

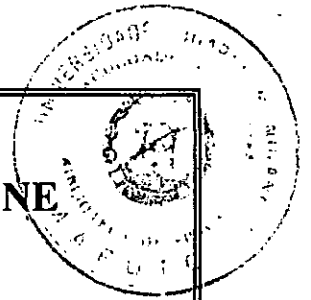
F15.44



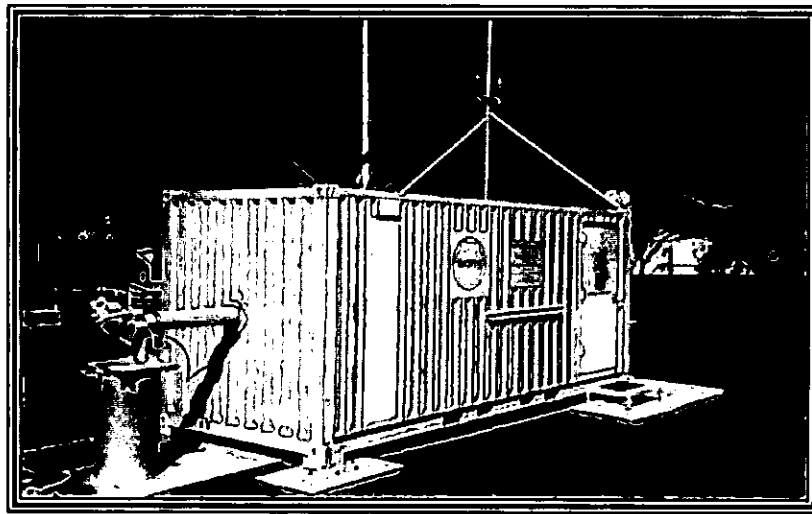
UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA



TRABALHO DE LICENCIATURA



**MODELO DE ANGSTROM E ANÁLISE DOS
COMPONENTES ATMOSFÉRICOS QUE ATENUAM A
RADIAÇÃO SOLAR**

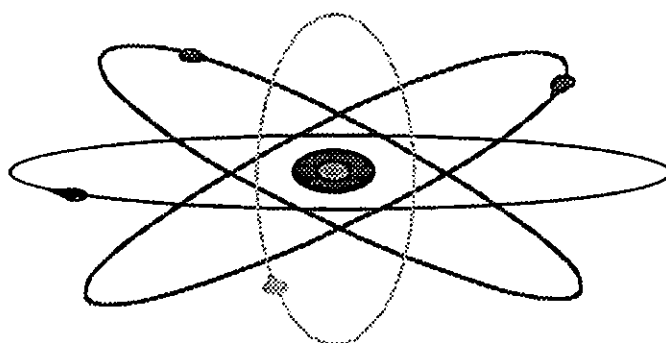
Autor :

Faustino Armando Nhanombe

Maputo, 2002

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

TRABALHO DE LICENCIATURA



**MODELO DE ANGSTROM E ANÁLISE DOS
COMPONENTES ATMOSFÉRICOS QUE
ATENUAM A RADIAÇÃO SOLAR**

Supervisores : Dr. Jagan Nandamudi
dr. António Joaquim Queface

Maputo, 2002

DEDICATÓRIA

AOS MEUS PAIS:

ARMANDO TAFULA NHANOMBE

E

MARIA DO CÉU ZEFANIAS ALAR

E

AOS MEUS IRMÃOS

AGRADECIMENTOS

Este trabalho tornou-se possível graças a colaboração do Departamento de Informática do INAM constituído por Elias Vasco, Madigapola de Fonseca, Marta Mbeve, Natércia Langa e Vasco Tovela; a secção de radiação do INAM: Daniel Quissico, Vasco e Augusto; dos meus professores do Departamento de Física e colegas: João José Lobo, António Mavie, Felix Tomo, Macamo, Humberto Mutevue, Ana Costa, Egás Da Graça Chioco, Marília.

Também com o apoio moral dos meus amigos: Ângela Bilale, Tomás Munhezane, Vaz de Oliveira, Kaila Gani, Amira Gani, Atália Pio, Gilda Pio, e outros que directa ou indirectamente estiveram sempre comigo neste trabalho.

E um especial agradecimento a médica Psiquiátrica a Dr. Aida do Hospital central do Maputo. Também para o dr. Queface que deu todo o suporte científico deste trabalho.

Por último endereçar um obrigado ao Tomas Munhazana pelo esforço e dedicação demonstrado para levantar a minha moral nos momentos mais deficiente deste trabalho.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Este trabalho foi realizado por mim e todas as referências e dados contidos neste trabalho são da inteira responsabilidade do Autor. Assim como o material usado.

Maputo, Setembro de 2000

O autor

(Faustino Armando Nhanombe)

TABELAS	Pagina
Tabela - 1: Valor de declinação solar ao longo do ano-----	9
Tabela - 2: Valores dos ângulos horários nas cinco capitais-----	10
Tabela - 3: Valores da radiação solar no topo da atmosfera-----	11
Tabela - 4: Valores das constantes de Angstrom <u>a</u> e <u>b</u> -----	13
Tabela - 5: Valores da radiação solar em Maputo no mês de Janeiro-----	24
Tabela - 5: Valores da radiação solar em Maputo no mês de Janeiro-----	24
Tabela - 5: Valores da radiação solar em Maputo no mês de Janeiro-----	24
Tabela - 6: Valores da radiação solar em Maputo no mês de Junho-----	25
Tabela - 7: Valores da radiação solar na Beira no mês de Janeiro-----	26
Tabela - 8: Valores da radiação solar na Beira no mês de Junho-----	27
Tabela - 9: Valores da radiação solar em Nampula no mês de Janeiro-----	28
Tabela -10: Valores da radiação solar em Nampula mês de Junho-----	29
Tabela -11: Valores da radiação solar em Tete no mês de Janeiro-----	30
Tabela -12: Valores da radiação solar em Tete no mês de Junho-----	31
Tabela - 13: Valores da radiação solar em Pemba mês de Janeiro-----	32
Tabela - 14: Valores da radiação solar em Pemba no mês de Junho-----	33

