

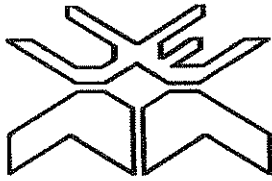


**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**TRABALHO DE LICENCIATURA**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR NA REGIÃO  
SUL DO SAVE**

**Víctor Flávio de Melo**  
**Maputo, Agosto de 2003**



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**TRABALHO DE LICENCIATURA**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR NA REGIÃO  
SUL DO SAVE**

**Supervisor**  
**dr. Manuel Chenene**

**Co-Supervisor**  
**Prof. Dr. Boaventura Cuamba**

**Agosto, 2003**

## Declaração

Declaro que este trabalho é da minha autoria e resulta da minha investigação. Esta é a primeira vez que o submeto para obter um grau académico numa instituição educacional.

Maputo, 29 de Agosto de 2003

Víctor Flávio de Melo

Víctor Flávio de Melo

## Aprovação do Júri

Este trabalho foi aprovado com \_\_\_\_ valores no dia \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2003 por nós membros do Júri examinador na Universidade Eduardo Mondlane.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## ÍNDICE

<b>Abreviaturas.....</b>	<b>v</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>vi</b>
<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação.....	1
1.2 Objectivos do Trabalho.....	2
<b>2. Resumo Teórico.....</b>	<b>3</b>
2.1 O Sol.....	3
2.2 Características da Radiação Solar.....	6
2.3 Geometria Sol-Terra.....	10
2.4 Radiação Solar Sobre a Superfície Terrestre.....	11
2.5 Radiação Extraterrestre.....	12
2.5.1 Absorção e Dispersão da Radiação Solar.....	13
2.5.2 Direcção da Radiação Directa.....	14
2.6 Tratamento Estatístico da Radiação.....	15
2.6.1 Os Modelos de Liu-Jordan, Collares-Perreira-Rabl e Erbs, Klein e Duffie.....	16
<b>3. Material e Métodos.....</b>	<b>20</b>
3.1 Dados Disponíveis.....	20
3.2. Metodologia.....	21
3.3.1 Determinação da Média Mensal da Radiação Solar Diária numa Superfície Horizontal com base na Radiação Total Diária Medida.....	22
3.3.2 Determinação da Média Mensal da Radiação Solar Diária numa Superfície Horizontal com base na Insolação Total Medida.....	22
3.4 Comportamento da Radiação Solar Directa.....	23
3.4.1 Determinação da Média Mensal da Radiação Solar Diária Directa com Base na Radiação Global e Difusa Medidas.....	23
3.4.2 Determinação da Radiação Total Directa com Base na Radiação Global.....	23
<b>4. Discussão dos Resultados.....</b>	<b>25</b>
<b>5. Conclusões.....</b>	<b>31</b>
<b>6. Recomendações.....</b>	<b>33</b>
<b>7. Referências Bibliográficas.....</b>	<b>34</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>35</b>

## Dedicatória

*À minha filha, Íris Andrea de Melo e à minha esposa Telma  
Luísa Alexandre, por todo o carinho e amor.*

## Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível graças ao apoio de todos aqueles que acreditaram na minha formação, bem como aqueles que me prestaram apoio moral e material para que este trabalho fosse levado a cabo. Endereço um grande e fraterno abraço de agradecimento:

- Ao meu Supervisor e Co-Supervisor dr. Manuel Chenene e Prof. Dr. Boaventura Chongo Cuamba, respectivamente pela valiosa contribuição didáctica e científica.
- À todos aqueles que foram meus docentes durante o curso
- Ao CTA do Departamento de Física, em especial a dona Rosa Nhambe, pela facilitação no acesso ao material bibliográfico durante o curso e durante a realização do trabalho de Licenciatura
- Aos meus ex colegas de curso dr. Enoque Malate, dr. Félix Tomo, dr. Nhanala, dr. Iacamurrima, e a todos outros colegas pela longa caminhada que juntos partilhamos e pelo apoio moral durante a realização do trabalho.
- Ao Sr. Daniel Quissico pelo grande apoio técnico e disponibilidade prestada.
- Ao INAM pela disponibilização do material necessário a realização do presente trabalho.
- Aos meus pais, minha madrasta, irmãos, primos e amigos que sempre estiveram do meu lado dando a necessária força nos momentos de fraqueza.
- À minha avó pela sua perseverança.
- À todos aqueles que directa ou indirectamente contribuíram na realização deste trabalho.

## Abreviaturas

AM	Massa de Ar
c	Velocidade da luz ( $300 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )
Chk	Chokwe
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
G <sub>sc</sub>	Constante Solar ( $1367 \text{ W} \cdot \text{m}^2$ )
GTEP	Giga TEP
H	Hidrogénio
H	Radiação Global Média
H <sub>0</sub>	Radiação Extraterrestre
H <sub>2</sub> O	Água
H <sub>b</sub>	Radiação Directa
H <sub>d</sub>	Radiação Difusa
He	Hélio
I'bane	Inhambane
INAM	Instituto Nacional de Meteorologia
J	Joule
k	Constante de Boltzman ( $1,38 \cdot 10^{23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ )
K	Kelvin
Km	Kilómetros
K <sub>t</sub>	Índice de Claridade
kWh	KiloWatt Hora
m	Massa do Electrão ( $9,10956 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$ )
m <sup>2</sup>	Metro Quadrado
Mnc	Maniquenique
Mpt	Maputo
N	Duração do Dia (máximo possível)
n	Insolação média
O <sub>3</sub>	Ozono
TEP	Tonelada Equivalente ao Petróleo

## Resumo

A energia radiante do sol é praticamente a única fonte de energia que influencia os movimentos atmosféricos e os vários processos na atmosfera e nas camadas superficiais da crosta terrestre. Esta energia, por ser uma importante variável meteorológica, merece atenção especial, não só por exercer considerável influência em todos os principais processos fisiológicos da vida animal e vegetal, como também o dimensionamento e planeamento de sistemas de aquecimento solares e outros.

Como as estações meteorológicas de superfície não dispõem de instrumentos apropriados para medir a radiação solar global, os pesquisadores obtiveram uma relação que estima seu valor o mais próximo possível do valor real. A variedade de métodos citados na literatura mostra opções de estimativas que são baseadas nas variáveis meteorológicas mais disponíveis nas estações meteorológicas.

A quantidade de estações que medem a radiação solar diária é muito pequena em Moçambique comparada com aquelas que medem o número de horas de insolação. Essa dificuldade é real, tanto para Moçambique bem como para outros países. Para o presente estudo usa-se o modelo de Angstrom que permite estimar o valor da radiação tendo como base a insolação e as constantes climáticas **a** e **b**, para o local em estudo.

O nosso País possui elevados índices de radiação em quase todo o território nacional e cuja média ultrapassa em larga medida a média de todo o mundo que é de 1 kWh/m<sup>2</sup> dia solar.

O comportamento da radiação global dos locais em estudo, apresenta-se com a forma de uma parábola, cujos valores decrescem de Janeiro a Junho, altura em que esta tem o seu valor mínimo, voltando a aumentar o seu valor até Dezembro. O valor máximo foi registado no mês de Janeiro e é de aproximadamente 6,50 kWh/m<sup>2</sup>, o mínimo foi registado no mês de Junho e é de aproximadamente 3,60 kWh/m<sup>2</sup>, e o valor médio anual é de aproximadamente 5 kWh/m<sup>2</sup>.

Por sua vez a radiação directa está representada por um gráfico que oscila ao longo do ano, apresentando valor máximo em Janeiro com aproximadamente 5,50 kWh/m<sup>2</sup>, o mínimo em Junho com aproximadamente 2,55 kWh/m<sup>2</sup> e valor médio anual de aproximadamente 4 kWh/m<sup>2</sup>. Quanto a radiação difusa, esta tem um comportamento diferenciado para cada uma das estações em estudo, apresentando um valor médio anual de aproximadamente 0,91 kWh/m<sup>2</sup>.



## 1. Introdução

### 1.1 Motivação

O aproveitamento da energia gerada pelo sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milénio. E quando se fala em energia, deve-se lembrar que o sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. Pode-se então afirmar que, as fontes de energia são, em última instância, derivadas da energia do sol.

É a partir da energia do sol que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas que possibilita o represamento e a consequente geração de electricidade (hidroelectricidade). A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando ventos. O petróleo, carvão e gás natural são gerados a partir de resíduos de plantas e animais que, originalmente, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento, da radiação solar.

Actualmente presencia-se um forte incremento na utilização da energia solar em Moçambique e no Mundo. Da mesma forma, aumentou a necessidade de se aproveitar, ao máximo possível e ao menor custo, o potencial deste recurso energético, tornando-o cada vez mais competitivo em um âmbito mais amplo de aplicações. Com isto, cresceu a complexidade e a importância do uso e do dimensionamento correcto dos equipamentos e dos sistemas fotovoltaicos.

Assim sendo, é importante conhecer a disponibilidade deste recurso energético da forma mais precisa possível. Antes de estudar o aproveitamento desta fonte de energia, é necessário saber de onde vem e quais as suas características, de modo a harmonizar da melhor forma possível a oferta de energia radiante proveniente do sol com a demanda de energia.

A quantidade e a distribuição da radiação, acopladas às características de conversão dos dispositivos fotovoltaicos, determinam a quantidade e a distribuição da energia transformada, disponível para a realização de trabalho.

O custo da energia produzida pelos geradores fotovoltaicos determina a viabilidade económica e o potencial de inserção desta tecnologia em uma estrutura energética mais ampla. Assim, o conhecimento do fenómeno *radiação solar* e de suas potencialidades é necessário como primeiro passo no processo de decisão de implantação da tecnologia fotovoltaica em um âmbito energético mais amplo.

Moçambique está situado entre os paralelos 10° e 26° Sul e possui um enorme recurso de energia solar, porém, um dos principais estrangimentos para a exploração deste recurso é o facto de o comportamento do mesmo nunca ter sido estudado.

O INAM tem vindo a efectuar a medição da radiação em Moçambique desde 1940. Presentemente existem em todo o país 11 estações que efectuam o registo da radiação global, das quais 6 também efectuam o registo da radiação difusa, adicionalmente existem 80 estações que efectuam o registo das horas de insolação. Entretanto, esta informação nunca foi usada para caracterizar o comportamento da radiação no país.

### **1.2 Objectivos do Trabalho**

Estudo do comportamento da radiação solar na região sul do rio Save (Changalane, Chokwé, Inhambane, Maniquenique, Maputo e Xai-Xai), tomando em consideração as diversas componentes da radiação (Global, Difusa e Directa) para um período de 30 anos (1970-2000).

A finalidade do trabalho é a criação de dados preliminares, apartir dos quais, trabalhos de avaliação do eventual potencial de tecnologias de energia solar podem ser baseados. Outro resultado esperado é a sua aplicação não só para os propósitos de energia, mas também para outras aplicações como a climatologia e a agricultura.

## 2. Resumo Teórico

### 2.1 O Sol

As estrelas emitem um espectro contínuo de radiação electromagnética, através do qual são classificadas. Estes são próximos aos espectros emitidos por um corpo negro a uma determinada temperatura [4].

O sol é uma estrela de tamanho médio cuja distância em relação à terra varia devido à excentricidade da órbita terrestre. Define-se uma grandeza denominada de unidade astronómica,  $ua=1,496*10^8$  Km, como sendo a distância média entre a terra e o sol. Algumas propriedades básicas do sol estão ilustradas na Tabela 1, estas características são típicas e representativas da maioria das estrelas da via láctea.

Com a análise do espectro solar, determina-se a temperatura superficial e sua composição química. Sabe-se portanto que a sua temperatura superficial se aproxima à de um corpo negro em equilíbrio termodinâmico a aproximadamente 6000 K.

O diâmetro solar é de 1.390.000 Km, 108 vezes maior que o da Terra (12.756 Km). Em relação ao volume, o sol é 1.300.000 vezes mais volumoso que a Terra. A sua composição química básica é de 85% de hidrogénio, 14,8% de Hélio e 0,2% de outros elementos [4].

A fonte de energia das estrelas permaneceu um enigma durante muito tempo. Embora várias hipóteses tenham sido formuladas, nenhuma conseguia explicar de forma satisfatória como elas eram capazes de libertar tanta energia durante tanto tempo. Hoje em dia é aceite a hipótese de que esta energia provém da fusão de núcleos do isótopo mais comum de hidrogénio ( $H^1$ ) em um núcleo do isótopo de Hélio ( $He^4$ ). Ocorre portanto a transformação de quatro protões em uma partícula, constituída por dois protões e dois neutrões. A massa da partícula é menor que a dos quatro, protões e a energia correspondente a esta diferença de massa é dada pela equação:  $\Delta E=m*c^2$ .

**Tabela 1.** Algumas Características do Sol [4]

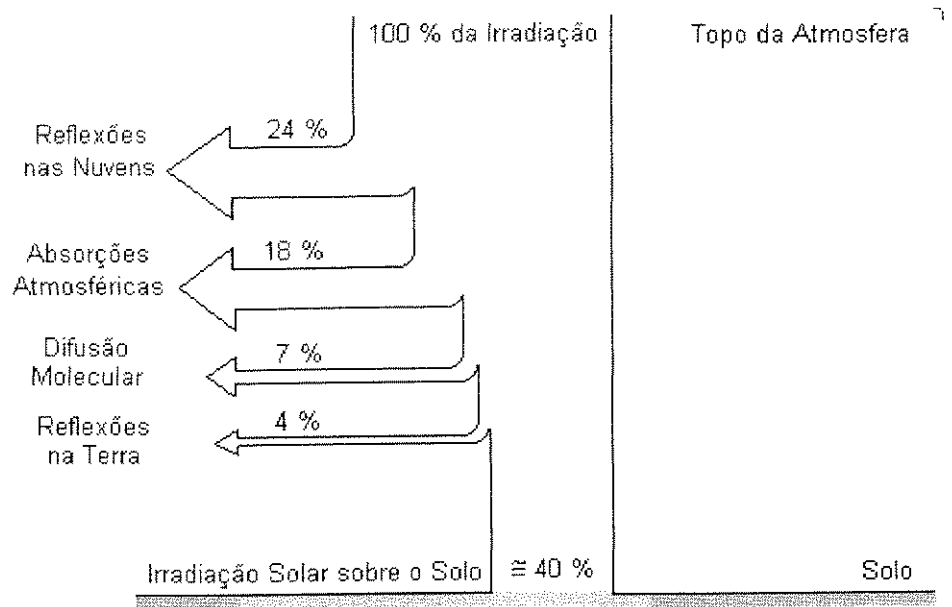
Propriedades	Valor
Massa	$1,99 \times 10^{33}$ g
Temperatura Efectiva	5770 K
Luminosidade	$3,82 \times 10^{33}$ erg/s
Raio	$6,96 \times 10^{10}$ cm
Tipo Espectral	G2 V
Idade	$4,5 \times 10^9$ anos
Magnitude Visual Aparente	-26,74
Magnitude Visual Absoluta	+4,83
Magnt. Bolométrica Aparente	-26,82
Magnt. Bolométrica Absoluta	+4,76
Densidade Central	$160 \text{ g/cm}^3$
Densidade Média	$1,41 \text{ g/cm}^3$
Temperatura Central	$1,5 \times 10^7$ K

O sol fornece anualmente para a atmosfera terrestre cerca de  $5,51 \times 10^{24}$  J, isto é,  $1,53 \times 10^{18}$  kWh por ano. Esta é uma quantidade significativa de energia. Para dar uma ideia da magnitude deste valor, toda a energia primária consumida no planeta, ao longo do ano de 1993 foi de 7,80 GTEP, ou seja,  $9,06 \times 10^{14}$  kWh, cerca de 0,059% deste valor<sup>1</sup>.

Considerando a eficiência na transformação da energia primária, esta cifra reduz-se a  $3,49 \times 10^{14}$  kWh. Para estimarmos a disponibilidade de radiação solar, pelo menos de forma aproximada, devemos considerar, nestes cálculos, a fracção da energia total incidente na atmosfera que chega à superfície terrestre e que esteja disponível para o aproveitamento energético. Em outras palavras, uma boa parte da energia solar incidente na terra é utilizada na manutenção dos processos naturais, ou seja, na promoção da vida na terra. O diagrama da Figura 1 ilustra a repartição do fluxo energético enviado pelo sol.

