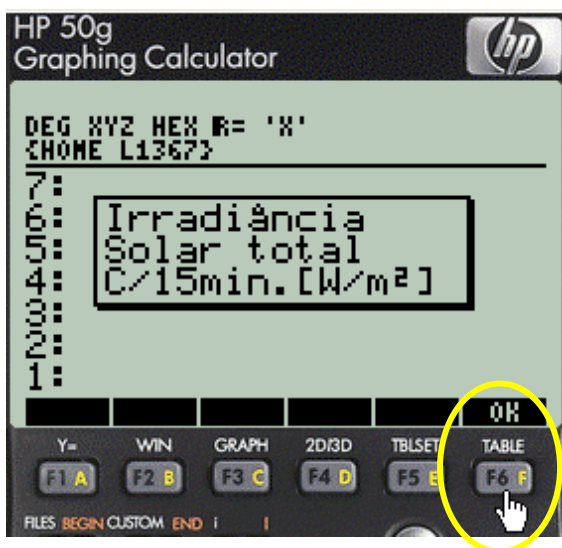
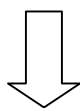
O comando ALB→ apresenta uma lista exclusiva da componente da irradiação solar refletida do solo (albedo) a cada 15 minutos do último intervalo horário informado.



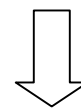
ENTER devolve o menu da pasta do programa



O comando GLO→ apresenta uma lista exclusiva da irradiação solar total = soma das outras 3 componentes a cada 15 minutos do último intervalo horário informado.



ENTER devolve o menu da pasta do programa



1º PROBLEMA PROPOSTO DE ENGENHARIA

Uma família de 4 pessoas mora na Rua Última Esperanza 3851, na cidade de Santiago, capital do Chile. Nessa localidade por conta das fortes geadas, da insignificante utilização da energia solar, e das instalações prediais serem em alta pressão (pressão direto da rua) se recomenda uma instalação termo solar forçada, de modo que os coletores solares permaneçam sem água durante o rigoroso frio da noite para evitar o congelamento e destruição dos mesmos. Referida família decide instalar um boiler por acumulação de calor em alta pressão (4 Kgf/cm^2) de 400 litros de reserva de água aquecida em 70°C utilizando dois vetores energéticos ao longo do ano: um aquecedor de passagem a gás liquefeito de petróleo (GLP) de 20 l/minuto de vazão e uma bateria coletora solar de 60% de desempenho, munidos de caixa isoladas com duplo vidro de 3mm, vasos e aletas em cobre pintados de preto fosco, com isolamento de uma camada de 15mm de lã de vidro, outra camada de 15mm de poliuretano expandido em alta densidade e em contato direto com a caixa uma camada de 15mm de poliestireno expandido de alta densidade. Nas laterais o mesmo isolamento e silicone de vedação no vidro liso transparente.

A água fria na estação quente de Santiago do Chile (Janeiro e Fevereiro) dificilmente passa de 15°C (bastante fria). Na Estação fria (Maio até Agosto) a água fria fica entre 5°C a 10°C chegando a congelar na saída da torneira em algumas ocasiões, motivo pelo qual em países de latitude elevada se faz necessária a “queima” de algum combustível para aquecer a água. A irradiação solar medida em Santiago do Chile é:

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
6,43	5,66	4,31	3,05	1,86	1,33	1,51	2,25	3,37	4,55	5,77	6,46
Radiação em kWh/m ²											

Pede-se:

1º - Calcule a bateria coletora solar para a média ponderada anual considerando que na estação quente a radiação contribua com 60% do calor requerido e na estação fria com apenas 15%;

Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

2º - Calcule o custo operacional com GLP sem a bateria coletora solar, mas com o mesmo boiler de acumulação de calor em 400 litros de água quente a 70°C;

3º - Calcule o balanço energético anual com a contribuição solar, mas considerando o custeio da circulação forçada diária do sistema solar. Considere custos em valor indexado a kWh de GLP e eletricidade para abstrair a moeda nacional e sua instabilidade;