ANEXOS

Pagina

Anexo – 1a: Comparação dos valores observados e calculados de Maputo em janeiro-----	34
Anexo – 1b: Comparação dos valores observados e calculados de Maputo em junho-----	34
Anexo – 2a: Comparação dos valores observados e calculados da Beira em janeiro-----	35
Anexo – 2b: Comparação dos valores observados e calculados da Beira em junho-----	35
Anexo – 3a: Comparação dos valores observados e calculados de Tete em janeiro-----	36
Anexo – 3b: Comparação dos valores observados e calculados de Tete em junho-----	36
Anexo – 4a: Comparação dos valores observados e calculados de Pemba em janeiro-----	37
Anexo – 4b: Comparação dos valores observados e calculados de Pemba em junho-----	37
Anexo – 5a: Comparação dos valores observados e calculados de Nampula em janeiro---	38
Anexo – 5b: Comparação dos valores observados e calculados de Nampula em junho----	38
Anexo – 6 Teste χ^2 para validar os dados de Maputo no mês de janeiro-----	39
Anexo – 7 Teste χ^2 para validar os dados de Maputo no mês de Junho-----	40

ÍNDICE	Página
Dedicatória -----	I
Agradecimentos -----	II
Declaração de honra -----	III
Tabelas -----	IV
Anexos -----	V
CAPÍTULO – I	
1.1 Resumo -----	1
1.2 Introdução -----	2
CAPÍTULO - II	
2.1 Fundamentação teórica -----	4
2.2 Radiação global recebida na superfície do globo -----	5
2.3 Descrição dos instrumentos -----	7
2.4 Metodologia -----	9
CAPITULO – III	
3.1 Análise dos componentes atmosféricos -----	17
3.2 Discursão dos resultados e Conclusões -----	20
3.3 Recomendações -----	23
CAPÍTULO – IV	
4.1 Tabelas e Anexos -----	24
4.2 Literatura -----	41

CAPÍTULO – I

1.1 RESUMO

A principal fonte de energia natural do nosso planeta é o sol, esta energia atinge a superfície do globo terrestre em quantidades extraordinárias. Pode-se dizer que todos os tipos de energia natural existentes na terra são provenientes directa ou indirectamente do sol, à excepção da energia nuclear.

O carvão, petróleo e o gás natural funcionam como reservatórios de energia solar acumulada em épocas geológicas, como também o vento e a energia hidráulica. As outras fontes de energia, como sejam, as provenientes da lua, dos outros planetas e das estrelas e do interior da terra são praticamente desprezíveis comparadas com a do sol.

Na energia solar reside a verdadeira causa de todos os processos físicos e químicos e de todos os fenómenos quer meteorológicos ou biológicos que ocorrem na Terra.

Os raios solares ao atravessarem a atmosfera sofrem uma série de fenómenos, tais como a difusão da luz que nos permite ver os objectos à sombra e nos dá a cor azul do céu, e o colorido do céu e das nuvens ao nascer e ao pôr do sol, e muitos fenómenos ópticos (arco-íris, halos, coroas, auroras polares, etc.).

O aquecimento desigual da superfície do globo terrestre e da atmosfera adjacente pela radiação solar é responsável pela distribuição da pressão atmosférica que, por sua vez, produz movimentos do ar, isto é, os ventos, e de um modo geral, a circulação geral da atmosfera. Também é devido à acção da radiação solar que se evaporam grandes quantidades de água: o vapor de água assim produzido ocasiona as variações de humidade cuja condensação dá origem às nuvens e à precipitação a qual alimenta os cursos de água que são, como o vento, fontes secundárias de energia.

Por outro lado actualmente têm sido grande preocupação da humanidade a questão das mudanças climáticas, como seja o aquecimento global da terra, o descogelamento do gelo nos polos.

Por todos esses motivos há uma necessidade de se conhecer as quantidades de radiação solar que chegam a superfície da terra para uma eficaz utilização dela, daí o estabelecimento de uma fórmula teórica para o cálculo da radiação solar, a fim de preencher as falhas que podem existir nas observações ou calcular a radiação nos lugares onde não há aparelhos apropriados para a observação da radiação solar.

1.2 INTRODUÇÃO

Do total da energia irradiada pelo sol apenas uma pequenissima parte é interceptada pelo globo terrestre. Desta grande quantidade mencionada anteriormente só $2,0 \text{ cal/min}\cdot\text{cm}^2$ atinge em média o topo da atmosfera e é chamado de constante solar.

Para explicar esta prodigiosa energia, que pelo menos há cinco mil milhões de anos atinge a terra, numerosas hipoteses foram apresentadas, mas até 1938 nenhuma delas tinha conseguido explicar o fenómeno de maneira convincente. O problema começou a ser encarado com muita seriedade, a partir do momento que há uma necessidade do aproveitamento da energia de origem solar. O uso da energia solar passa necessariamente pelo conhecimento pormenorizado das características da incidência da radiação solar na superfície do Globo.

Pois a energia ao penetrar na atmosfera sofre fenómenos de absorção, reflexão e difusão devido as moléculas do ar, particulas suspensas na atmosfera, vapor de agua, ozono e outros constituintes da atmosfera. Por outro lado, na actividade profissional de engenheiros, architectos, agrónomos e outros, surgem, muitas vezes, problemas que só podem ser resolvidos convenientemente pelo conhecimento da disponibilidade temporal e espacial da energia solar.

Em Moçambique foi instalada desde há anos uma rede de observações actinometricas dividida por dois grupos de estações: As estações de 1ª classe equipados com solarímetros, solarígrafos, que medem directamente a quantidade da radiação solar que atinge a superfície da terra, e de heliográficos. Estas estações estão localizadas nas capitais provinciais, e um outro grupo de estações de 2ª classe equipados apenas com heliográficos para a observação da insolação, cuja finalidade é a de avaliar o número de horas de sol descoberto, durante o dia que depende da distribuição da nebulosidade.