<sup>1</sup> A classificação espectral das estrelas é feita a partir da análise do espectro por eles emitido. Utilizam-se como critério as suas respectivas temperaturas superficiais, tomadas em ordem decrescente [4].

Uma grande parte da energia solar incidente é armazenada na forma de calor na superfície da terra. Cerca de 47% desta é absorvida pelos oceanos e continentes, sendo 38% pelos primeiros e 9% pelos últimos [4].



**Figura 1.** Fração da radiação solar que incide na superfície terrestre [4]

Existem ainda, diferenças significativas entre as formas convencionais e a fotovoltaica de gerar electricidade. Para a geração termoelétrica, utiliza-se algum tipo de combustível fóssil ou nuclear que, no caso da não existência de reservas naturais próprias, causa dependência externa, sujeita a variações na política e economia do país. Além disso, é necessário considerar que o processo de produção de termoelectricidade, é um processo poluidor do meio ambiente e que as reservas dos combustíveis fósseis são finitas, aumentando os custos de extração e exploração à medida que as reservas diminuem.

No caso da geração da hidroelectricidade, é necessário o alagamento de áreas com grandes proporções. Por serem próximas de rios, essas áreas geralmente são valorizadas, produtivas e, em muitos casos habitadas. Estes reservatórios causam ainda impactos ambientais de grandes proporções que, em via de regra, não são considerados de forma apropriada nos custos da barragem ou da energia gerada. Para a construção civil, é necessário um imenso volume de capital, nem sempre disponível. A distância entre a geração e o consumo estabelece a necessidade da construção de linhas de transmissão implicando mais custos, perdas e possíveis danos ao meio ambiente.

A energia eléctrica fotogerada é renovável, não polui o meio ambiente e pode ser gerada próxima do centro consumidor evitando as perdas por transmissão. A tecnologia fotovoltaica, devido à sua característica modular, pode gerar a electricidade de forma descentralizada, diminuindo eventuais impactos ambientais devido à presença dos módulos. Esta característica permite que os custos de instalação sejam menores e que a capacidade instalada aumente conforme aumenta a demanda.

## 2.2 Características da Radiação Solar

A radiação emitida pelo sol pode ser aproximadamente representada pela função de distribuição de Plank, dada pela expressão 1. Esta função fornece a quantidade de radiação que um corpo negro, a temperatura T, emite em cada comprimento de onda  $\lambda$ .

$$B_{\lambda}(T) = \frac{a}{\lambda^5 (e^{\frac{b}{\lambda T}} - 1)} \quad (1)$$

onde  $B_{\lambda}(T)$  é a emissividade espectral de um corpo negro à temperatura T. As constantes  $a$  e  $b$  podem ser determinadas através das expressões 2a e 2b:

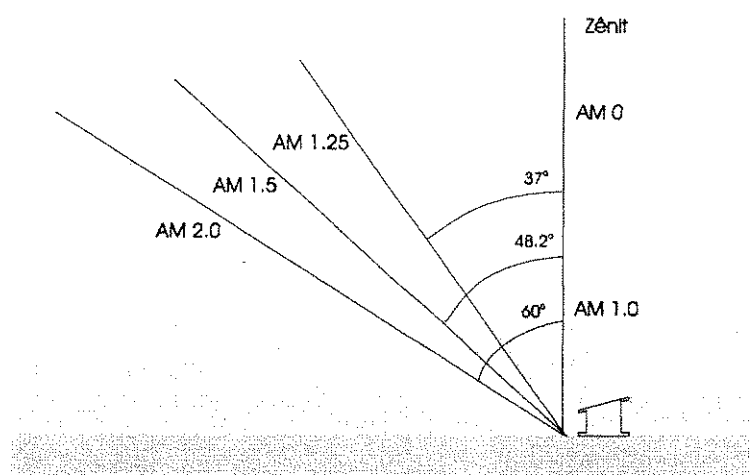
$$a = 2\pi h c^2 \quad (2a)$$

$$b = \frac{h.c}{k} \quad (2b)$$

onde  $h$  é a constante de Plank,  $h=1.05 \times 10^{-34}$  J.s; “c” é a velocidade da luz;  $c=300.000$  Km/s e  $k$  é a constante de Boltzman;  $k=1,38 \times 10^{-23}$  J.K<sup>-1</sup>.

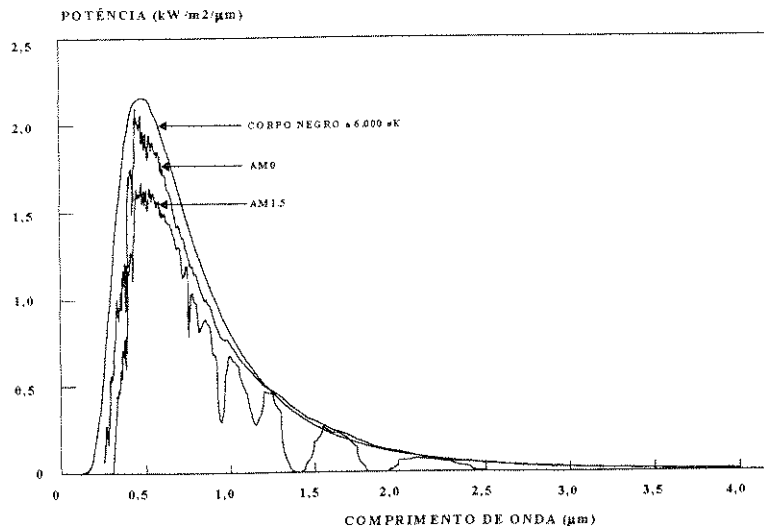
A massa de ar, AM, é definida como sendo o caminho percorrido pela radiação solar desde a sua incidência na atmosfera até atingir a superfície terrestre (figura 2). Matematicamente, a massa de ar é definida da seguinte forma:  $AM = \frac{1}{\cos \theta}$ , onde  $\theta$  é a distância angular entre o feixe solar e a vertical no local de incidência [4].

Quando o sol está no zénite do local, o caminho óptico percorrido pela radiação dentro da atmosfera terrestre é igual a 1, ou seja AM 1,0. AM igual a 1,0 não é sinónimo de meio dia terrestre, pois o sol, ao meio dia, não está necessariamente no zénite local. A medida que cresce o ângulo entre o feixe solar e a vertical local (ângulo zenital  $-\theta_z$ ), aumenta a massa de ar. Isto ocorre aproximadamente com a secante de  $\theta_z$ , deste modo, ao atingir aproximadamente  $48^\circ$ , a massa de ar é de 1,5 e com  $\theta_z=60^\circ$  a massa de ar chega a 2,0, Figura 2.



**Figura 2.** Massa de ar que um feixe de radiação atravessa ao incidir na superfície terrestre com um ângulo  $\theta_z$  [4]

A distribuição espectral da radiação solar extraterrestre possui um formato somente aproximado ao de um corpo negro. Isto decorre do facto de o sol não estar em estado de equilíbrio, nem radioactivo, nem termodinâmico. Ao entrar na atmosfera terrestre, a radiação solar, e seu espectro, sofrem algumas modificações devido a espalhamentos sucessivos das partículas em suspensão e absorções em determinados comprimentos de onda específicos por elementos presentes na atmosfera, tais como  $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $O_2$  e  $CO_2$ . Essas atenuações sofridas dependem da massa de ar que a radiação atravessa. A Figura 3 mostra comparativamente, os espectros de emissão de um corpo negro à 6000 K, espectro solar extraterrestre, AM 0, e espectro na superfície terrestre, com AM 1,5.



**Figura 3:** Comparação entre o espectro solar fora da atmosfera, AM 0 e na superfície terrestre AM 1,5 com o espectro de emissão de um corpo negro a 6000 K [4]

A radiação emitida pelo sol cobre comprimentos de onda, desde 100 nm (0,1 μm) até cerca de 8000 nm (8 μm) sendo que seu comprimento de onda característico (comprimento de onda de maior intensidade emissiva) é de 550 nm (0,55 μm) correspondente a cor verde.

Pode-se considerar que a radiação electromagnética é constituída por pacotes de energia denominados fótons. A energia associada a cada fóton pode ser relacionada com a frequência, ν ou com o comprimento de onda da radiação, λ através da seguinte expressão:

$$E(\lambda \text{ ou } \nu) = h\nu \frac{c}{\lambda} \tag{3}$$

Podemos então, caracterizar o espectro solar pelas energias de seus fótons. Os fótons mais energéticos do espectro solar possuem cerca de 12,4 eV (0,1 μm), enquanto que o pico de emissão está nos fótons com energia de 2,48 eV (0,5 μm).

O sol emite a radiação electromagnética em todas as direcções, isotropicamente. Isto faz com que a intensidade da radiação solar diminua quadraticamente com o aumento da distância Terra-Sol. Devido a excentricidade da órbita terrestre, a distância Terra-Sol varia cerca de 1,7%.



A *constante solar* [3]  $G_{sc}$ , é definida como sendo o fluxo radiante que incide em uma superfície unitária, perpendicularmente ao feixe da radiação solar, a uma distância média entre a Terra e o Sol. Numerosas revisões dos dados e novas técnicas para as medições, como a utilização de balões e satélites, fizeram com que o valor da constante fosse sendo actualizado até chegar ao valor que é usado neste trabalho:

$$G_{sc}=1367 \text{ W/m}^2 \quad (4)$$

A radiação solar, ao atingir a camada de separação entre dois meios com índices de refração distintos, os quais neste caso são o espaço interestrelar e a atmosfera terrestre, sofre modificações em sua trajetória, modificações estas que podem ser determinadas a partir das leis de reflexão de Snell.

Ao atravessar a atmosfera, a composição espectral da radiação varia de acordo com as características da atmosfera local. Portanto, a radiação que chega na superfície terrestre e consequentemente a energia disponível, varia segundo a posição no globo que a radiação incide e as características geográficas e meteorológicas locais. Esta última é aleatória e imprevisível. Para contornar este problema utiliza-se modelos teórico-estatísticos que estimam a interferência da atmosfera na radiação disponível a partir de longas séries históricas de medidas.

Uma fracção da radiação solar que atinge a atmosfera é reflectida de volta ao espaço interestrelar. Uma parte da radiação que entra na atmosfera é absorvida pelos elementos que a constituem, outra é espalhada pelas partículas em suspensão (radiação difusa). A fracção da radiação que não foi reflectida, absorvida ou espalhada pela atmosfera, atinge o solo terrestre (radiação directa), podendo ser absorvida ou reflectida (albedo), vide figura 4.

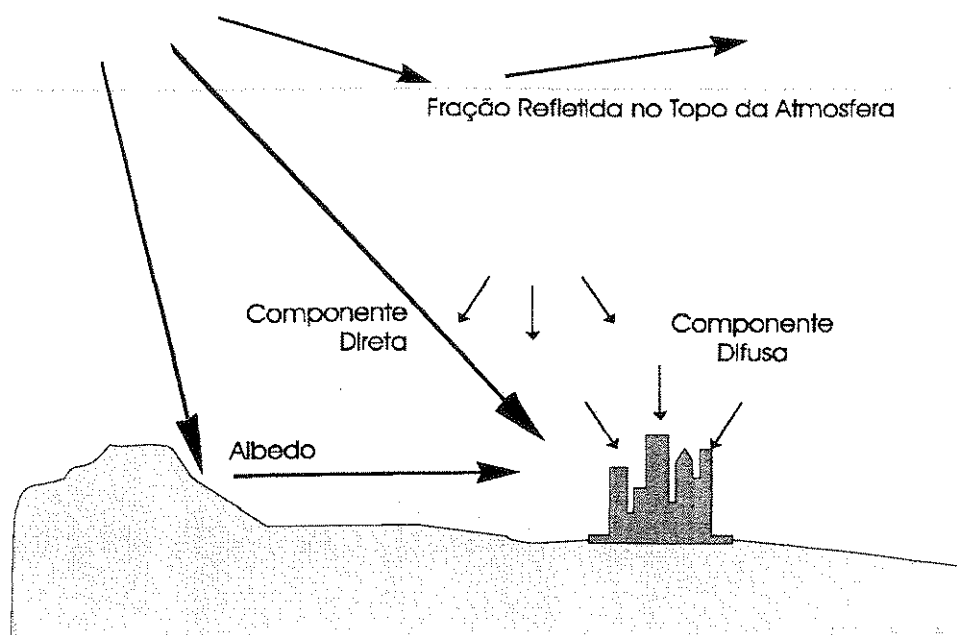


Figura 4: Componentes da radiação solar incidente na superfície terrestre [4]

### 2.3 Geometria Sol-Terra

A terra realiza um *movimento de translação* sobre uma órbita pouco excêntrica em torno do sol em um período denominado de ano. Ao mesmo tempo, realiza um *movimento de rotação* em torno do seu eixo, de forma a completar uma volta em um período definido de dia. Ao realizar o movimento de *translação* determina-se um plano denominado de *plano da eclíptica*. O eixo em torno do qual é realizado o movimento de rotação possui uma inclinação fixa no espaço que forma um ângulo de  $23,45^\circ$  em relação à perpendicular ao plano da eclíptica, ver Figura 5a [3]

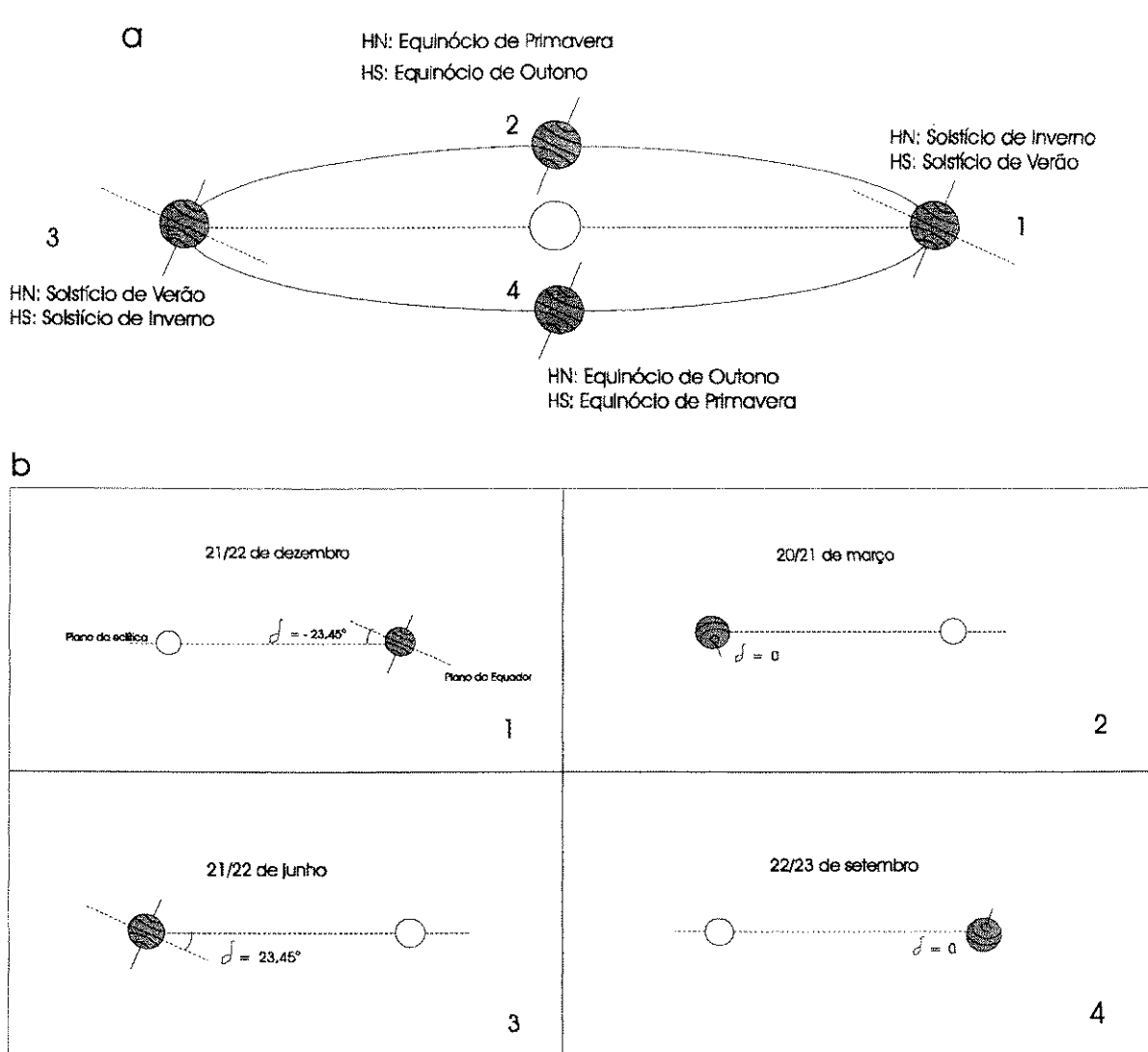
O ângulo compreendido entre o plano determinado pelo equador terrestre e o plano de eclíptica, denominado de *declinação*,  $\delta$ , varia constantemente ao longo do ano, entre os valores  $-23,45^\circ < \delta < +23,45^\circ$ , figura 5b. Seu valor pode ser determinado através da equação 5:

$$\delta(^{\circ}) = 23,45 \times \text{sen}\left(\frac{360 * (284 + d_n)}{365}\right) \quad (5)$$

onde  $d_n$  é o dia Juliano<sup>2</sup> do ano,  $1 < d_n < 365$

<sup>2</sup> Dia Juliano é o dia do ano contado a partir do primeiro dia de Janeiro, dia juliano número 1, até o dia trinta e um de Dezembro, dia juliano 365.