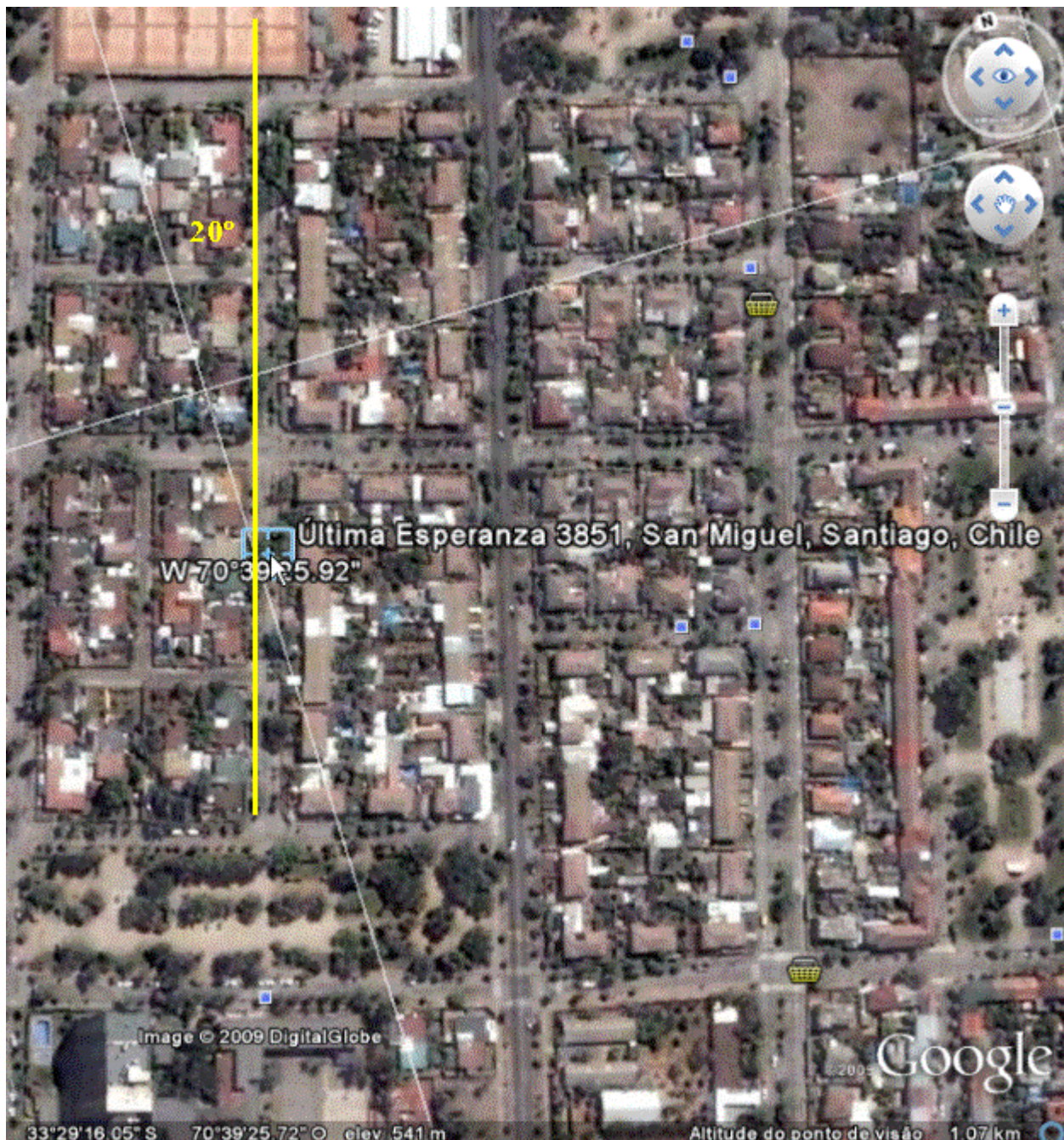
4º - Se referido sistema solar e sua instalação custou o equivalente a uma despesa de 12000 kWh de energia tarifada, estime seu pay-back em anos;

5º - Se a vida útil de referido sistema solar está projetada em 25 anos com valor residual de sucata, tendo um custo anual equivalente à despesa de 200 kWh em manutenção, ante a produção de calor média mensal e anual, calcule a taxa interna de retorno do equipamento ao longo da sua vida útil e reflita se foi ou não um bom negócio.

SEGUE A LOCALIZAÇÃO COM O DESVIO AZIMUTAL CALCULADO

Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil



Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

2º PROBLEMA PROPOSTO DE ENGENHARIA

Um Hotel localizado no centro urbano de Luanda, Angola tem uma reserva de 10 mil litros de água quente a 60°C, aquecidos com eletricidade, mediante um circuito duplo de duas resistências elétricas blindadas de 10000 W cada uma, mergulhadas num único tanque. Descontente o dono do Hotel contrata um profissional para reduzir a conta periódica de energia elétrica.

Dimensione uma bateria coletora solar, use o bom senso e a ferramenta que desejar, em seguida realize um balanço energético de custo médio mensal ao longo do ano, com a eletricidade dissipada no apoio elétrico existente e a circulação forçada do sistema solar que dimensionou.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CZAJKOWKI, J., Radiac 2/95 <http://czajkowski.iwarp.com/software.htm> acessado em Setembro de 2003.