Devido a exiguidade de instrumentos que medem directamente a radiação solar, causado pelo custo elevado de aquisição e manutenção e com vista a responder eficazmente as necessidades actuais do uso da energia solar, há uma necessidade de se estabelecer um modelo teórico capaz de fornecer uma informação quantificada da radiação solar em todo o territorio nacional e também para o preenchimento de falhas mesmo nas estações onde há aparelhos de medição directa da radiação solar. É com esta finalidade que com o presente trabalho pretende-se a partir da insolação obtermos a radiação solar usando o modelo de Angstrom pois a maior parte das estações nacionais só possuem heliográficos. Os dados utilizados neste trabalho são de

cinco capitais provinciais nomeadamente Maputo, Beira, Tete, Nampula e Pemba com características geográficas e climáticas representativas de diferentes regiões do nosso país.

Para uma melhor caracterização foi utilizada uma serie de 30 anos referente ao período que vai de 1968 a 1997 de dados de insolação, e para fins de comparação entre dados observados e dados teóricos calculados com o modelo de Angstrom utilizou-se os dados de radiação solar das cinco capitais provinciais escolhidas anteriormente. A fonte destes dados é o Instituto Nacional de Meteorologia.

CAPÍTULO – II

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

DEFINIÇÕES BÁSICAS

A Radiação Global - é quantidade total de energia radiante de origem solar que atinge a superfície da terra, durante o intervalo diurno de tempo considerado, os seus valores são expressos em (cal/cm^2).

Radiação difusa - é a quantidade de energia radiante de origem solar difundida pela atmosfera e atinge a superfície da terra, os seus valores são expressos em (cal/cm^2)

Radiação directa - é a quantidade de energia radiante de origem solar que atinge directamente a superfície da terra sem sofrer qualquer efeito na atmosfera, os seus valores são expressos em (cal/cm^2).

Insolação - é o numero de horas de sol descoberto durante o dia. A insolação máxima (S_0) num dia, correntemente conhecida pela designação de insolação astronómica, é o valor em horas do periodo diurno.

2.2 RADIAÇÃO GLOBAL RECEBIDA EM QUALQUER PONTO DA SUPERFÍCIE DO GLOBO

Para o cálculo da radiação solar para qualquer ponto da superfície do globo foram concebidas várias fórmulas e métodos por diversos cientistas, e cada um deles utilizava uma relação com certos parâmetros meteorológicos tais como a quantidade da nebulosidade durante o dia, a água precipitável e outros, só que estes modelos não eram assim tão acessíveis de usar devido a grande complexidade na medição dos parâmetros em causa, conseqüentemente, ofereciam pouca precisão dos valores daí calculados. Neste trabalho foi utilizado o modelo de **Angstrom** que toma em conta o número de horas de brilho solar durante o dia (insolação) que têm a seguinte fórmula:

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (1)$$

Onde H_0 é a radiação no topo da atmosfera e é um valor tabelado; H é a radiação na superfície e é medido directamente por aparelhos; S_0 é a insolação teórica designada por insolação astronómica que representa o número de horas do nascer ao pôr do sol; S é insolação medida pelo heliógrafo; a e b são coeficientes de Angstrom e descrevem a quantidade e as dimensões geométricas das partículas suspensas na atmosfera respectivamente. O modelo de Angstrom permite calcular a radiação global na superfície com maior precisão, pois utiliza um parâmetro de medição directa que é a insolação.

As informações que acabamos de nos referir só poderão servir convenientemente todas as necessidades da meteorologia, da geofísica, da engenharia e dos utilizadores se forem interpretados a luz dos conhecimentos actuais sobre a propagação da radiação solar na atmosfera; e se a partir daquela interpretação forem estabelecidos modelos físicos capazes de caracterizar a variação da radiação solar no espaço e no tempo e da sua propagação no sistema Globo-atmosfera.

Numa atmosfera sem nuvens a radiação solar é difundida pelas moléculas os diferentes componentes do ar seco e ; é absorvida consideravelmente e difundida pelo vapor de água na presença de nuvens; e é difundida e absorvida pelas poeiras em suspensão no ar. A atenuação da radiação solar na atmosfera têm um carácter selectivo , assim a intensidade da radiação solar que atinge a superfície do globo têm de ser avaliada por integração das intensidades relativas aos

diferentes comprimentos de onda da radiação solar. Esta atenuação é descrita pela lei de Lambert-Beer da seguinte forma:

$$H = H_0 \exp(-\tau m) \quad (2)$$

Onde \underline{m} é a massa optica da atmosfera, mede o caminho percorrido pela luz a partir do topo da atmosfera até a superfície e é proporcional ao inverso do coseno do ângulo zenital, $\underline{\tau}$ é a espessura optica dos aerossóis.

É importante salientar que dos processos físicos que a radiação solar sofre na atmosfera a difusão não envolve qualquer transformação de energia, ela simplesmente origina a redistribuição da energia em torno das partículas difusoras ou seja os fótons tomam outras direcções de propagação, enquanto que a absorção origina um aumento da energia interna das partículas absorvidoras e moléculas de vapor de água o que poderá originar um aquecimento do ambiente a sua volta

Como a atenuação não depende unicamente da massa óptica da atmosfera, mas também da concentração e forma geométrica das partículas, conhecendo os valores de \underline{H} podemos determinar o quociente $\underline{H}/\underline{H}_0$ que é a fracção da radiação atenuada pela atmosfera. A eficiência com que as partículas suspensas na atmosfera difundem ou absorvem a energia solar depende do seu tamanho e da sua forma geométrica, estas propriedades das partículas podem ser avaliados através das constantes de Angstrom \underline{a} e \underline{b} pois eles descrevem exactamente a concentração e a forma geométrica das partículas. Interessa notar que a atenuação devido aos componentes gasosos da atmosfera, excluindo o ozono e o vapor de água, é praticamente dependente do percurso da luz na atmosfera e, portanto dependente apenas da massa seccional geométrica, sendo esta, para cada elemento atenuador, e para cada nível de pressão, uma função bem conhecida de uma única variável, que é a altura do Sol.