A declinação é um ângulo que, na prática varia constantemente mas, para efeito dos cálculos efectuados, pode ser considerada constante ao longo de cada dia do ano. Esta aproximação não é grosseira, visto que a variação angular em um período de 24 horas não passa de 0,5°.



**Figura 5:** a) Visualização da declinação no sistema orbital Terra-Sol;  
 b) Apresentação esquemática da variação da declinação em cada época do ano [4]

## 2.4 Radiação Solar Sobre a Superfície Terrestre

A radiação solar que incide na superfície terrestre possui uma natureza intrinsecamente variável no tempo. Além das flutuações devido a actividade solar, que não são muito expressivas, existem as variações ocorridas devido ao ciclo diário dos dias e das noites.

Ocorrem também variações devido ao ciclo anual das estações, variações sazonais. Por último, existem alterações na radiação incidente, devido ao carácter aleatório do estado da atmosfera, pois a nebulosidade, as partículas e a poluição não são variáveis facilmente previsíveis.

As flutuações ocorridas devido aos dias e noites ou à sazonalidade são, de certa forma, equacionáveis. Mas as variações na intensidade da radiação incidente na superfície terrestre ocorridas devido ao estado intrinsecamente aleatório da atmosfera só podem ser tratadas estatisticamente.

Como, na realidade, não é possível fazer medições durante longo período de tempo em todas as localidades que são o objecto deste trabalho, será usado o modelo matemático desenvolvido por Angstrom, com o intuito de, com os dados disponíveis, determinar a radiação solar em qualquer local que se queira.

A despeito da gama de modelos existentes hoje em dia, foi escolhido o modelo acima referenciado, pois o mesmo reúne simplicidade e precisão suficiente para satisfazer as necessidades da aplicação a que se propõe estudar.

## 2.5 Radiação Extraterrestre

As variações na radiação total emitida pelo sol são inferiores a 1,5%. Pode-se dizer, com razoável precisão, que a radiação incidente no topo da atmosfera depende apenas da distância entre o Sol e a Terra [7], que pode ser aproximada por:

$$R = R_0 \left[ 1 - 0,0167 \cos \left( \frac{360d_n}{365} \right) \right] \quad (6)$$

onde  $R_0 = 1,495 \times 10^8$  Km e  $d_n$  o dia juliano.

Define-se como radiação extraterrestre a média diária,  $G_{0,d}$ , como sendo o fluxo de radiação incidente em uma superfície unitária, disposta perpendicularmente ao feixe, localizada no topo da atmosfera terrestre à distância de 1 u.a. do sol, em um determinado dia. Para estabelecer o seu valor, utiliza-se a “constante solar”,  $G_{sc}$ , e o dia do ano.

Sabe-se ainda que a radiação sobre uma superfície normal à direcção dos raios solares varia inversamente com o quadrado da distância entre a superfície e o sol. Para um dia qualquer do ano,  $d_n$ , a radiação fora da atmosfera pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$G_{0,d_n} = G_{sc} \left[ 1 + 0,0167 \cos\left(\frac{360d_n}{365}\right) \right]^2 x \cos \theta_z \quad (7)$$

ao desprezar os termos de segunda ordem encontramos:

$$G_{0,d_n} = G_{sc} \left[ 1 + 0,033 \cos\left(\frac{360d_n}{365}\right) \right] x (\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \text{sen} \phi \text{sen} \delta) \quad (8)$$

onde  $G_{0,d_n}$  é a radiação no plano horizontal incidente no dia  $d_n$  no topo da atmosfera,  $G_{sc}$  é a constante solar e  $\theta_z$  o ângulo zenital, definido mais adiante.

### 2.5.1 Absorção e Dispersão da Radiação Solar

A radiação proveniente do sol, ao atravessar a atmosfera, é submetida à acção de seus componentes. A radiação solar, em decorrência da interferência da atmosfera, em parte é absorvida (acção do ozono, oxigénio, vapor de água e etc) e em parte dispersa (através da acção de moléculas dos elementos químicos presentes, gotas de água, poeira em suspensão, etc). Com isto, a radiação global que atinge um plano localizado na superfície terrestre pode ser decomposta em basicamente duas componentes e numa terceira, em geral, de menor expressividade, 1) *a componente directa* e 2) *a componente difusa*. A primeira é constituída pelo feixe que sai do sol e atinge directamente a superfície terrestre. A segunda é a radiação proveniente de todo o céu, é constituída pela radiação solar que é dispersada pelos elementos da atmosfera. A terceira é constituída pela parcela de radiação que é reflectida ao atingir o solo, denominada de *radiação de albedo*. Esta componente em geral não é significativa nas aplicações de interesse deste trabalho, mas em aplicações onde o ângulo de inclinação dos módulos aproxima-se de  $90^\circ$  como nas barreiras de som em rodovias, fachadas de edifícios pode representar uma parcela significativa da radiação incidente [4].

Da mesma forma, regiões de latitudes expressivas, onde há neve em abundância, os índices de reflectividade variam entre 0,70 e 0,80, podendo chegar a 0,98, fazendo com que o albedo torne-se relevante (solos em geral apresentam uma reflectividade entre 0,20 e 0,25, podendo chegar a 0,35 para o concreto descolorido).

A figura 4 mostra, de forma esquemática, a decomposição da radiação solar pela atmosfera terrestre.

### 2.5.2 Direcção da Radiação Directa

A posição relativa entre um plano qualquer situado na superfície da terra e o sol é determinada em função de uma série de ângulos [3].

A *latitude*,  $\phi$ , é a distância angular medida sobre a superfície da terra a partir do equador até o ponto em questão. É considerada positiva no Hemisfério norte e negativa no Hemisfério sul.

$-90^\circ < \phi < +90^\circ$ . A *declinação*,  $\delta$ , é a posição angular do sol, ao meio dia, em relação ao plano do equador. Quando se trata do hemisfério norte, a declinação é positiva, caso contrário, é negativa.  $-23,45^\circ < \delta < +23,45^\circ$ .

A *inclinação*,  $\beta$ , de uma superfície é o ângulo entre o plano da superfície em questão e a horizontal do local.  $0 < \beta < 180^\circ$

O *ângulo azimutal*,  $\gamma$ , é a distância angular entre a projecção da normal ao plano na horizontal e o meridiano local.  $\gamma$  é igual a zero quando a superfície está voltada para o sul, negativa para leste e positiva para oeste.  $-180^\circ < \gamma < +180^\circ$

O *ângulo de incidência*,  $\theta$ , é o ângulo entre o feixe da radiação directa que incide no plano e a recta normal ao mesmo.

O *ângulo zenital*,  $\theta_z$ , é o ângulo entre o feixe de radiação e a vertical do local.  $\theta_z$  coincide com  $\theta$  quando o plano está na horizontal.

O *ângulo horário*,  $\omega$ , é a distância angular entre o feixe solar e o meridiano local.  $\omega$  é considerado negativo no período da manhã (Sol antes do meridiano local), e positivo no período da tarde. Cada hora do dia corresponde a uma variação de  $15^\circ$  em  $\omega$ .

A *altura solar*,  $h$ , é o ângulo entre a radiação directa e o plano horizontal  $90 - \theta_z$ .

Para determinar o *ângulo de incidência* da radiação directa em uma superfície qualquer,  $\theta$ , pode-se utilizar a expressão 9:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \operatorname{sen} \delta \operatorname{sen} \phi \cos \beta - \operatorname{sen} \delta \cos \phi \operatorname{sen} \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \operatorname{sen} \phi \operatorname{sen} \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \cos \beta \operatorname{sen} \gamma \operatorname{sen} \omega \end{aligned} \quad (9)$$

Para calcular  $\theta_z$ , basta fazer a inclinação  $\beta$  do plano igual a zero, neste caso,  $\theta = \theta_z$ . Assim, chegamos à seguinte expressão:

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \operatorname{sen} \delta \operatorname{sen} \phi \quad (10)$$

Em alguns casos, é importante conhecer o *ângulo horário* do pôr do sol ou nascer do sol,  $\omega_s$ . Para tal utiliza-se a seguinte expressão para, no caso do nascer do sol:

$$\omega_s = -\ar \cos(-\operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} \phi) \quad (11)$$

O *ângulo horário* de saída do sol sobre uma superfície com inclinação de  $\beta$  graus com a horizontal,  $\omega_{s,\beta}$ , pode ser encontrada através da seguinte expressão:

$$\omega_{s,\beta} = -\arccos(-\operatorname{tg} \delta \operatorname{tg}(\phi - \beta)) \quad (12)$$

O número de horas que o sol ficará acima do horizonte da superfície em questão,  $N$ , ou seja, o comprimento em horas do dia é dado pela seguinte fórmula:

$$N = \frac{2}{15} \arccos(\omega_s) \quad (13)$$

## 2.6 Tratamento Estatístico da Radiação

Na secção anterior foi discutido como se determina o valor da radiação que chega ao topo da atmosfera e de que modo ela se decompõe em radiação directa e difusa. A atenuação e dispersão atmosféricas dependem de parâmetros aleatórios justificando a utilização de procedimentos estatísticos para sua caracterização.

O objectivo deste trabalho, é estudar o comportamento da incidência da radiação solar na superfície terrestre sob o ponto de vista estatístico e estabelecer as bases para determinar o valor médio e a função de distribuição da radiação solar incidente sobre um superfície inclinada, para qualquer mês do ano.

### 2.6.1 Modelos de Liu-Jordan, Collares-Perreira-Rabl e Erbs, Klein e Duffie

O primeiro modelo desenvolvido para o cálculo da radiação solar, foi proposto por Liu e Jordan [3]. Posteriormente, foi corrigido em sua quantificação por Collares-Pereira e Rabl ao encontrar experimentalmente algumas divergências devido à calibração dos instrumentos.

O modelo corrigido, estabelece correlações que permitem deduzir magnitudes tais como as componentes directa e difusa da radiação. Além disso, possibilita determinar a função de distribuição do *índice de claridade*,  $k_t$ .

As correlações propostas estão baseadas em medidas simultâneas da radiação global, directa e difusa, de alguns observatórios norte americanos.

Em primeiro lugar, calcula-se a radiação extraterrestre horizontal diária através da integração da equação (8).

A radiação horizontal incidente no topo da atmosfera é integrada, multiplicada pelo coseno de ângulo zenital, desde o nascer até o pôr do sol.

$$H_0 = 2 * \int_0^{\frac{24}{\pi} \omega_s} G_{0,dn} \cos \theta_z dt \quad (14)$$

Dado  $t$  (horas) =  $(12/\pi) \omega$  (radianos) e a partir da expressão para o cálculo do coseno de  $\theta_z$ , (10), chega-se ao seguinte resultado para a integral (14)

$$H_0 = \frac{24 * 3600 G_{sc}}{\pi} \left[ 1 + 0,033 \cos \left( \frac{360 d_n}{365} \right) \right] x \left[ \cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (15)$$

que determina a quantidade de energia incidente em uma superfície unitária horizontal situada no topo da atmosfera. A expressão (15) fornece o resultado em MJ/m<sup>2</sup> caso  $G_{sc}$  seja dado em W/m<sup>2</sup>.



Caso seja necessário obter o resultado em kWh/m<sup>2</sup>, basta dividir o resultado obtido (em MJ/m<sup>2</sup>) por 3,6.

Através de medidas experimentais, feitas por instrumentos apropriados, obtém-se dados da radiação diária média que incide no plano horizontal na superfície terrestre,  $H$ . O índice de claridade atmosférica,  $k_t$  é definido como sendo a relação entre a radiação incidente na superfície terrestre,  $H$ , e a radiação no topo da atmosfera,  $H_0$ , equação (15).

Podemos assim, quantificar a interferência que a radiação solar sofre ao passar pela atmosfera. Matematicamente,  $k_t$  é definido pela seguinte expressão:

$$k_t = \frac{H}{H_0} \quad (16)$$

A radiação difusa presente no céu local, pode ser obtida apartir do estabelecimento do *factor de radiação difusa ou proporção de difusa*,  $k_d$ , mediante a expressão:

$$H_d = k_d \cdot H \quad (17)$$

Collares-Pereira e Rabl [3] propuseram uma relação algébrica, equação (18), entre as médias diárias de  $k_d$  e  $k_t$ , desenvolvida apartir da análise de séries de dados experimentais.

Esta relação, mostrada graficamente na figura 6, corresponde à uma das expressões que correlaciona  $k_d$  com  $k_t$ , na tentativa de estimar a contribuição da componente difusa na radiação global incidente.

Para  $k_t < 0,17$

$$\frac{H_d}{H} = 0,99 \quad (18)$$

Para  $0,17 < k_t < 0,75$

$$\frac{H_d}{H} = 1,188 - 2,272 \cdot k_t + 9,473 \cdot k_t^2 - 21,865 \cdot k_t^3 + 14,648 \cdot k_t^4$$

Para  $0,75 < k_t < 0,8$

$$\frac{H_d}{H} = -0,54.k_t + 0,632$$

Para  $k_t > 0,80$

$$\frac{H_d}{H} = 0,2$$

Uma outra tentativa de modelar a relação entre a claridade atmosférica e a contribuição difusa, ou seja, determinar a expressão que correlaciona  $k_d$  com  $k_t$ , desenvolvida por Erbs, Klein e Duffie [3].

Neste modelo, foram introduzidas algumas modificações que consideram a interferência do efeito sazonal anual. As expressões encontradas, equações 19 e 20, neste modelo estão apresentadas a seguir:

$$\text{Para } \underline{\omega_s} < 81,4^\circ \quad (19)$$

Para  $k_t < 0,715$

$$K_d = 1,0000 + 0,2727k_t + 2,4495k_t^2 - 11,9514k_t^3 + 9,3879k_t^4$$

Para  $k_t > 0,715$

$$K_d = 0,143$$

$$\text{Para } \underline{\omega_s} > 81,4^\circ \quad (20)$$

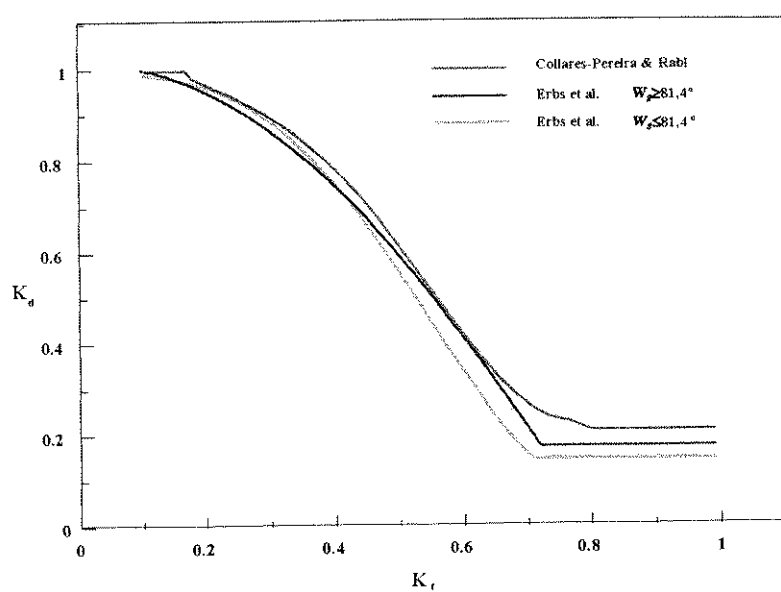
Para  $k_t < 0,722$

$$k_d = 1,0000 + 0,2832k_t - 2,5557k_t^2 + 0,8448k_t^3$$

Para  $k_t > 0,722$

$$K_d = 0,175$$

$k_d$  pode ser obtido também, aproximadamente, a partir de  $k_t$  através da figura 6, determinada a partir das expressões algébricas obtidas pelas expressões 18, 19 e 20 dos modelos apresentados [3].