CZAJKOWKI, J., RAD OPT 2.0/94 <http://czajkowski.iwarp.com/software.htm> Acessado em Setembro de 2003.

DUFFIE, J. A. BECKMAN, W. A. Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley, NY, 1991.

RADIASOL. Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Engenharia Mecânica, Brasil.
<http://www.mecanica.ufrgs.br/solar/#softwares>. Acessado em Agosto de 2003.

RÍSPOLI, Í. A. G., MARIOTONI, C. A. Irradiação Solar - Dimensionamento e Verificação - Recursos na Palma da Mão, Revista Científica Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184. Argentina 2007.

RÍSPOLI, Í. A. G., MARIOTONI, C. A. O Aquecedor Solar Brasileiro – Teoria e Prática em prol de uma Transferência de Tecnologia Sustentável; tese de doutorado defendida em 14 de abril de 2008 na faculdade de engenharia civil, arquitetura e urbanismo da universidade estadual de Campinas fec unicamp. A mesma é pública e seu texto completo pode ser adquirido após pequeno cadastro em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000440603>

Ítalo Alberto Gatica Ríspoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

NOTA FINAL E AGRADECIMENTOS

Os valores da irradiação solar calculados por HP 50 IRRADSOLAR V0.1 são ligeiramente diferentes, aos da fonte gratuita do software livre de CZAJKOWKI, Radiac2/95 e RAD OPT 2.0/94 visto que nestes últimos programas fora empregada 1353 W/m^2 como constante solar, e não 1367 W/m^2 , assim como a integração numérica realizada nos programas de CZAJKOWKI se deu em hora a hora ao passo que em HP 50 IRRADSOLAR V0.1 se deu de 15 em 15 minutos.

Agradeço ao Ilmo. Dr. CZAJKOWKI, que me concedeu os códigos fontes do software RADIAC2/95 com o intuito de ajudar a realizar na ocasião uma planilha eletrônica, aqui concretizada na portátil HP 50.

Meus agradecimentos ao amigo, empresário e acadêmico José Lorenzo Flores Cassuci que sempre acreditou nas minhas idéias e manifestou rica colaboração em parte dos experimentos da minha tese de doutorado, realizados nas dependências da Indústria A Atual Aquecedores Solares, na cidade de Mogi Guaçu, SP Brasil.

Ítalo Alberto Gatica Rísoli engenheiro civil Dr Msc.

italogatica@yahoo.com.br - Currículo: <http://lattes.cnpq.br/2915156517084082> - telefone (19) 9716-5312 Brasil

APÊNDICE I - ARTIGO PUBLICADO SOBRE O TEMA EM EPÍGRAFE

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* Radiac2 (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 Radiac2 (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.

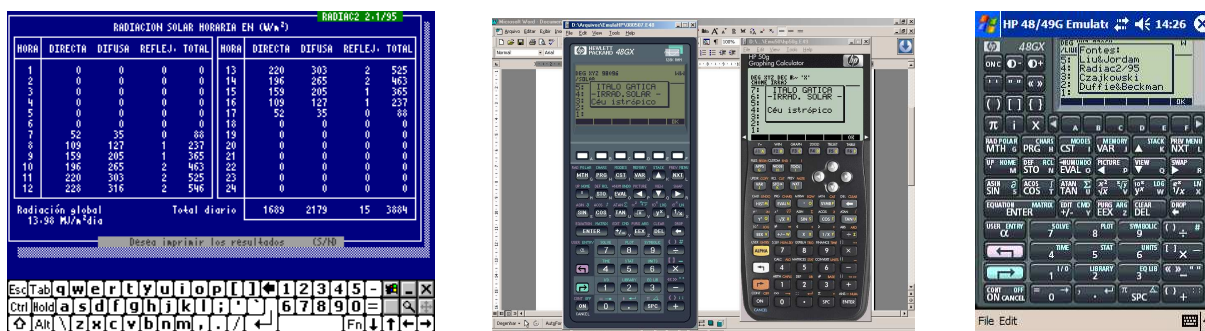


Figura 1. *Software* livre Radiac2.1/95 executado num *pocket* de mão, modelo IPAQ da HP e emulação das calculadoras HP em microcomputadores de mesa e *handhelds*.

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 Czajkowski (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 Radiasol céu anisotrópico	Calculado com Resultado de Radiasol
		[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 irradiancia 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 portatibilidade desses equipamentos, abreviando o tempo entre a coletânea 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, Nº 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 greater 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 appropriate 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.