É preciso salientar que dos três principais factores físicos mencionados atrás, a radiação solar sofre na atmosfera somente dois deles (absorção e difusão) é que têm maior importância na atenuação da radiação solar, o fenómeno da reflexão manifesta-se com menos intensidade e como consequência a radiação solar atinge a superfície da terra em duas componentes distintas: a radiação solar directa e a radiação solar difusa. Por isso a radiação global é a soma destas duas componentes.

2.3 DESCRIÇÃO DOS INSTRUMENTOS

SOLARÍMETRO – é um sensor de radiação solar cujo o princípio de funcionamento basea-se na captação da radiação solar, é constituído por duas semi-esferas de vidro e metais com coeficientes de dilatação diferentes (fig 1).

HELIÓGRAFO - é um instrumento que regista a insolação (número de horas de céu descoberto), constituído por uma esfera de vidro e uma base metálica onde é colocado o cartão durante o tempo em que os raios solares incidem na esfera. Estes raios solares ao incidirem na esfera são focalizados num ponto. (Fig 2).

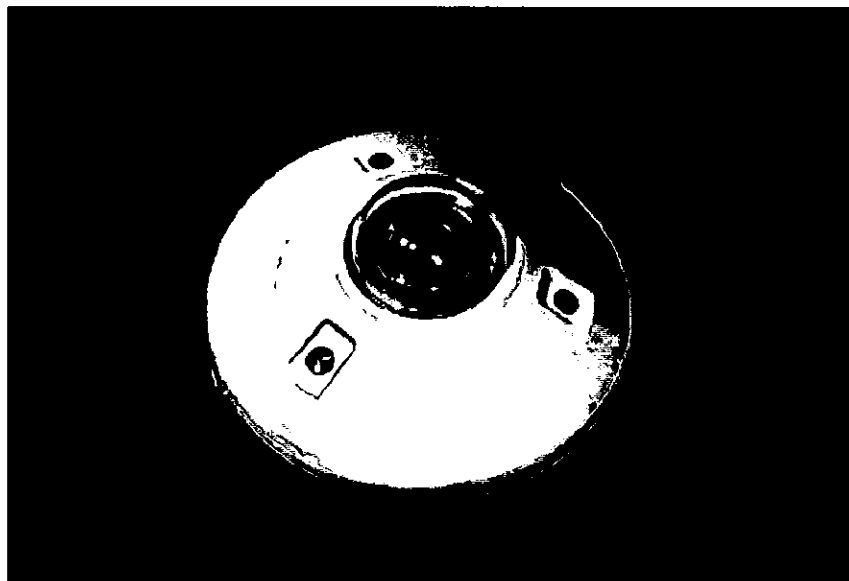


Figura – 1: Solarímetro KIPP δ ZONEN



Figura - 2: Heliógrafo CAMPBELL

2.4 METODOLOGIA

Para calcular teoricamente a radiação Global utilizando a formula de Angstrom:

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left(\frac{S}{S_0} \right) \text{ é preciso seguir um processo que se descreve a seguir:}$$

I - Determina-se para cada mês a declinação solar utilizando a formula de SPENCER [2] e que depende do dia, convencionou-se utilização do calendário Juliano onde se conta a partir do dia 1 de Janeiro como n=1 até 31 de Dezembro como n=365 e escolhe-se o dia 15 de cada mês:

$$\delta = (0.006918 - 0.399912 \times \cos \Gamma + 0.070257 \times \sin \Gamma - 0.006758 \times \cos 2\Gamma + 0.00090907 \times \sin 2\Gamma - 0.002697 \times \cos 3\Gamma + 0.00148 \times \sin 3\Gamma) \times \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

Onde Γ é igual a:

$$\Gamma = \frac{2 \pi (d_n - 1)}{365} \quad - \text{ que é o ângulo dia}$$

d_n - é o numero do dia do ano no calendario Juliano

Tabela - 1: Valor de declinação solar ao longo do ano

MÊS	DECLINAÇÃO	MÊS	DECLINAÇÃO
JANEIRO	- 21.27	JULHO	+ 21.67
FEVEREIRO	- 12.96	AGOSTO	+ 14.33
MARÇO	- 2.452	SETEMBRO	+ 3.39
ABRIL	+ 9.460	OUTUBRO	- 8.16
MAIO	+ 18.65	NOVEMBRO	- 18.25
JUNHO	+ 23.28	DEZEMBRO	- 23.20

É preciso salientar que existem outras formulas para o cálculo da declinação solar. A que foi utilizada aqui dá uma boa precisão, enquanto que as outras são mais utilizadas quando se pretende resultados aproximados.

II - Calcula-se o ângulo horário, ao nascer do Sol do local considerado, este parâmetro é função da latitude e da declinação solar como a fórmula mostra a seguir:

$$\omega = \text{ACOS}[-\text{TAN}(\delta) \times \text{TAN}(\phi)] \quad (3)$$

δ - é a declinação solar ;

ϕ - é a latitude do lugar considerado.

Também aqui mostra-se a seguir as tabelas dos valores dos ângulos horários:

Tabela - 2: Valores dos ângulos horários nas cinco capitais provinciais

MÊS	MAPUTO Lat. -25°58'	BEIRA Lat. -19°48'	NAMPULA Lat. -15°06'	TETE Lat. -16°11'	PEMBA Lat. -12°59'
JANEIRO	100.99	97.96	96.06	96.50	95.04
FEVEREIRO	96.68	94.85	93.70	93.97	93.08
MARÇO	91.46	91.07	90.82	90.88	90.69
ABRIL	94.64	93.37	92.58	92.76	92.14
MAIO	99.56	96.93	95.27	95.66	94.38
JUNHO	102.16	98.80	96.69	97.18	95.56
JULHO	101.14	98.07	96.14	96.59	95.10
AGOSTO	96.95	95.05	93.85	94.13	93.20
SETEMBRO	91.18	90.87	90.67	90.71	90.56
OUTUBRO	94.71	93.43	92.62	92.81	92.18
NOVEMBRO	99.74	97.06	95.38	95.77	94.47
DEZEMBRO	102.17	98.81	96.70	97.19	95.56