**Figura 6:** Representação gráfica da variação dos valores diários de  $k_d$  em função de  $k_t$ , segundo os modelos propostos por Collares-Pereira e Rabl e Erbs, Klein e Duffie. [4]

O modelo de Angstrom, é usado para a determinação da radiação nos locais que são o objecto deste estudo. Os valores obtidos com base neste modelo, são comparados com os dados experimentais medidos em 6 estações meteorológicas do INAM na região sul do Save, a fim de verificar a aplicabilidade do mesmo na determinação da radiação.

### 3. Material e Métodos

#### 3.1 Dados Disponíveis

De maneira geral, não existem dados adequados para que se possa fazer uma completa avaliação dos recursos solares disponíveis. A elaboração de uma completa base de dados solarimétricos necessita de estações de medição bem distribuídas espacialmente, dotadas de instrumentos regularmente calibrados, tomando dados durante longos períodos de tempo, pelo menos 20 anos. Só assim, é possível saber a radiação incidente, desconsideradas as variações devido a anos atípicos e criar um mapa solarimétrico para a região, utilizando modelos para intercalar as medições feitas em cada estação.

Mapas solarimétricos precisos são muito difíceis de conseguir. As principais dificuldades encontradas são a falta de séries de medidas suficientemente longas, dados pouco fiáveis e a falta de uma distribuição uniforme das estações de medição.

Em geral, os dados da radiação disponíveis em Moçambique e em muitos países do Mundo, foram medidos com heliógrafos, instrumento que estima a insolação diária, número de horas do dia em que a radiação é maior que um valor predeterminado. Ångström propôs um método, posteriormente modificado por Page [3], para estimar a radiação média incidente, a partir de séries de medidas da insolação (equação 21).

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a + b \left( \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \right) \quad (21)$$

onde  $n$  é o número de horas em que o sol efectivamente brilhou durante um certo dia, medido experimentalmente com um heliógrafo;  $N$  é o comprimento total do dia, ou número de horas em que o sol esteve acima do horizonte no determinado dia; este número pode ser determinado pela equação (13); onde 'a' e 'b', são coeficientes que dependem das condições climáticas do local.

Estes coeficientes estão tabelados para uma série de locais com diferentes latitudes e variados tipos de clima e vegetação (Tabela 2).

Quando os valores de 'a' e 'b' não são determinados para a região de interesse, é necessário estimá-los através dos dados de regiões com características semelhantes, cujos valores de 'a' e 'b' são conhecidos.

**Tabela 2:** Constantes Climáticas [2]

<b>Tipo de Clima/Constantes</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
A <sub>w</sub>	0.42	0.22
BS <sub>w</sub>	0.41	0.37
BW <sub>w</sub>	0.30	0.43
C <sub>w</sub>	0.17	0.63

### 3.2. Metodologia

O desenvolvimento do trabalho segue o seguinte processo metodológico:

- Pesquisa bibliográfica para apresentação dos conceitos
- Resumo da teoria envolvida na estimativa da radiação solar e nas formas de medi-la.
- Recolha das tabelas de registo da radiação e insolação das 6 estações do sul do Save efectuados pelo INAM.
- Estudo do comportamento da Radiação Solar Global com base no modelo de Angstrom
- Estudo do comportamento da Radiação Solar Directa com base na correlação entre o factor de radiação difusa  $k_d$  e o índice de claridade atmosférica  $k_t$ .

Para a elaboração do presente estudo, foram usados dados da insolação de todas as estações, e dados da radiação global das estações de Maputo, I'bane, Maniquenique e Chokwé. Para Xai-Xai e Chungalane, foi necessário estimar o valor da radiação com base na equação (21). Quanto aos valores da radiação difusa, só Maputo é que apresenta registos referentes a 27 anos (1970-1997)

Os dados aqui analisados são referentes à 3 estações da linha costeira (A<sub>w</sub>) e 3 da linha interior (BS<sub>w</sub>), sendo, Maputo, Xai-Xai, Inhambane e Chungalane, Chokwé e Maniquenique respectivamente.

### **3.3. Comportamento da Radiação Solar Global**

Em termos de sistemas de energia, a radiação solar global é particularmente importante para a concepção dos colectores planos, tanto para aplicações fotovoltaicas bem como térmicas. A radiação solar global pode ser determinada por medição directa através dos pyrheliómetros, ou estimada com base nas horas de insolação que é geralmente medida através do instrumento chamado de Campbell Stockes.

#### **3.3.1 Determinação da Média Mensal da Radiação Solar Diária numa Superfície Horizontal com base na Radiação Total Diária Medida**

Para as estações que registam a radiação total diária, será usado o modelo de Angstrom para a determinação da média mensal diária da radiação numa superfície horizontal. A metodologia a seguir é a seguinte:

- Organização da informação na forma de matriz de 28 anos X 365 dias
- Cálculo das médias da radiação total diária para o período de 28 anos
- Cálculo das médias da radiação total para cada mês

#### **3.3.2 Determinação da Média Mensal da Radiação Solar Diária numa Superfície Horizontal com base na Insolação Total Medida**

Os equipamentos para a medição da radiação solar global são muito mais caros do que os equipamentos para a medição da insolação. É por isso, que a maior parte das estações efectuam somente a medição da insolação. Para o presente caso a determinação será feita com base no modelo de Angstrom, equação (21), seguindo a seguinte metodologia:

- Organização da informação na forma de Matriz de 28 anos X 365 dias
- Determinação das médias diárias da insolação para o período de 28 anos
- Cálculo das médias da insolação para cada mês
- Cálculo da média mensal da radiação solar diária numa superfície horizontal

### 3.4 Comportamento da Radiação Solar Directa

Os concentradores de energia solar usam exclusivamente a radiação solar directa. O conhecimento do seu comportamento é indispensável para a concepção de tais sistemas. A radiação directa é medida com o auxílio dos pyrliómetros.

#### 3.4.1 Determinação da Média Mensal da Radiação Solar Diária Directa com Base na Radiação Global e Difusa Medidas

A média mensal da radiação solar diária numa superfície é o resultado da soma da média mensal da radiação directa ou componente do feixe com a média mensal da radiação difusa ou componente do feixe de modo:

$$\bar{H} = \bar{H}_b + \bar{H}_d \quad (22)$$

Em local onde há estações que medem as componentes Global e difusa da Radiação Solar, a componente directa pode ser encontrada a partir da equação 22. Uma vez que só Maputo é que efectuava o registo da Radiação Difusa, a análise aqui apresentada, basea-se nos dados desta estação.

#### 3.4.2 Determinação da Radiação Total Directa com Base na Radiação Global

No caso de Moçambique, só existia *um único* pyrliómetro em Maputo, cuja operação foi interrompida em 1981, devido a problemas mecânicos. Em locais onde há dados da radiação global, a radiação directa pode ser estimada com base em modelos de correlação da componente da radiação directa com o índice de claridade  $K_t$ , como se segue:

$$\text{Para } \omega_s \leq 81.4^\circ \text{ e } 0.3 \leq K_t \leq 0.8 \quad (23)$$

$$\frac{H_d}{H} = 1.391 - 3.560K_t + 4.189(K_t)^2 - 2.137(K_t)^3 \quad (23a)$$

e para  $\omega_s \geq 81.4$  e  $0.3 \leq K_t \leq 0.8$

$$\frac{H_d}{H} = 1.391 - 3.560K_t + 3.427(K_t)^2 - 1.821(K_t)^3 \quad (23b)$$

A fracção mensal é directamente dada por:

$$\frac{H_b}{H} = 1 - \frac{H_d}{H} \quad (24)$$

Nestas expressões  $\omega_s$  é o ângulo do pôr do sol dado pela equação (11),  $\bar{K}_t$  é a média mensal do índice de claridade, que representa o rácio da média mensal da radiação diária numa superfície horizontal com a média mensal da radiação extraterrestre diária ou:

$$\bar{K}_t = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad (25)$$



#### 4. Discussão dos Resultados

A execução do presente estudo, compreendeu duas etapas fundamentais, nomeadamente a colecta dos registos da insolação e radiação solar global e difusa junto ao INAM, e o tratamento destes dados que consistiu nos cálculos que estão apresentados abaixo.

##### Média Mensal da Radiação Solar Diária Numa Superfície Horizontal Com Base na Radiação Solar Global Medida

A média da radiação solar diária, representa a quantidade média de radiação que incide sobre a superfície terrestre num dado dia. Nos gráficos abaixo, estão representadas as curvas correspondentes a radiação solar observada (1970-1998) para a linha costeira e interior respectivamente. De um modo geral a radiação na costa é ligeiramente superior à radiação no interior. Também pode-se notar que a medida que se desloca para norte também aumenta o valor da radiação, isto é, à medida que se caminha para o equador aumenta o valor da radiação.

Não estão representados os gráficos de Xai-Xai e Changelane, pois para estas estações não existem disponíveis os valores da radiação observada para o período em análise.

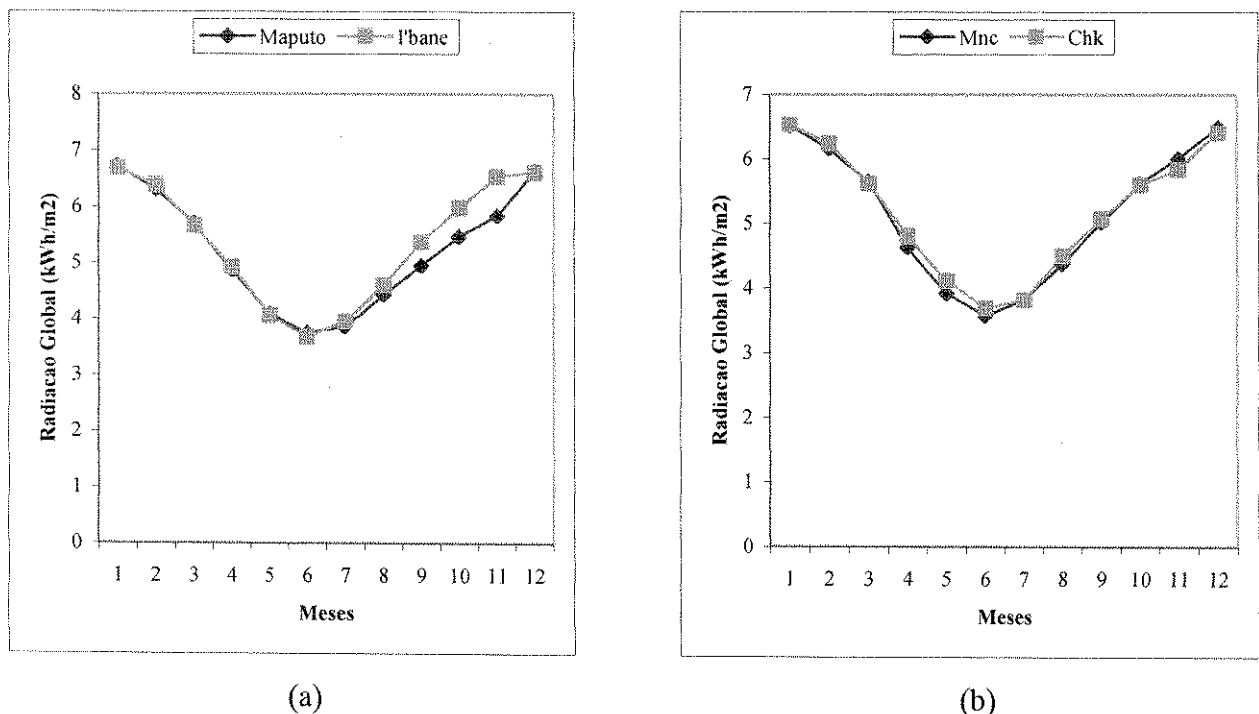
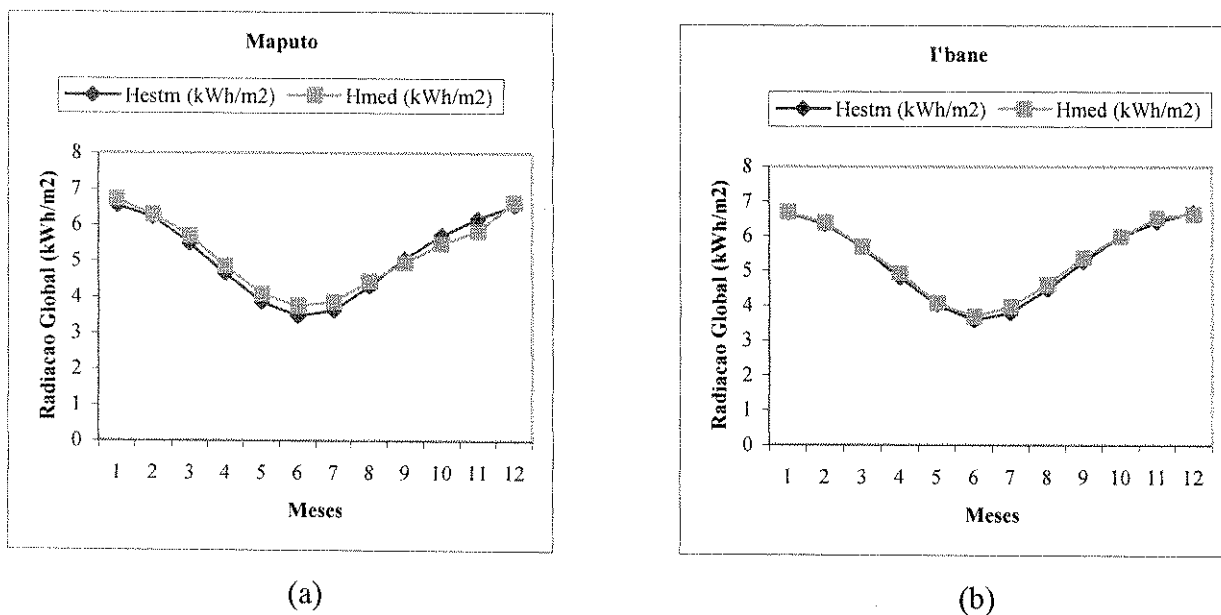


Figura 7: Média Mensal Medida da Radiação Solar Diária (1970-1998)

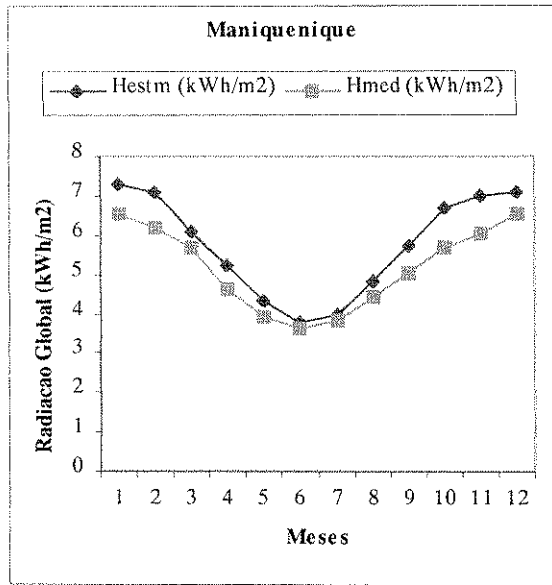
**Média Mensal da Radiação Solar Diária Numa Superfície Horizontal Com Base na Insolação Total Medida**

Uma vez que a maior parte das estações meteorológicas efectuem a medição da insolação, a maior parte dos estudos são efectuados com base nesta variável. Na figura 8, a, b, c e d, estão representados os gráficos correspondentes a radiação estimada e observada para Maputo, Inhambane, Maniquenique e Chokwe. Como se pode ver a variação entre a radiação estimada e observada é de 1,5% para Maputo, 1,4% Inhambane, 11,2% Maniquenique e 12,4% Chokwe, o que comprova a aplicabilidade do modelo de Angstrom para a determinação de radiação.