III - calcula-se o valor da radiação solar no topo da atmosfera usando a fórmula que se segue:

$$H_0 = \left(\frac{24 \times I_0}{\pi} \right) \times \left[1 + 0.033 \times \text{COS} \left(\frac{360 \times N}{365} \right) \right] \times Z \quad (4)$$

I_0 - é a constante solar e é igual à 1367 Wm⁻² ;

N - é o numero do dia no calendário Juliano;

Z - é a distância zenital e é igual a:

$$Z = \left[\cos(\phi) \times \cos(\delta) \times \sin(\omega) + \frac{2 \times \pi \times \omega}{360} \times \sin(\phi) \times \sin(\delta) \right] \quad (5)$$

E a insolação Astronómica S_0 é igual a:

$$S_0 = \frac{2}{15} \times \text{ARCOS}[-\text{TAN}(\delta) \times \text{TAN}(\phi)] \quad (6)$$

Como se pode ver nas tabelas que se seguem da radiação no topo da atmosfera, a medida que o valor da latitude vai diminuindo os valores mensais vão diminuindo o que parece um pouco estranho pois como se sabe a medida que nos aproximamos do equador as temperaturas vão aumentando, mais isso pode ser explicado pelo facto de que a radiação no topo da atmosfera é independente a aproximação ou não do equador. Exceptuando os meses de Março e Setembro que têm características especiais devido ao facto de que nestes meses é onde temos os equinócios ou seja são os meses da passagem de uma estação para outra:

Tabela – 3: Valores da radiação solar no topo da atmosfera

MESES	MAPUTO Lat. -25°58'	BEIRA Lat. -19°48'	NAMPULA Lat. -15°06'	TETE Lat. -16°11'	PEMBA Lat. -12°59'
JANEIRO	1013.69	992.05	971.12	976.54	957.26
FEVEREIRO	951.49	954.25	949.56	951.16	944.62
MARÇO	845.62	877.60	893.00	889.82	899.31
ABRIL	893.33	906.68	909.35	909.19	908.56
MAIO	956.42	940.65	923.89	928.31	912.42
JUNHO	979.23	948.31	921.69	928.42	904.88
JULHO	968.07	942.85	919.94	925.80	905.14
AGOSTO	919.03	918.29	911.55	913.61	905.57
SETEMBRO	824.85	857.60	873.67	870.32	880.40
OUTUBRO	907.07	920.61	923.31	923.15	922.14
NOVEMBRO	993.08	978.16	961.70	966.07	950.30
DEZEMBRO	1025.29	997.07	971.85	978.28	955.66

A inversão dos valores de radiação verifica-se nos meses de Março e Setembro, isso deve-se ao facto de que o eixo de rotação da Terra está inclinado 66°55' sobre o plano da órbita do

nosso planeta em volta do Sol, ou seja o plano do equador faz um ângulo de $23^{\circ}45'$ com o plano da eclíptica. E só duas vezes por ano, nos equinócios (21 de Março e 23 de Setembro) a linha que separa a metade da Terra iluminada pelo Sol da metade não iluminada coincide com um meridiano e passa pelos polos, nestes dias a insolação astronômica é a mesma em todos os pontos da terra (12 horas) e a radiação solar no topo da atmosfera depende assim apenas das alturas do Sol em cada hora, que são máximas no equador e mínimas nos polos, e também são os meses da passagem de uma estação a outra.

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left(\frac{S}{S_0} \right)$$

IV - Usando a fórmula de Angstrom, : onde com os valores de $\frac{H}{H_0}$ como Y e $\frac{S}{S_0}$ como X e aplicando o método dos mínimos quadrados:

a) Procura-se uma função do tipo: $Y = f(x) = ax + b$;

Onde a e b são os parâmetros a serem determinados, para isso formamos S, pois segundo o método dos mínimos quadrados, os melhores valores de a e b são os que minimizam a soma:

b)
$$S = \sum_{i=1} \left[\frac{Y_i - ax_i - b}{\sigma_i^2} \right]^2$$
 onde σ é o erro de cada medição.

c) Os parâmetros a e b calculam-se através das derivadas parciais de S:

d)
$$\frac{\partial S}{\partial a} = -2 \sum x_i \frac{(Y_i - ax_i - b)}{\sigma_i^2} = 0$$

f)
$$\frac{\partial S}{\partial b} = -2 \sum \frac{(Y_i - ax_i - b)}{\sigma_i^2} = 0$$

Com as fórmulas acima apresentadas acharam-se os coeficientes a e b de Angstrom para cada mês nas cinco capitais provinciais, estes parâmetros a e b também se chamam de coeficientes de regressão. Os valores de H e S foram obtidos por medição no Instituto Nacional de Meteorologia.

Tabela - 4: Valores das constantes de Angström a e b

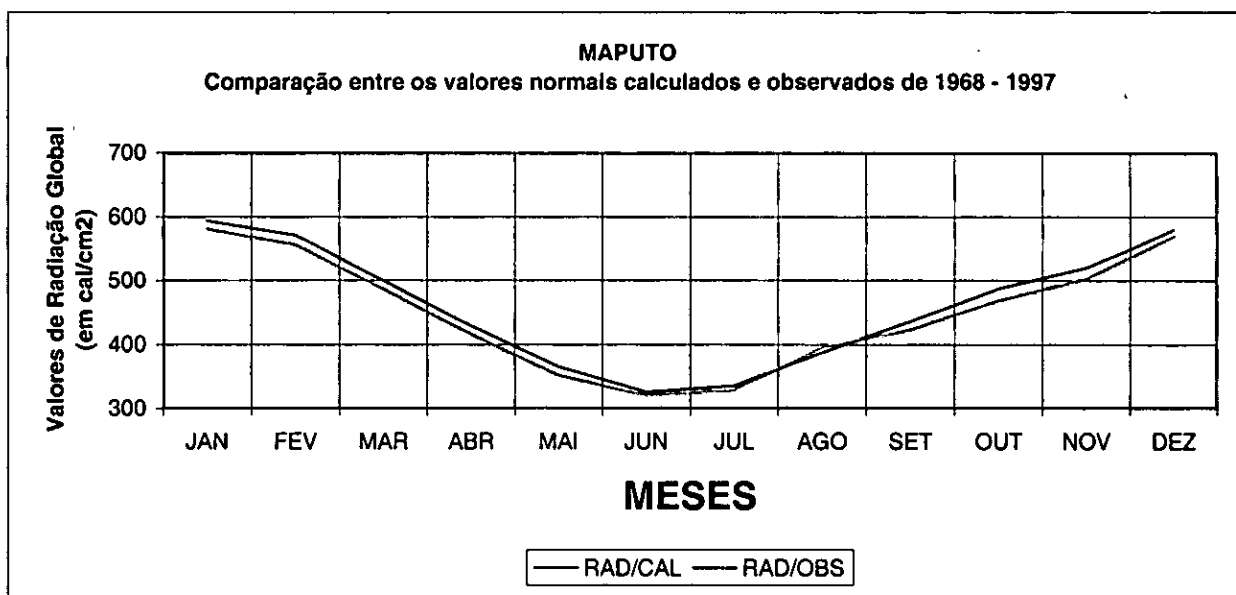
MESES	MAPUTO		BEIRA		NAMPULA		TETE		PEMBA	
	A	b	a	b	a	b	a	b	a	b
JANEIRO	0.15	0.73	0.27	0.47	0.27	0.52	0.30	0.47	0.30	0.41
FEVEREIRO	0.25	0.56	0.28	0.46	0.24	0.54	0.29	0.47	0.45	0.11
MARÇO	0.22	0.59	0.30	0.44	0.32	0.43	0.24	0.53	0.31	0.41
ABRIL	0.19	0.40	0.01	0.68	0.12	0.62	0.35	0.25	0.15	0.55
MAIO	0.36	0.03	0.24	0.24	0.31	0.21	0.24	0.29	0.26	0.31
JUNHO	0.25	0.10	0.17	0.30	0.36	0.12	0.24	0.25	0.43	0.05
JULHO	0.17	0.23	0.27	0.18	0.31	0.20	0.27	0.21	0.44	0.04
AGOSTO	0.15	0.37	0.19	0.37	0.19	0.45	0.19	0.37	0.53	0.01
SETEMBRO	0.31	0.35	0.21	0.51	0.54	0.11	0.31	0.33	0.09	0.67
OUTUBRO	0.23	0.56	0.19	0.58	0.32	0.45	0.35	0.32	0.64	0.03
NOVEMBRO	0.11	0.81	0.28	0.47	0.48	0.19	0.31	0.40	0.44	0.28
DEZEMBRO	0.31	0.46	0.14	0.66	0.28	0.49	0.36	0.36	0.30	0.45

V - Obtidos todos os parâmetros auxiliares, com a formula de Angstrom, calculou-se a radiação solar nas cinco capitais provinciais que são nomeadamente: Maputo, Beira, Tete, Nampula e Pemba.

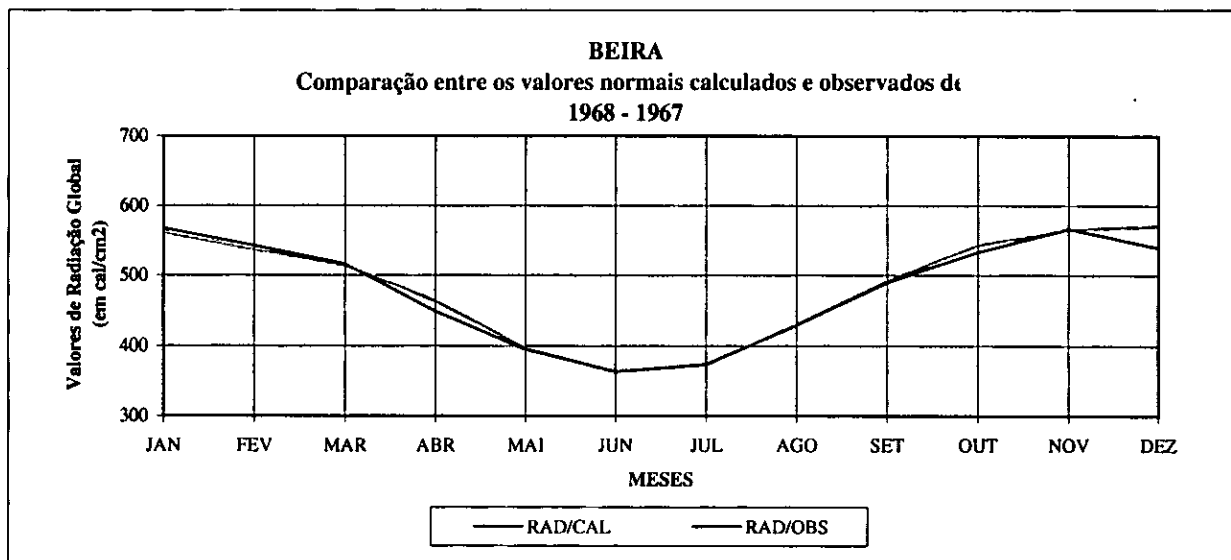
$$\frac{H}{H_0} = a + b \times \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (6)$$

E para um melhor entendimento a seguir estão apresentadas as tabelas das cinco capitais provinciais, onde aparecem todos os parametros utilizados até se chegar ao valor calculado, que é precisamente o objectivo deste trabalho e também apresentam-se gráficos ilustrativos de comparação entre o valores calculados teóricamente e os valores medidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia. Também fez-se um teste estatístico de χ^2 para validar os dados.