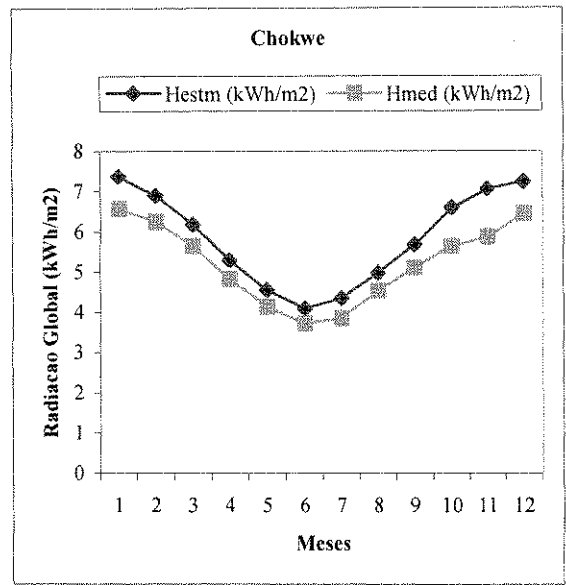
Assim sendo, podemos afirmar que para efeitos estatísticos e de utilização como valores de referência, os valores estimados da radiação para Changalane e Xai Xai, também podem ser considerados como válidos, pois para estas estações não existem valores observados.



**Figura 8.** Média Mensal Estimada e Observada da Radiação Solar Diária (1970-1998)



(c)



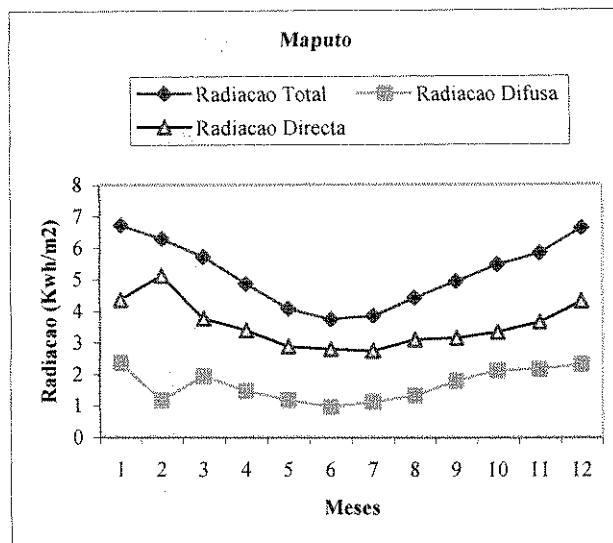
(d)

Figura 8: (Continuação)

**Determinação da Média Mensal Diária da Radiação Solar Directa Com Base na Radiação Difusa Medida**

A radiação solar directa, é aquela que chega directamente a terra, sem sofrer distorções. Na figura 9, temos a representação gráfica da radiação directa estimada com base na radiação global e difusa medidas que também aparecem ilustradas. Pode-se observar que a radiação directa que chega até nós é superior a difusa e inferior a global.

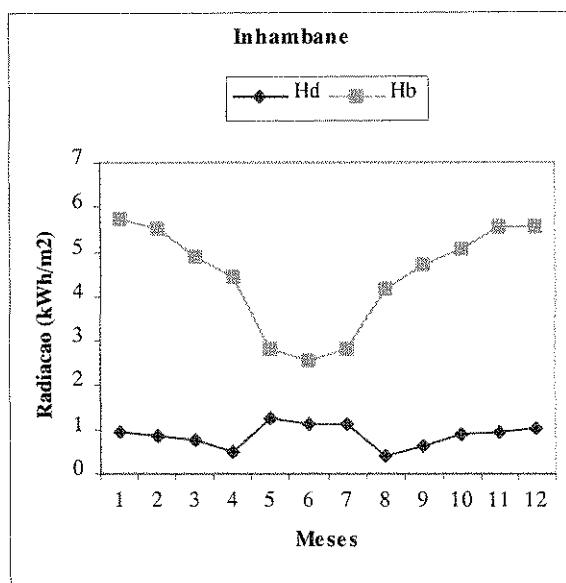
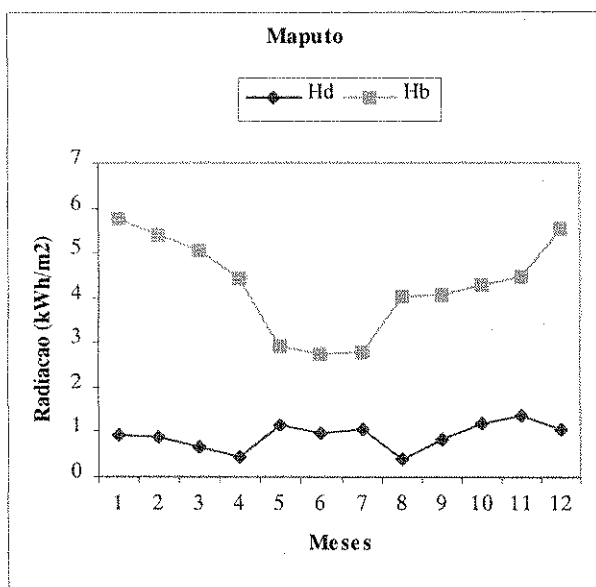
Para o efeito só Maputo é que efectuava o registo da radiação difusa.



**Figura 9:** Média Diária da Radiação Solar Global, Directa e Difusa (1970-1997)

**Determinação da Radiação Directa Com Base na Radiação Global**

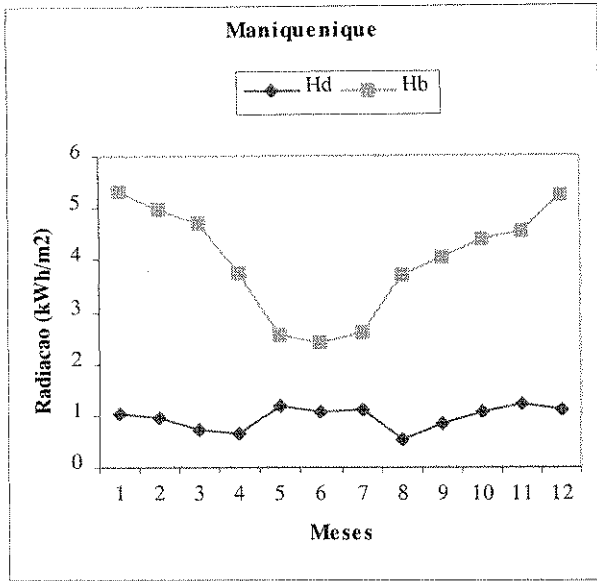
Apartir da correlação entre o índice de claridade e a componente difusa da radiação global incidente, obtêm-se a radiação directa ( $K_d = H_d/H$  e  $K_T = H_0/H$ ). Na figura 10, a, b, c e d, estão representados os gráficos que ilustram a comparação entre a radiação directa e difusa para Maputo, Inhambane, Maniquenique e Chokwe. É de referir que estes são valores estimados, e em relação aos valores observados, apresentam um desvio de aproximadamente 12%.



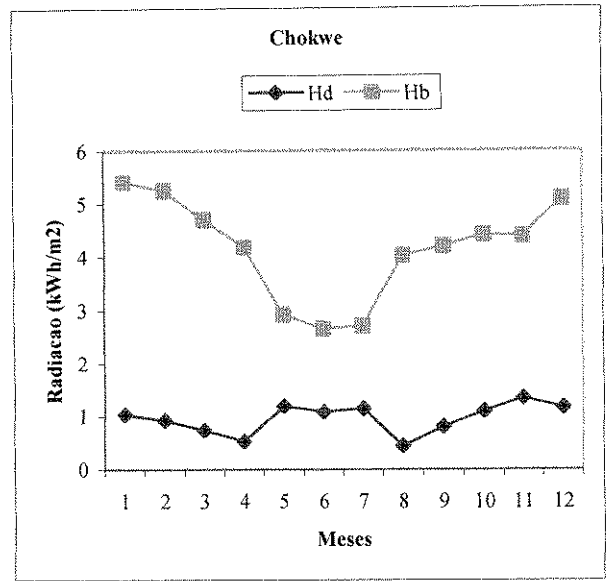
(a)

(b)

**Figura 10. Radiação Solar Total Directa e Difusa (1970-1998)**



(c)



(d)

Figura 10: (Continuação)

## 5. Conclusões

Foi objectivo do presente trabalho, efectuar o estudo da radiação na região sul do Save, tomando em consideração as diversas componentes da radiação (Global, Difusa e Directa) para um período de 30 anos (1970-2000).

A finalidade do trabalho é a criação de dados preliminares, a partir dos quais trabalhos de avaliação do eventual potencial de tecnologias de energia solar podem ser baseados. Outro resultado esperado é a sua aplicação não só para os propósitos de energia, mas também para outras aplicações como a climatologia e agricultura.

Dos resultados acima observados e apresentados podemos concluir que:

- Os modelos estatísticos usados para a determinação da radiação solar global, dão valores muito próximos dos observados com uma variação mínima, de maneira que os mesmos podem perfeitamente ser aplicados para qualquer local da região sul do Save, e em actividades envolvendo planeamento agrícola, avaliação da natureza hidrológica e projectos de sistemas que utilizam a radiação solar como fonte de energia.
- O modelo de Angstrom demonstrou que para estimativas mensais da radiação solar diária, existe uma boa concordância com os dados observados.
- De acordo com os valores observados e com as estimativas efectuadas com base no modelo de Angstrom, obtiveram-se os seguintes resultados:
  1. De modo geral, a radiação solar global para os locais em estudo, apresenta valores máximos em Janeiro (Maputo 6,72 kWh/m<sup>2</sup>, Xai-Xai 6,62 kWh/m<sup>2</sup>, I'bane 6,69 kWh/m<sup>2</sup>, Maniquenique 6,55 kWh/m<sup>2</sup> e Chokwe 6,57 kWh/m<sup>2</sup>), somente Changanane apresenta valor máximo em Dezembro (7,16 kWh/m<sup>2</sup>). O mínimo ocorre em Junho, sendo Maputo (3,75 kWh/m<sup>2</sup>), Xai-Xai (3,42 kWh/m<sup>2</sup>), I'bane (3,68 kWh/m<sup>2</sup>), Changanane (4,05 kWh/m<sup>2</sup>), Maniquenique (3,60 kWh/m<sup>2</sup>) e Chokwe (3,71 kWh/m<sup>2</sup>). Os valor médio anual obtido é de aproximadamente 5 kWh/m<sup>2</sup>.

2. A radiação solar directa, tal como a radiação solar global apresenta um comportamento semelhante para a região em estudo, tendo o seu máximo em Janeiro e mínimo em Junho. A sua média anual é de aproximadamente 4 Kwh/m<sup>2</sup>.
  3. Por sua vez, a radiação solar difusa não apresenta um comportamento uniforme para a região, pois esta depende em certa medida das condições atmosféricas e outros factores climáticos específicos de cada região. O valor médio anual é de aproximadamente 0,90 kWh/m<sup>2</sup>.
- A determinação da radiação solar directa, apartir da correlação entre o índice de claridade e a componente difusa da radiação global incidente, mostrou existir uma boa correlação com os valores observados. A variação existente com os valores observados é da ordem dos 12%.



## 6. Recomendações

Pela grande importância que a radiação representa no ramo das energias renováveis, propõem-se as seguintes recomendações:

- Sugere-se que seja efectuado o estudo do comportamento da radiação solar para outras regiões do país.
- Com base nos cálculos aqui efectuados, propõem-se para trabalhos futuros a utilização de isolinhas
- Sugere-se que o INAM, na medida do possível, informatize a colecta e o armazenamento dos dados da radiação e insolação em todas as estações meteorológicas.
- Recomenda-se que o INAM, efectue a calibração periódica e regular do equipamento de medição, aferindo o seu funcionamento regularmente.

## 7. Referências Bibliográficas

- [1] Aido, A., M.A. Ponte, M.A. Martins, M.G.A. Bastos, M. J. Pereira, M.M.R. Carvalho (1978). Física, 3ª edição. 305-352pp Livraria Sá da Costa, Lisboa.
- [2] Cuamba, B.C., D.Z. Quissico e J. Lovseth (em preparação). General Characterisation of the Global and Direct Solar Radiation Fields Behaviour in Mozambique
- [3] Duffie, J.A., W. A. Beckman (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª edição. 136pp, John Wiley & Sons Inc, New York.
- [4] Oliveira, S.H.F. Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos: Ênfase na Electrificação de Residências de Baixo Consumo. Abril, 1997. <<http://www.uf.usp.br/biblioteca/produção/1997/trabalho>>
- [5] Universidade de São Paulo. Glossário de Insolação. 1997. <[http://www.cptec.inpe.br/satelite/metsat/pesquisa/gloss1/gloss\\_fo.htm](http://www.cptec.inpe.br/satelite/metsat/pesquisa/gloss1/gloss_fo.htm)>
- [6] US Government Printing Office (2001). The Astronomical Almanac for Year 2003. B2-B4pp.
- [7] Young, H.D., R.A. Freedman (1996). University Physics, 9ª edição. 1053-1134pp Addison-Wesley Inc, USA.

# ANEXOS

ANEXO I

Tabela 1: Radiação Solar Global Medida pelo INAM (cal/cm2)

Mês \ Ano	Maputo Observatório											
	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Aug	Set	Oct	Nov	Dez
1970	605.3	573.0	534.0	454.9	351.8	313.4	323.8	409.3	469.8	496.8	570.4	592.4
1971	594.6	581.5	526.5	387.2	350.4	330.7	361.5	400.0	435.9	448.2	464.4	545.1
1972	506.0	469.3	445.7	400.0	279.2	314.3	320.9	348.5	427.0	431.3	508.4	545.5
1973	534.5	492.0	449.8	351.8	311.2	289.1	293.6	373.5	355.9	467.8	433.6	480.7
1974	527.1	527.1	473.3	386.6	333.3	313.4	328.9	358.2	436.4	455.0	465.6	597.4
1975	520.8	457.3	463.1	365.7	338.0	294.9	345.2	368.7	372.3	401.8	454.7	470.1
1976	514.4	548.8	472.8	389.9	321.7	318.8	326.3	377.4	344.7	377.4	363.6	418.9
1977	523.8	535.1	378.0	405.2	358.8	305.6	313.7	322.7	407.0	464.1	563.4	580.3
1978	503.5	495.9	484.3	432.5	361.4	327.9	361.5	310.8	454.0	395.1	547.1	619.1
1979	611.9	638.3	506.3	481.7	414.0	397.1	401.2	401.0	457.1	461.5	429.2	620.6
1980	621.7	-35.7	472.2	401.8	331.6	326.5	312.2	377.8	375.7	499.0	435.0	597.4
1981	518.6	493.3	446.6	394.7	307.1	302.5	317.2	301.3	365.1	476.6	486.6	542.1
1982	536.7	551.5	493.8	369.8	332.3	305.3	266.8	395.8	374.1	494.4	519.9	590.4
1983	598.5	560.1	459.8	434.2	331.3	308.0	315.7	387.6	481.9	512.6	430.0	656.0
1984	582.3	599.8	462.5	404.5	329.6	325.0	327.5	415.5	408.5	419.4	512.3	632.5
1985	648.8	655.0	514.6	485.6	362.4	354.2	366.7	431.2	474.4	591.9	600.5	609.6
1986	645.3	610.2	571.9	454.5	412.2	345.5	376.6	429.9	471.0	527.4	535.4	651.1
1987	603.6	642.6	549.5	437.5	374.3	330.0	349.0	380.4	395.7	506.7	462.6	514.1
1988	610.5	684.8	480.5	416.3	394.0	325.7	367.3	404.2	450.5	403.1	572.4	517.8
1989	619.5	539.0	542.2	416.8	365.0	307.8	341.3	387.8	489.7	546.4	505.9	566.0
1990	577.9	526.2	508.5	418.8	365.3	334.3	318.7	398.1	384.4	498.3	557.9	520.8
1991	629.3	533.0	461.7	490.5	390.1	338.4	341.5	387.4	407.7	538.5	608.5	625.6
1992	612.4	688.6	562.0	456.0	401.1	341.5	337.6	414.7	438.8	513.2	571.1	591.0
1993	696.2	548.6	546.2	452.3	378.3	331.1	333.0	400.2	501.3	440.1	512.4	617.3
1994	585.1	601.1	536.0	439.7	361.7	316.8	344.2	380.0	450.0	489.8	524.8	585.8
1995	615.0	565.8	472.6	391.6	340.2	321.2	330.4	372.4	462.2	477.1	459.3	555.1
1996	527.7	563.3	481.1	412.9	315.9	320.9	301.2	338.8	437.7	491.0	499.8	596.4
1997	565.9	508.5	447.4	424.7	331.6	305.6	302.9	385.9	402.6	415.0	451.7	526.5
1998	534.2	557.4	485.9	400.8	358.4	320.2	305.8	388.0	418.4	406.3	523.4	592.5
1999	564.5	503.9	507.2	378.1	324.0	316.1	322.8	385.5	411.5	479.0	486.9	556.5

ANEXO 2

Tabela 2: Radiação Solar Global Estimada (cal/m<sup>2</sup>)

Ano	Estação de Xai-Xai											
	Mês	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov
1970	554.0	504.9	454.7	377.0	330.2	285.4	294.9	349.3	441.7	500.9	554.2	581.0
1971	562.2	542.2	488.2	406.2	325.9	289.8	320.4	388.2	450.3	491.2	535.4	577.5
1972	547.6	486.7	475.3	417.9	314.7	296.0	323.8	371.2	433.2	510.5	553.5	593.4
1973	577.4	544.0	490.2	402.3	329.9	288.2	310.1	372.9	417.1	500.9	543.3	545.0
1974	569.3	545.6	483.6	382.5	326.9	303.0	308.3	378.0	447.5	504.6	523.7	554.2
1975	562.5	529.7	474.3	385.5	327.6	291.6	316.5	366.2	448.5	492.6	556.5	559.1
1976	553.1	555.0	469.6	380.6	321.0	298.2	307.0	359.3	444.4	512.6	531.7	578.2
1977	574.7	512.5	451.1	405.2	336.9	291.3	309.7	366.4	439.7	510.8	546.7	563.1
1978	569.5	541.1	463.6	399.3	334.1	284.1	307.7	363.8	436.5	481.2	561.5	572.8
1979	580.3	558.8	470.1	412.2	335.1	300.6	307.8	351.1	424.3	485.2	537.2	588.3
1980	569.9	537.9	479.5	402.1	343.4	300.5	313.1	377.9	437.8	513.7	514.5	577.9
1981	561.4	516.0	469.1	409.2	332.1	290.9	306.7	341.6	403.8	505.2	531.6	551.6
1982	578.6	543.0	480.7	376.6	313.2	270.3	284.4	354.6	449.9	509.1	545.3	570.9
1983	585.3	554.0	471.0	405.7	327.7	291.1	305.3	371.1	464.5	512.8	529.7	580.7
1984	569.9	543.4	459.4	400.5	335.8	290.6	306.7	367.9	428.7	489.1	537.2	588.9
1985	564.5	566.4	475.7	409.9	324.3	288.5	309.6	374.8	432.0	530.2	566.7	567.0
1986	581.6	553.3	493.6	385.8	341.8	303.9	317.6	383.8	438.5	497.4	549.7	569.8
1987	585.5	572.6	488.6	405.8	343.4	296.0	309.3	367.1	438.5	496.5	534.3	541.7
1988	578.9	567.5	468.3	390.2	336.4	294.3	315.0	377.4	448.1	481.6	549.3	566.0
1989	561.1	523.3	496.4	401.7	335.1	288.0	316.2	371.7	457.4	514.8	535.4	572.9
1990	564.4	540.9	483.7	401.7	335.4	300.4	317.4	372.5	449.0	508.3	566.0	565.5
1991	591.4	531.1	458.9	408.9	331.9	293.2	320.2	375.2	435.3	530.4	557.3	589.5
1992	582.3	588.7	489.0	415.1	342.7	291.2	312.7	369.9	440.3	494.4	539.5	586.8
1993	594.3	533.7	487.5	408.2	329.2	301.2	276.1	364.3	455.8	499.3	533.8	551.0
1994	580.2	541.5	496.7	408.0	344.0	296.4	303.3	367.7	446.3	508.7	554.4	562.4
1995	570.3	542.2	465.9	383.9	316.0	296.8	322.0	375.4	456.3	506.7	546.3	577.3
1996	557.8	563.4	471.9	393.3	316.2	292.3	302.3	362.8	439.2	510.7	540.3	580.9
1997	560.9	530.2	469.4	404.1	330.3	297.3	310.0	383.1	426.5	488.8	527.0	571.8
1998	540.4	561.3	476.4	410.6	343.4	306.8	314.3	371.3	446.1	491.7	545.6	548.4
1999	570.1	515.4	488.0	409.0	331.8	307.6	312.2	383.9	436.3	490.6	533.7	601.6

ANEXO 3

Tabela 3: Radiação Solar Global Medida pelo INAM (cal/cm<sup>2</sup>)

Ano	Estação de Inhambane											
	Mês	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov
1970	594.1	558.8	491.9	416.1	352.1	296.5	321.7	392.9	470.8	516.4	555.3	593.3
1971	564.0	552.1	498.8	420.8	336.6	296.1	330.2	393.9	465.9	500.4	547.7	569.0
1972	552.0	477.1	487.2	419.9	336.1	310.8	331.5	381.7	448.1	523.8	563.2	585.8
1973	581.7	559.7	489.4	395.0	342.5	307.6	323.3	376.3	440.9	517.8	557.3	542.3
1974	584.7	542.9	481.9	402.4	342.1	319.9	324.8	383.5	455.0	520.4	529.0	557.7
1975	524.7	514.9	407.2	394.8	291.7	286.5	318.3	366.5	447.3	500.6	537.1	555.6
1976	549.5	434.9	482.1	354.8	316.3	310.1	327.9	380.0	462.1	523.5	621.4	586.7
1977	591.3	508.0	463.0	417.8	358.2	317.4	320.3	369.8	450.0	539.1	558.8	568.4
1978	536.1	524.1	483.5	405.7	355.0	298.6	328.1	387.1	466.3	514.8	558.3	567.9
1979	567.0	556.3	476.1	425.4	351.9	311.4	369.3	436.2	442.4	535.8	562.2	583.1
1980	593.3	509.1	561.9	464.1	362.8	341.5	368.7	353.7	443.6	466.6	548.9	610.7
1981	617.7	535.3	531.4	416.8	386.1	335.2	358.0	427.2	490.3	551.7	569.0	657.5
1982	664.6	534.7	491.8	462.2	406.3	361.1	367.9	419.1	494.8	538.6	551.6	566.9
1983	593.4	570.9	484.5	463.1	376.4	319.5	347.1	413.4	403.2	486.1	552.0	606.7
1984	525.1	598.7	545.9	479.0	379.0	336.7	348.1	426.0	512.4	598.3	590.0	601.7
1985	602.2	668.6	572.0	475.3	448.5	413.7	422.8	493.8	532.2	544.6	630.7	601.9
1986	643.6	623.2	501.1	478.4	389.5	342.1	320.5	413.6	427.4	453.4	551.9	521.7
1987	583.2	579.4	440.0	431.0	352.5	297.1	334.4	372.3	439.8	509.4	565.6	556.4
1988	587.6	568.1	474.4	409.0	338.9	303.8	327.4	389.9	459.1	496.8	570.0	575.3
1989	579.3	540.5	357.6	409.1	355.4	309.9	327.3	395.9	458.5	532.4	529.1	576.0
1990	563.8	559.0	488.8	412.2	247.3	308.1	336.8	385.9	457.2	521.3	560.3	554.4
1991	632.2	450.9	428.5	425.4	346.8	305.4	327.0	374.6	450.5	525.7	554.0	588.4
1992	576.7	585.9	497.9	421.0	355.4	303.4	330.5	367.5	460.2	384.8	543.4	573.6
1993	586.0	534.8	487.7	421.5	349.1	308.0	325.9	374.6	454.9	508.4	592.0	541.7
1994	594.8	578.8	523.5	392.1	331.1	331.4	346.4	422.7	518.0	498.4	564.2	591.2
1995	525.9	536.8	499.7	403.6	350.4	328.9	337.4	373.4	447.0	593.9	549.0	582.6
1996	558.4	555.1	486.0	412.5	336.1	308.3	367.3	458.2	447.5	512.3	583.2	542.7
1997	480.4	611.8	517.2	446.3	396.2	340.9	362.1	368.7	499.4	503.6	557.7	518.8
1998	550.1	559.3	493.0	424.3	247.3	221.9	332.0	383.8	459.2	503.0	552.1	430.3

ANEXO 4

Tabela 4: Radiação Solar Global Estimada (cal/m<sup>2</sup>)

Ano Mês	Estação de Changalane											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1970	620.7	611.5	553.8	469.5	380.9	341.6	360.2	448.4	509.1	567.3	595.9	616.7
1971	592.6	597.1	557.7	437.8	374.7	345.1	379.9	444.0	489.5	527.9	551.0	612.2
1972	605.8	570.5	504.5	470.7	361.0	366.0	376.5	416.4	504.1	514.0	586.8	608.8
1973	594.2	570.4	514.3	421.8	376.0	334.7	356.4	422.3	463.6	554.7	559.1	586.3
1974	625.7	608.2	529.1	442.5	386.2	356.0	366.5	428.6	509.0	547.0	578.8	620.1
1975	588.1	531.2	534.5	439.9	385.3	344.2	383.7	427.2	453.2	526.6	547.6	553.2
1976	601.8	616.9	533.2	454.3	373.7	354.8	375.2	431.7	506.9	560.1	587.6	602.7
1977	626.5	584.1	483.5	470.2	395.5	346.7	371.4	408.0	473.2	545.6	584.5	610.6
1978	571.9	592.6	530.2	474.9	384.2	353.8	356.6	386.1	494.7	488.5	583.3	670.6
1979	616.5	629.6	528.1	464.5	387.6	333.5	349.4	383.9	441.7	509.7	576.4	620.1
1980	609.0	598.7	531.4	475.7	398.2	369.1	363.6	423.0	451.1	554.0	547.9	644.8
1981	596.3	557.3	535.9	470.2	369.7	347.9	362.3	386.9	459.4	536.0	556.9	634.4
1982	590.6	610.3	538.1	415.8	379.0	354.2	361.4	430.0	483.2	555.6	557.4	645.0
1983	639.2	599.6	513.8	466.9	373.1	340.0	350.6	426.4	505.4	524.5	545.7	627.7
1984	612.8	600.8	494.4	475.9	391.0	340.9	345.2	424.5	465.2	506.7	568.6	629.0
1985	652.5	600.7	528.0	457.1	367.0	351.7	356.4	436.4	484.9	586.7	625.0	607.0
1986	623.6	585.1	552.8	415.0	396.3	356.7	368.9	435.6	478.6	538.4	592.7	626.6
1987	601.6	639.0	521.5	454.2	383.3	347.6	369.5	418.7	455.5	534.6	528.3	572.2
1988	619.6	590.4	515.9	433.6	381.4	342.6	376.9	421.3	489.4	506.7	601.2	607.0
1989	627.2	547.1	555.9	450.1	381.9	345.1	373.2	432.6	522.6	551.0	557.4	622.1
1990	623.2	568.8	535.9	442.2	383.0	343.9	375.1	427.1	505.9	528.9	579.2	614.5

ANEXO 5

Tabela 5: Radiação Solar Global Medida pelo INAM (cal/cm<sup>2</sup>)

Ano Mês	Estação de Mamiquenique											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SEP	OUT	NOV	DEZ
1970	600.7	477.5	525.5	215.6	259.3	310.8	352.7	384.6	459.7	559.6	538.3	593.6
1971	579.3	574.9	503.2	414.6	323.3	290.5	334.1	393.9	448.5	450.5	468.2	562.4
1972	506.8	439.2	477.3	422.4	328.5	323.8	345.4	360.4	408.4	466.5	483.0	569.9
1973	534.8	509.6	455.6	373.3	314.5	293.2	330.6	403.0	385.2	484.0	506.8	535.7
1974	575.0	510.9	466.6	400.0	354.8	327.6	332.0	382.8	468.0	476.2	460.9	555.3
1975	555.2	521.4	571.0	354.6	311.1	268.6	298.5	331.4	394.8	415.1	493.3	485.9
1976	512.5	500.0	432.5	362.5	279.6	289.1	311.5	349.1	433.1	494.0	488.0	572.7
1977	560.0	496.8	430.6	395.4	342.7	296.3	313.9	338.3	392.6	464.8	511.3	525.2
1978	492.9	461.8	443.2	372.9	317.4	270.4	296.5	338.3	389.2	396.5	490.7	518.0
1979	526.2	499.8	409.1	378.7	308.1	291.7	319.6	336.9	384.2	415.9	472.3	588.1
1980	528.0	475.6	448.6	386.9	322.9	289.4	310.7	378.6	406.3	510.3	435.0	554.7
1981	554.2	516.7	462.9	413.7	331.0	306.9	313.8	309.7	352.0	455.5	521.3	577.7
1982	579.3	530.1	484.9	389.8	336.5	305.0	312.1	358.3	402.0	477.6	478.5	547.6
1983	574.5	531.3	437.1	392.4	320.5	313.3	318.6	368.1	438.3	473.9	452.2	510.3
1984	476.8	508.1	406.1	366.4	320.7	285.4	320.0	376.9	411.3	470.6	505.4	528.9
1985	525.7	412.8	464.1	412.0	312.4	268.4	299.9	354.0	400.0	449.6	461.0	493.2
1986	648.1	634.6	551.1	279.5	288.7	253.6	260.7	320.5	350.4	404.4	425.4	440.5
1987	465.8	511.9	399.4	327.0	274.9	304.2	359.7	426.7	511.2	572.2	610.3	633.6
1988	665.5	633.5	569.2	454.4	394.0	345.6	373.2	414.3	476.3	466.1	591.8	629.3
1989	638.1	530.3	542.5	471.3	364.0	334.6	376.3	435.5	473.2	515.3	510.7	576.2
1990	557.3	538.5	489.5	391.0	354.4	312.4	320.7	394.1	451.7	504.5	551.6	498.6
1991	608.3	542.5	491.4	490.7	381.0	330.8	353.2	401.8	415.4	517.4	536.8	605.9
1992	623.6	574.3	564.5	426.4	389.4	356.6	346.8	435.7	509.5	554.4	599.1	664.6
1993	692.8	604.2	567.9	490.5	349.7	313.3	322.4	362.3	450.8	436.7	465.1	549.9
1994	547.8	519.6	495.7	481.2	415.3	349.4	375.5	366.1	409.6	465.8	502.4	485.6
1995	532.0	528.4	425.9	358.0	290.9	283.9	330.5	368.8	458.4	511.9	540.4	555.2
1996	490.2	533.2	459.4	370.9	391.0	292.8	292.8	347.0	426.9	500.2	650.5	539.2
1997	497.8	604.2	527.2	478.4	399.0	354.7	362.8	452.2	487.4	546.9	602.5	657.2
1998	603.1	654.5	585.3	482.1	404.7	360.8	364.5	431.6	521.5	556.6	629.5	632.5
1999	644.3	580.7	577.0	461.0	392.6	371.2	361.1	455.4	526.2	621.0	626.2	690.8



ANEXO 6

Tabela 6: Radiação Solar Global Medida pelo INAM (cal/m2)