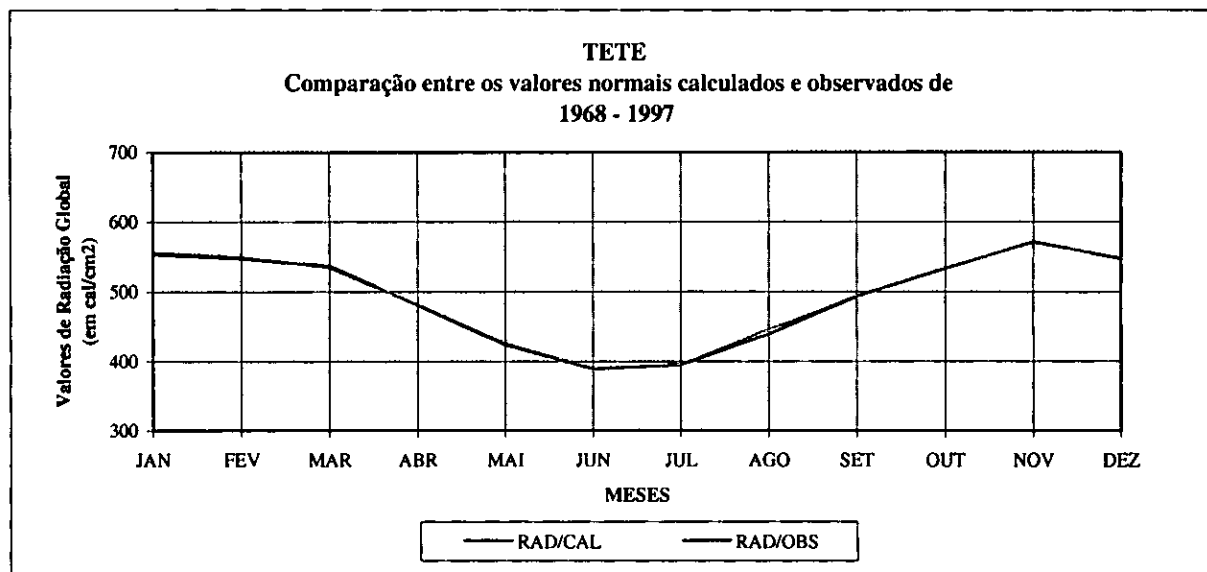
MAPUTO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
RAD/CAL	593,8	571,3	499,5	429,2	365,5	325,5	335,2	387,1	435,9	487,3	519,2	578,5
RAD/OBS	582,2	556,4	487,4	416,8	352,5	321,7	329,4	396,0	423,7	469,2	503,0	569,5



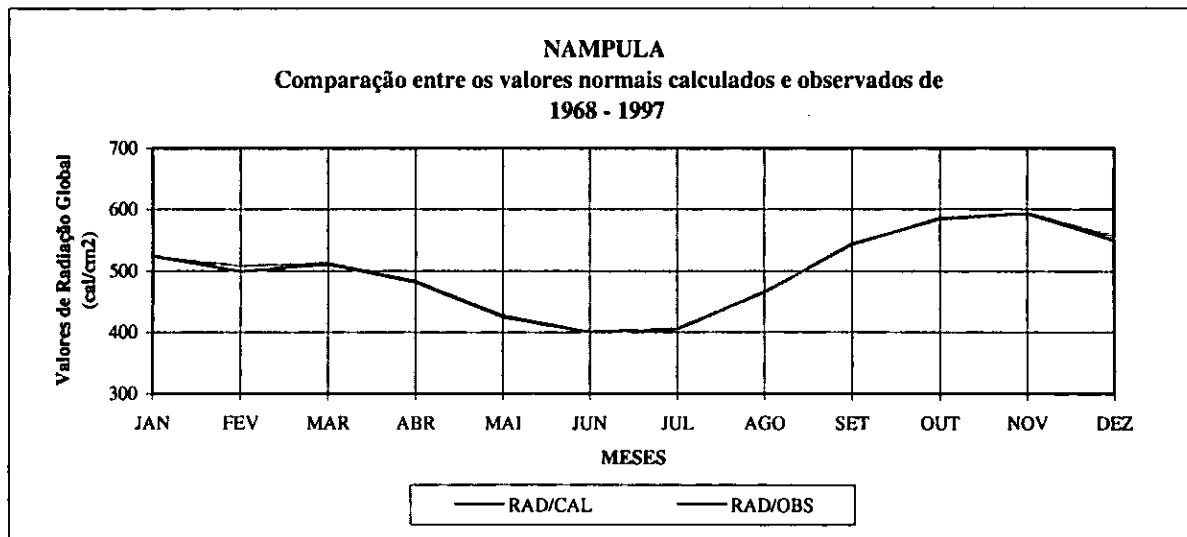
BEIRA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
RAD/CAL	567,9	542,7	516,2	448,3	394,9	364,2	373,5	429,3	489,9	533,2	566,8	539,2
RAD/OBS	562,8	537,6	514,7	463,6	397,6	363,4	374,5	430,3	492,4	543,6	566,0	570,9



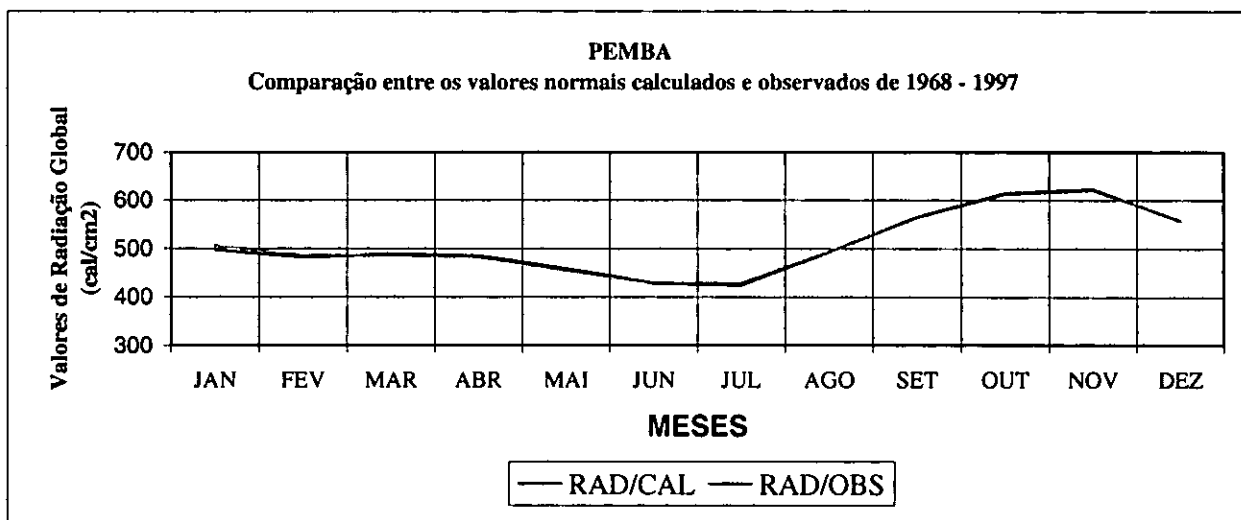
TETE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
RAD/CAL	551,9	546,0	535,6	479,5	422,8	388,3	393,7	437,5	492,2	532,4	570,2	546,3
RAD/OBS	556,1	549,8	533,5	480,8	424,9	388,7	394,5	444,8	493,1	533,3	569,5	547,2