Mês Ano	Estação de Chokwe											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1970	584.7	515.9	502.8	432.8	348.5	278.9	329.6	398.9	448.7	497.6	528.6	578.7
1971	547.4	577.8	526.5	401.0	328.0	277.1	309.7	375.4	442.6	459.8	459.7	537.4
1972	494.5	454.2	433.4	404.0	319.5	318.4	346.4	370.1	425.7	488.5	517.6	570.9
1973	570.1	541.6	487.7	389.5	319.1	283.7	304.6	374.5	386.7	470.8	492.3	495.4
1974	558.2	526.6	463.7	379.4	338.8	316.7	323.9	383.9	473.4	481.3	477.3	568.8
1975	553.1	527.5	473.2	395.7	358.6	304.0	343.0	381.7	441.1	472.3	548.0	540.3
1976	565.4	569.7	497.3	381.2	305.6	343.4	327.3	378.2	448.8	490.3	499.5	583.8
1977	579.6	451.4	430.2	421.4	354.7	294.1	311.3	332.2	381.9	454.7	535.4	497.0
1978	463.3	498.1	406.3	448.1	444.1	404.6	424.5	451.4	460.7	568.0	535.0	337.5
1979	534.6	573.1	433.3	388.2	316.8	275.2	305.2	301.1	355.4	358.9	431.6	498.1
1980	488.3	443.6	436.0	346.3	312.4	276.3	283.0	333.8	333.8	430.2	371.3	468.5
1981	454.1	405.6	367.8	345.8	283.7	266.7	276.5	259.6	303.5	374.8	424.9	477.3
1982	476.6	443.1	416.1	321.7	294.7	268.2	264.1	410.4	376.9	387.9	405.8	449.6
1983	463.4	435.0	370.2	339.1	285.1	262.6	296.1	404.4	502.6	506.4	525.1	584.8
1984	586.7	539.4	448.8	425.7	358.5	308.8	318.1	394.6	412.0	493.3	53.5	624.7
1985	579.1	583.4	475.8	442.2	350.9	296.1	325.5	390.3	408.5	512.2	576.0	569.5
1986	580.1	587.5	530.8	376.7	370.7	327.2	348.2	423.0	437.1	449.8	532.5	562.1
1987	573.4	597.7	517.9	426.1	359.0	315.0	342.7	380.5	424.9	528.4	547.5	516.0
1988	620.0	589.4	500.0	421.1	372.6	350.6	372.4	397.9	484.0	449.8	560.2	547.1
1989	658.9	557.1	545.4	413.0	386.7	323.1	355.6	417.3	475.8	473.7	544.2	591.8
1990	577.7	585.0	522.7	417.1	356.1	328.9	327.0	370.9	466.1	457.7	546.4	507.6
1991	651.3	599.2	528.3	495.2	352.5	336.0	364.7	412.8	381.4	544.0	558.3	587.7
1992	661.7	594.2	539.9	443.6	414.4	351.1	335.3	394.6	510.9	470.1	557.3	607.1
1993	606.3	498.3	547.2	499.0	399.1	400.8	351.6	440.0	474.7	468.0	505.0	601.6
1994	604.4	544.0	576.2	478.0	418.0	342.5	353.7	400.8	463.2	566.8	623.6	635.2
1995	632.3	621.2	485.4	426.6	388.8	332.2	363.8	418.0	513.9	543.5	562.1	636.5
1996	530.6	562.6	522.9	414.9	336.8	349.4	317.6	381.2	433.5	520.8	501.7	648.7
1997	605.8	576.7	518.7	470.7	393.3	350.0	311.2	449.4	481.8	546.1	597.9	641.4
1998	512.2	571.9	510.3	454.8	410.9	324.3	303.1	402.2	507.2	495.4	533.0	528.7
1999	645.3	560.9	578.5	443.3	393.1	376.6	368.6	453.5	495.3	604.3	602.6	642.2

ANEXO 7

Tabela 7: Insolação Total Medida pelo INAM (h)

Ano Mês	Maputo Observatório											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1970	281.7	238.6	284.4	285.1	266.6	245.4	251.3	290.5	260.8	248.6	232.0	237.1
1971	243.9	238.9	276.7	222.9	236.2	241.6	279.3	291.2	234.2	206.1	174.9	230.7
1972	213.7	185.6	219.9	270.4	208.5	278.2	284.5	247.9	237.9	193.8	223.8	256.9
1973	241.8	202.7	237.8	211.5	249.6	236.8	246.3	276.9	198.9	243.7	172.9	194.0
1974	261.0	242.4	261.8	238.3	270.6	272.7	274.9	261.4	256.8	227.7	200.7	268.8
1975	239.5	181.1	238.9	220.3	258.4	241.1	287.9	266.9	200.5	192.5	197.2	187.8
1976	228.4	255.6	258.6	241.1	224.9	252.5	282.8	256.3	242.2	237.2	216.2	253.5
1977	257.7	218.4	178.2	262.7	271.0	255.6	265.9	233.2	220.0	231.7	232.0	246.2
1978	190.2	212.3	244.8	268.8	264.9	251.3	254.2	209.7	242.5	155.1	232.4	275.9
1979	249.6	276.5	247.7	269.5	259.0	235.2	239.2	196.7	172.6	186.4	192.6	241.9
1980	254.8	224.2	260.7	279.2	277.8	270.6	259.2	258.6	189.5	234.9	164.3	281.1
1981	230.1	204.0	225.1	257.9	231.7	249.1	261.2	199.2	184.6	214.8	196.2	228.7
1982	229.1	249.3	272.8	201.2	256.3	252.7	257.8	281.7	234.3	229.8	206.4	245.6
1983	255.9	222.3	224.7	258.7	241.9	230.6	221.3	250.4	256.6	211.7	170.2	289.1
1984	245.4	252.9	198.8	247.5	283.1	228.9	212.0	249.0	187.5	169.3	193.8	257.6
1985	275.2	276.0	245.2	265.6	237.7	256.7	253.1	276.7	232.4	276.8	261.4	224.3
1986	260.9	229.4	274.9	218.9	277.8	259.3	273.9	272.6	217.6	227.1	224.2	270.8
1987	249.1	276.6	260.1	238.8	258.1	243.0	262.3	235.6	188.9	202.1	145.3	193.0
1988	255.4	281.2	229.3	224.2	283.9	245.4	281.3	269.0	222.4	155.5	229.7	184.9
1989	273.8	187.6	285.5	221.5	251.4	224.9	257.2	263.2	262.3	248.0	195.9	232.6
1990	255.4	187.1	257.2	238.3	247.3	257.8	246.9	245.2	251.1	225.1	226.6	195.4
1991	276.8	225.5	204.5	296.5	271.1	240.5	282.6	259.0	194.5	242.4	252.2	253.1
1992	253.0	294.1	283.2	277.5	286.4	242.6	254.3	256.9	205.0	206.4	218.1	222.8
1993	312.7	202.7	261.3	256.6	260.8	253.5	222.0	242.1	260.1	163.5	184.7	240.7
1994	242.9	253.8	263.7	255.0	269.4	248.0	274.9	250.2	238.1	222.0	210.0	253.6
1995	267.5	232.7	226.7	214.4	227.8	243.9	242.7	246.6	249.6	219.4	179.5	235.3
1996	222.0	239.1	246.4	230.7	207.9	255.3	222.4	221.0	239.6	242.1	209.9	285.3
1997	260.5	210.2	202.3	257.3	238.8	248.8	215.8	262.7	192.9	185.9	182.2	226.4
1998	227.4	239.5	248.5	249.5	280.3	268.7	241.6	273.4	223.4	163.3	201.4	222.0
1999	272.4	207.2	246.1	219.5	249.5	277.9	255.0	270.5	226.4	241.9	188.4	237.6
2000	203.9	177.0	203.6	239.6	269.0	240.5	265.6	301.7	218.1	159.7	185.9	258.6

ANEXO 8

Tabela 8: Insolação Total Medida pelo INAM (h)

Ano Mês	Estação de Xai-Xai											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1970	235.9	177.2	202.5	183.7	235.5	194.7	190.1	192.4	230.8	228.2	245.6	275.2
1971	251	241	270.3	248.4	224.1	207.1	260.9	287.5	248.5	209.4	211.6	268.8
1972	224.1	146	244.2	274.5	194.6	224.2	270.3	246	213.2	246.9	244.4	298.1
1973	279.3	244.2	274.3	239.9	234.8	202.5	232.4	250.1	180.1	228.3	225.9	208.6
1974	264.2	246.8	260.9	195.9	226.8	243.9	227.3	262.5	242.8	235.4	190.4	225.5
1975	251.6	219.7	242.1	202.6	228.6	212.1	250	233.7	244.9	212.1	249.8	234.7
1976	234.2	263	232.7	191.7	211.1	230.5	223.7	216.8	236.3	251	204.9	270.1
1977	274.3	190.3	195.1	246.2	253.1	211.3	231.3	234.2	226.8	247.5	232.1	242.1
1978	264.6	239.1	220.5	233.2	245.7	191.2	225.6	227.8	220.2	189.9	258.9	260
1979	284.6	269.4	233.6	261.7	248.4	237.1	225.8	197	195	197.7	214.8	288.7
1980	265.4	233.7	252.6	239.4	270.3	236.9	240.7	262.4	222.7	253.1	173.7	269.4
1981	249.6	196.3	231.5	255.2	240.4	210.2	222.9	173.7	152.7	236.6	204.8	220.7
1982	281.5	242.4	255.1	182.8	190.5	152.7	161	205.5	247.7	244.2	229.6	256.5
1983	293.9	261.2	235.5	247.3	228.9	210.7	219.1	245.7	277.8	251.5	201.2	274.6
1984	265.3	243.2	212	235.8	250.4	209.2	222.8	238	204	205.3	214.8	289.8
1985	255.4	282.4	245	256.6	219.8	203.3	230.9	254.8	210.9	285.2	268.3	249.3
1986	287.1	260	281.2	203.3	266.1	246.4	253	276.6	224.2	221.4	237.5	254.4
1987	294.3	293.1	271.1	247.6	270.3	224.2	230	236	224.2	219.7	209.6	202.4
1988	282	284.3	230	213	252	219.6	245.9	261	244.1	190.6	236.8	247.4
1989	249.1	208.8	287	238.4	248.4	202	249.3	247.1	263.3	255.4	211.7	260.2
1990	255.2	238.8	261.2	238.6	249.1	236.4	252.5	249.2	245.8	242.6	267	246.5
1991	305.2	222	210.9	254.5	240	216.4	260.4	255.7	217.7	285.6	251.2	291
1992	288.4	320.6	271.9	268.2	268.4	211	239.4	242.8	228	215.5	219	285.9
1993	310.5	226.5	268.8	253	232.8	238.8	137.9	229.2	260	225.1	208.8	219.7
1994	284.5	239.9	287.6	252.4	272	225.3	213.4	237.4	240.4	243.4	246.1	240.8
1995	266	241.1	225.1	199.1	198	226.5	265.4	256.2	260.9	239.5	231.4	268.3
1996	242.9	277.3	237.2	219.9	198.4	214.1	210.7	225.4	225.7	247.3	220.4	275.1
1997	248.7	220.6	232.2	243.8	235.8	227.8	232.1	275	199.5	204.7	196.4	258.1
1998	210.7	273.8	246.4	258.2	270.5	254.4	243.9	246.2	239.8	210.3	230.1	214.8
1999	265.8	195.2	269.9	254.8	239.6	256.7	238.1	276.9	219.7	208.2	208.5	313.4

ANEXO 9

Tabela 9: Insolação Total Medida pelo INAM (h)

Ano	Estação de Inhambane											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1970	312.3	267.7	270	256.2	272	202.9	242	281.3	280.7	254.8	248.8	301.4
1971	256.7	256.2	283.9	266.4	231.9	201.9	265.1	283.8	270.6	223.8	235.2	256.4
1972	234.4	128.5	260.4	264.4	230.6	241.8	268.5	254.5	234.2	269.1	263.2	287.5
1973	289.3	269.1	264.9	210	247.1	233.2	246.4	241.4	219.6	257.4	252.4	207
1974	295	240.6	249.9	226.2	246	266.7	250.3	258.7	248.3	262.4	201.3	235.6
1975	286.3	243.6	241.8	151.7	257.3	209.6	265.3	261.8	245.2	257.7	274	247.9
1976	283.2	267.4	250.2	242.3	226.3	239.9	258.9	250.4	262.8	268.5	228.3	259.6
1977	307.1	181.1	211.8	259.9	287.9	260	238.1	225.8	238.2	298.7	255.2	255.4
1978	205.1	208.5	253.1	233.4	279.6	208.8	259.3	267.5	271.5	251.7	254.2	254.5
1979	262.1	263.4	238.1	276.6	271.6	243.6	244.1	260.2	199.2	228.7	217.1	287.5
1980	287	250.5	239.7	236.5	267	244.2	221.6	284	213	232.6	233.1	251.7
1981	258.3	193.3	284.6	263.8	228.9	239	271.1	214.3	218.3	214.4	243.1	294
1982	294.3	226.6	269.7	231.8	267.5	235.3	248	273.7	257.3	261.6	232.9	294.3
1983	310	229.7	272	267.2	270	245.9	241.6	241	256.1	260.6	226.6	262.3
1984	257.4	241.8	231	245.5	261.2	235.9	248.5	267.1	208.4	253.6	233.2	277.5
1985	224.6	264	277.9	266	240.5	222.4	244.5	280.9	239.9	271.3	241	252.1
1986	259	268.4	267.8	213.9	278.9	261.1	238.7	289.1	252	210.4	271.2	244.2
1987	285.5	276.2	276.3	248.4	251.4	233.5	253.1	252.6	217.3	241.2	267.4	233.2
1988	300.3	283.4	234.8	240.7	237.9	222.9	257.6	274.3	256.8	216.7	275.4	268.2
1989	284.9	236.4	250	240.8	280.5	239.4	257.3	288.7	255.6	285.7	201.5	269.4
1990	256.2	267.9	263.8	247.6	264.4	234.6	282.9	264.6	252.8	264.2	257.9	268.1
1991	308	197.3	223.1	276.6	258.4	227.2	256.4	237.3	239.2	272.7	246.5	292.3
1992	280.2	313.8	281.9	266.8	280.7	221.8	265.9	220.3	259.1	243.3	227.4	265
1993	297.4	226.8	261.5	267.9	264.3	234.4	253.5	237.4	248.1	239.2	196.8	262.8
1994	234.6	236.2	265.6	265.8	279.5	242.1	229.3	250.2	244.6	254.8	265	263.6
1995	271.8	255.2	285.6	228.8	205	251.5	259.4	267.7	262	245.8	237.4	281.6
1996	246.3	261.3	258.1	248.2	230.6	235.1	249.3	241.8	245.7	243.5	241.2	294.3
1997	227.3	238.8	264.1	242.2	243.5	241.4	252.6	299.9	213.4	230	219.2	274.2
1998	230.9	268.5	272.1	274.2	295.1	237.7	270	259.6	257	228.7	243.1	246.7
1999	233.6	155.4	241.4	258.2	267	239.6	261.3	281.8	270.8	259.8	231.2	274.4

ANEXO 10

Tabela 10: Insolação Total Medida pelo INAM (h)

Ano/ Mês	Estação de Changalane											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1970	224.1	225.3	255.9	251.0	243.8	234.1	246.1	280.5	236.9	226.2	201.4	212.5
1971	193.0	210.6	260.7	208.6	233.8	240.1	279.2	274.1	212.6	180.3	152.9	207.5
1972	207.6	183.4	196.0	252.6	211.9	275.6	273.5	233.4	230.7	164.1	191.6	203.8
1973	194.8	183.3	207.9	187.2	236.0	222.4	239.6	242.1	180.4	211.5	161.7	179.0
1974	229.6	221.9	225.9	214.9	252.4	258.6	256.6	251.4	236.8	202.5	182.9	216.3
1975	188.0	143.2	232.5	211.4	250.9	238.5	285.7	249.2	167.5	178.8	149.2	142.4
1976	203.2	230.8	230.9	230.7	232.2	256.6	271.3	255.9	234.2	217.8	192.5	197.1
1977	230.5	197.3	170.4	252.0	267.3	242.8	265.0	220.9	192.3	200.9	189.1	205.8
1978	170.1	206.0	227.2	258.3	249.2	254.9	240.0	188.6	219.0	134.4	187.8	272.0
1979	219.4	243.8	224.7	244.3	254.6	220.4	227.8	185.4	153.3	159.1	180.4	216.3
1980	211.1	212.2	228.7	259.3	271.6	280.8	251.8	243.0	164.9	210.7	149.6	243.5
1981	197.1	169.9	234.2	252.0	225.9	244.8	249.6	189.8	175.2	189.7	159.3	232.1
1982	190.8	224.1	236.9	179.1	240.8	255.5	248.1	253.4	204.7	212.6	159.8	243.7
1983	244.5	213.1	207.3	247.6	231.3	231.4	229.8	248.1	232.3	176.3	147.2	224.7
1984	215.3	214.4	183.7	259.6	260.1	232.9	220.7	245.3	182.4	155.6	171.9	226.1
1985	259.2	214.3	224.6	234.4	221.5	251.3	239.6	262.8	206.8	248.8	232.9	201.8
1986	227.3	198.3	254.7	178.0	268.5	259.7	260.7	261.6	199.1	192.5	198.0	223.4
1987	202.9	253.4	216.7	230.6	247.6	244.4	261.8	236.7	170.4	188.1	128.4	163.4
1988	222.8	203.7	209.9	202.9	244.6	235.8	274.2	240.5	212.4	155.6	207.1	201.8
1989	231.2	159.4	258.5	225.0	245.4	240.1	267.9	257.2	253.6	207.2	159.8	218.5
1990	226.8	181.6	234.2	214.5	247.2	238.1	271.1	249.1	232.9	181.4	183.4	210.1

ANEXO II

Tabela 11: Insolação Total Medida pelo INAM (h)

Ano/ Mês	Estação de Maniquenique											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1970	311.4	236.1	278.2	261.3	275.5	233	241.9	253.8	261.6	262.5	239.7	277.7
1971	240.7	249.2	292.7	252.8	223.2	217	244.5	283.4	255.3	218.9	201.1	266.6
1972	222.2	139.8	245	266	199.2	232.3	277.6	240.4	211.7	241.5	240	237.6
1973	274.1	248.7	264.4	236.6	236.8	197.2	226.4	260.1	197.9	238.4	221.6	235.6
1974	283.1	243.9	254	209.7	241.8	253	230.2	267.9	250.1	245	189.9	250.2
1975	253.2	228.5	238.8	217.6	249.6	211.6	262.3	247	241.7	234.1	256.9	237.5
1976	276	269.4	246.2	219	197.9	244.2	247.9	245	249.5	267.5	221.4	293.7
1977	291.9	205.3	208.2	249.7	263.7	237.9	241.1	231.1	229.6	265.8	241.4	254.4
1978	216.5	211	261.6	247.7	256.5	202	225.7	241.9	222.2	197	245.6	266.8
1979	270.7	271.9	237.6	272.6	247.9	220.9	243.1	213.2	194	204.1	203.9	291.2
1980	260.8	233.1	247.3	245.1	264.1	232.4	236.9	260.7	211.3	247.4	177.5	250.2
1981	271.8	207.9	238.1	264.6	244	220.1	233.3	243.2	214.7	238.1	206.1	253.1
1982	269.6	240.1	251.9	206.5	240.2	222	226.5	255.7	258.2	242.3	231.2	270.8
1983	286.4	258.4	232.4	259.2	241	222	226.8	255.8	283.7	248.1	204.9	276.6
1984	267	265.2	212.9	240.2	244.7	202.7	227.3	247.3	208.7	213.7	230.7	266.2
1985	276.8	282.6	247.1	263.1	220.4	186.9	231.5	258.2	211.3	285.1	266.5	256.6
1986	280.2	245.7	243.3	201.8	267.1	206.9	245.7	282.1	233.9	212.8	220.7	235
1987	273.7	285.1	269.6	237.8	253.5	223.5	221.9	232.1	229.8	227.5	217.2	233.7
1988	273.9	244.6	265.2	216.4	243.4	217.2	243.6	258.3	242.4	192.2	241	229.3
1989	291.9	218.5	288	238.6	260.1	199.3	248.5	244.8	252.8	246.8	205.5	257.1
1990	249.9	229	254.8	237.6	251.8	238.9	250.6	231.9	252.6	251	273.7	226.8
1991	296.6	209.9	234.9	259.4	242	203.7	257.9	257.3	214	287.5	235.4	274.1
1992	285.2	311	259.5	252.6	236.1	226.9	240.2	245.1	227.8	207.3	205.1	267.9
1993	304.2	215.8	263.6	263.7	230.5	238	232.4	223.6	256.4	218.2	205	264.4
1994	269.5	231.6	284.6	251.5	276.5	223.5	247.6	230	232.5	237.5	250	236.8
1995	260.9	258	225.7	209.6	193.5	214.8	254	253.5	263.8	254	237.2	267.3
1996	213.5	269.1	240.7	213.1	238.8	214.5	214.1	230.3	218.3	258.4	260.3	258.2
1997	237.7	215.3	214.7	248	251.2	232.1	226.7	268.8	200.8	198.4	208.8	259.7
1998	205.6	267	284.5	252.7	260.3	242.1	229.5	239.3	242.6	209.5	237.8	232.8
1999	250.9	191.5	274.2	225.2	241.2	259.1	224	273.4	248.2	284	234.3	296.7

ANEXO 12

Tabela 12: Insolação Total Medida pelo INAM (h)

Ano Mês	Estação de Chokwe											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1970	321.8	246.5	261.2	273.8	287.9	240.8	255.3	274.7	268.7	251.3	223.2	257
1971	230.8	243.3	287.7	259.2	252.8	238.7	266.5	282.9	259.8	225.5	184.6	252.3
1972	213.1	179.6	233.4	259.1	218.9	258.3	281.2	257.1	227.1	243.9	237.6	284.2
1973	285.6	251.6	277.9	232.7	241.8	202.5	236.9	263.5	206.2	228.3	205.3	207.3
1974	271.2	240.3	234.2	213.7	262.2	259.5	237.1	267.6	252.1	222.7	186.8	248
1975	245.3	212.2	230.3	224.9	279.2	237.1	278.8	259.4	249.9	236.3	256.8	241.3
1976	272.3	265.2	250.8	217	210.6	246.8	265	265.6	259.2	247.5	215.9	274.7
1977	280.5	250.2	201	269.6	259.6	248.3	259.1	226.3	223.5	259.4	253.1	244.4
1978	199.5	212.7	246.3	251.5	247.7	234.5	245.7	234.4	212.3	187.6	213.4	267
1979	249.1	217.6	232.1	257.1	252.8	227.4	257.2	218.3	198.6	187.9	211	289.4
1980	268.7	227.6	254	260.7	279.3	254.4	247.5	258.6	197.3	234.3	173.6	259.6
1981	247.2	180	226.9	252.8	234.8	243.4	242.5	190.8	161.2	193.7	224.9	266.2
1982	268	225.2	247.1	210.8	244.4	230	228.2	267.2	245.7	222.8	215.6	258.4
1983	270.4	236.7	226.9	270.1	237.5	231.9	227.5	255.1	258.6	225.1	210.4	266.1
1984	264.7	230.8	195.3	250.7	247.2	217.3	221.4	239	200.2	209.6	203.7	281.1
1985	252.8	256	230.6	245.5	224.5	243.6	243.9	265.9	205.5	263.3	260.6	258.7
1986	257	241.3	265.6	194.7	272.5	243.6	262.6	280.2	226.5	203.8	221.4	233.7
1987	264.6	265.1	267.4	242.5	258.8	235.2	257.4	243.1	206.3	225.4	202.6	239.9
1988	281	260	227.9	232.3	252.3	244.3	252.1	248.6	249	181.1	232.6	218.5
1989	302.2	210.3	280.3	219.7	266.3	215.3	259.2	262.6	248.4	214.3	210.2	248.7
1990	233.9	207.8	243.7	255.4	240.2	263.5	237.4	256.8	229.4	253.2	319.7	252.1
1991	282.7	220.3	217	271.7	252.9	217.3	264.6	272.9	205.9	286.4	238	270.4
1992	269.6	297.6	272.2	270.2	276.7	225.3	241.4	235.1	230.4	203.6	221.8	269.8
1993	296.4	188.1	239.5	276.6	238.8	245	235.4	253.4	254.6	207	190	245.6
1994	265.3	208.4	274.2	256.4	276.4	226.2	255.2	247.6	234.3	221.7	231.4	235.1
1995	237.2	232.4	226.3	247.6	237.6	241.1	244.3	258.1	245.3	232.4	225.5	260.9
1996	205.7	224.6	235.3	218.3	190.6	236	210.4	225.2	216	240.9	209.4	250
1997	208.2	187.5	205.4	239.3	244.6	227.5	208.5	266.9	194.8	197.9	203.7	241.8
1998	201.4	230.3	273.5	248.6	272.2	261.9	244.3	243.1	238.2	191.3	214.8	210.1
1999	251.5	171.4	277.2	203.3	244.5	271.2	238.8	273	211.2	265.3	208.7	242.6
2000	201.5	200.8	275.4	253.2	231	202	232.2	258.1	184.2	188.5	194.8	277.6

ANEXO 13

Tabela 13: Radiação Difusa Medida Pelo INAM (cal/m2)

Ano/ Mês	Maputo Observatório											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1970	201.0	189.9	142.8	117.7	96.6	87.3	101.6	120.9	135.2	149.7	194.6	228.9
1971	204.8	189.2	155.9	143.8	110.5	75.2	75.3	104.7	141.1	183.5	213.6	200.1
1972	201.9	196.1	166.5	112.5	88.8	67.8	87.8	114.5	139.4	196.7	167.1	166.4
1973	205.3	179.0	151.0	126.5	90.7	95.2	82.4	107.3	147.3	161.3	190.5	202.7
1974	178.3	148.1	151.5	123.6	100.5	70.4	86.5	112.7	139.5	195.2	182.9	212.1
1975	197.2	193.3	171.8	120.7	93.6	81.7	80.9	116.0	166.5	178.4	205.2	227.7
1976	182.7	147.3	142.0	116.9	106.9	73.8	79.3	127.7	138.8	191.8	165.6	199.3
1977	174.5	146.5	180.7	117.0	93.5	82.2	91.3	110.3	144.2	171.5	185.4	213.5
1978	136.1	94.4	87.5	65.0	59.2	45.8	59.2	116.5	88.0	135.4	189.5	191.6
1979	212.6	158.7	155.1	130.5	106.1	76.0	86.5	112.5	164.7	180.3	170.5	198.2
1980	170.6	147.3	174.1	110.4	98.6	73.5	99.4	115.6	186.9	217.3	208.4	185.0
1981	212.0	177.6	176.7	119.3	104.0	79.2	99.5	119.2	160.1	201.7	211.2	245.4
1982	235.4	158.3	156.5	153.7	108.4	87.3	93.1	116.3	153.8	199.1	222.9	226.7
1983	216.0	200.9	195.0	149.1	117.4	94.7	122.5	125.6	150.2	193.5	203.4	214.6
1984	212.1	180.4	182.9	132.8	100.0	91.4	113.1	133.5	172.7	194.9	225.0	211.5
1985	191.5	155.8	171.2	133.1	120.2	88.7	119.7	126.1	175.2	175.5	199.1	221.7
1986	214.3	179.1	161.7	148.9	101.9	83.3	93.9	128.0	157.9	197.9	204.9	194.2
1987	220.4	154.1	176.0	123.3	98.1	84.8	102.7	114.4	143.6	203.4	264.7	247.1
1988	216.2	171.3	182.7	153.3	97.5	81.6	100.1	124.5	143.9	189.6	213.9	242.9
1989	204.5	204.5	162.4	131.2	104.3	84.2	90.9	103.2	130.0	185.5	221.9	216.3
1990	198.1	211.8	162.9	118.3	103.3	82.8	105.1	113.0	134.7	203.9	179.1	239.6
1991	198.5	185.8	196.6	102.3	98.7	84.9	72.7	107.7	188.6	216.1	215.9	226.3
1992	250.4	186.2	190.0	118.9	111.6	102.4	106.4	149.4	188.8	233.3	232.4	223.3
1993	219.7	201.3	182.4	143.9	116.3	93.9	117.3	132.7	156.8	218.6	215.9	229.1
1994	202.5	174.0	156.5	134.7	108.7	91.5	97.6	125.3	154.5	187.5	204.2	207.5
1995	213.4	174.6	179.9	142.4	119.7	92.9	107.5	123.8	160.4	200.5	189.4	231.4
1996	218.1	178.1	175.5	138.4	119.9	85.3	100.7	124.5	170.2	192.6	213.2	198.7
1997	191.9	179.5	193.0	120.3	112.1	74.1	113.1	127.1	172.6	183.5	178.9	230.0



ANEXO 14

Tabela 14: Insolação Máxima Diária ou Fotoperíodo (h)

Local	Mês	Duração do Dia											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Aug	Set	Out	Nov	Dez
Maputo		13.4	12.9	12.2	11.4	10.7	10.4	10.6	11.1	11.9	12.6	13.3	13.6
Xai-Xai		13.4	12.8	12.1	11.4	10.8	10.5	10.6	11.2	11.9	12.6	13.2	13.5
Inhambane		13.3	12.8	12.1	11.4	10.8	10.6	10.7	11.2	11.9	12.6	13.2	13.5
Changalane		13.4	12.9	12.2	11.4	10.7	10.4	10.5	11.1	11.9	12.7	13.3	13.6
Maniquenique		13.3	12.8	12.1	11.4	10.8	10.5	10.6	11.2	11.9	12.6	13.2	13.5
Chokwe		13.3	12.8	12.1	11.4	10.8	10.5	10.6	11.2	11.9	12.6	13.2	13.5

Tabela 15: Radiação Astronómica (kWh/m<sup>2</sup>)

Local	Mês	Radiação Astronómica											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Aug	Set	Out	Nov	Dez
Maputo		11.84	11.10	9.76	8.04	6.54	5.82	6.13	7.37	9.05	10.59	11.60	12.01
Xai-Xai		11.81	11.11	9.82	8.14	6.67	5.96	6.26	7.48	9.13	10.62	11.58	11.97
Inhambane		11.77	11.12	9.89	8.28	6.84	6.14	6.44	7.63	9.22	10.65	11.56	11.91
Changalane		11.85	11.09	9.73	8.00	6.49	5.77	6.08	7.32	9.02	10.58	11.61	12.02
Maniquenique		11.80	11.11	9.84	8.18	6.72	6.01	6.31	7.52	9.15	10.63	11.58	11.95
Chokwe		11.79	11.11	9.85	8.20	6.75	6.04	6.34	7.55	9.17	10.63	11.57	11.94

ANEXO 15

Tabela 16: Médias da Radiação Solar Global

Local Mês	Radiação Global (Médias)											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Aug	Set	Out	Nov	Dez
Maputo (Cal/cm2)	577.9	541.2	491.2	417.9	350.9	322.7	331.8	381.1	425.4	470.8	501.9	570.5
kWh/m2)	6.72	6.29	5.71	4.86	4.08	3.75	3.86	4.43	4.94	5.47	5.83	6.63
Xai-Xai (Cal/m2)	570.0	541.5	476.3	400.0	331.2	294.2	309.3	369.4	440.5	502.3	542.7	571.2
kWh/m2)	6.62	6.29	5.54	4.65	3.85	3.42	3.60	4.29	5.12	5.84	6.31	6.64
Inhambane (Cal/cm2)	576.0	549.3	487.7	424.1	349.6	316.3	340.8	395.9	462.2	514.6	562.2	569.3
kWh/m2)	6.69	6.38	5.67	4.93	4.06	3.68	3.96	4.60	5.37	5.98	6.53	6.62
Changa lane (cal/cm2)	611.4	590.9	528.2	452.5	381.4	348.4	365.7	421.9	483.2	536.4	572.0	615.8
kWh/m2)	7.11	6.87	6.14	5.26	4.43	4.05	4.25	4.90	5.62	6.23	6.65	7.16
Manique nique (Cal/cm2)	563.2	531.9	488.8	400.5	339.1	309.8	330.3	379.2	434.7	487.8	520.3	562.6
kWh/m2)	6.55	6.18	5.68	4.65	3.94	3.60	3.84	4.41	5.05	5.67	6.05	6.54
Chokwe (Cal/cm2)	565.3	537.7	486.5	414.7	355.7	319.4	330.1	389.4	438.4	485.5	505.1	554.5
kWh/m2)	6.57	6.25	5.65	4.82	4.13	3.71	3.84	4.53	5.10	5.64	5.87	6.44