NAMPULA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
RAD/CAL	523,4	498,2	509,7	481,4	424,2	399,5	404,2	464,9	542,6	584,2	592,7	548,6
RAD/OBS	523,9	506,6	512,3	483,5	427,0	400,3	405,6	464,0	544,0	582,8	593,4	555,7



PEMBA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
RAD/CAL	495,9	480,2	487,8	483,0	456,6	426,9	422,2	492,0	563,3	611,3	620,4	555,9
RAD/OBS	505,0	486,3	484,0	481,9	453,3	427,5	427,8	492,5	564,3	614,5	621,8	555,3



CAPÍTULO – III

3.1 ANÁLISE DOS COMPONENTES ATMOSFÉRICOS

De todos os componentes atmosféricos há os que existem em maior quantidade e os que existem em menor quantidade, dependendo da época do ano ou da sua localização geográfica.

O vapor de água cujo a sua quantidade na atmosfera varia apreciavelmente de lugar para lugar e de dia para dia, e sua variação influencia marcadamente a qualidade e a intensidade da luz incidente à superfície do globo, o vapor de água pode-se encontrar com mais abundância ao longo da costa, e ele é um absorvente da radiação solar de certos comprimentos de onda. O oxigênio predomina mais nas zonas florestais devido a libertação dessa substância pelas plantas.

Existem regiões do interior que devido a sua posição geográfica possuem maior quantidade de partículas sólidas e poeiras. Por último, quanto ao ozono, as observações têm mostrado que existe na atmosfera uma quantidade total de ozono que, se fosse concentrada à superfície do globo terrestre, sob pressão atmosférica normal e a 0°C de temperatura, formaria uma camada de espessura de cerca de 3 mm que se designa por altura equivalente de ozono. Essa quantidade aumenta do equador para os polos e é maior no verão e menor no inverno.

A maior concentração de ozono observa-se entre 20 e 50 Km de altitude ou seja, na estratosfera e na zona inferior da mesosfera e é conhecida por camada de ozono. A designação, portanto, de camada de ozono não é uma expressão apropriada e deve ser tomada apenas como zona da atmosfera onde esse elemento é relativamente mais concentrado mas ainda de extrema diluição. Este elemento assim como os outros absorve a radiação solar de determinados comprimentos de onda, que inclui o ultravioleta que é nocivo a vida na terra.

Para uma melhor compreensão do efeito de atenuação da energia solar na atmosfera calcula-se os coeficientes de transparência usando dois métodos. O coeficiente de transparência da atmosfera no ponto considerado define-se como o quociente das intensidades da radiação depois e antes de atravessar normalmente a camada. Este coeficiente coincide com o coeficiente de transmissividade quando se considera apenas a acção da absorção e é igualmente uma grandeza sem dimensões que só pode ter valores entre 0 para corpo totalmente opaco e 1 para o corpo perfeitamente transparente à radiação considerada, por outras palavras o coeficiente de transparência mostra a diminuição de intensidade da radiação que atravessa um corpo, como por exemplo para o nosso caso concreto a atmosfera da Terra.

1 - Segundo a lei de LAMBERT-BEER : $H=H_0\exp(-\tau m)$ pode-se calcular o coeficiente de transparência

JANEIRO

	H	H ₀	$\frac{H}{H_0}$
Maputo	593.8	1013.6	0.585
Beira	567.9	992.0	0.572
Tete	551.8	976.8	0.565
Nampula	523.3	971.1	0.538
Pemba	495.9	957.2	0.518

JUNHO

	H	H ₀	$\frac{H}{H_0}$
Maputo	325.4	979.2	0.332
Beira	364.2	948.3	0.384
Tete	388.2	928.4	0.418
Nampula	399.3	921.7	0.433
Pemba	426.8	904.8	0.471

Mas também como foi destacado anteriormente que quando se analisa o fenómeno de atenuação há que ter em conta os coeficientes a e b pois eles descrevem o numero de particulas e as dimensões médias dessas mesmas particulas pode concluir-se que podemos também avaliar a atenuação através destes dois coeficientes, estes coeficientes estão presentes no modelo de Angstrom:

JANEIRO

	A	b	a + b
Maputo	0.150	0.726	0.876
Beira	0.270	0.469	0.739
Tete	0.297	0.467	0.764
Nampula	0.268	0.515	0.783
Pemba	0.301	0.409	0.710

JUNHO

	a	b	a + b
Maputo	0.253	0.101	0.354
Beira	0.165	0.299	0.464
Tete	0.236	0.247	0.483
Nampula	0.355	0.116	0.471
Pemba	0.433	0.052	0.485

3.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Apesar da energia solar ser gratuita e inesgotável é necessário que a situação geográfica e as características climáticas permitam a sua utilização quase-permanente ao longo do ano. Os problemas de rendimento e de armazenamento têm primordial importância, sendo o preço de custo das instalações directamente ligadas à potência que se pretende obter.

Como já vimos, a energia radiante proveniente do Sol ao atravessar a atmosfera terrestre sofre os conhecidos acidentes de propagação por refacção, absorção, difusão e reflexão difusa que fazem desviar a direcção de propagação dos raios solares e diminuem a sua intensidade ou atenuam a radiação solar.

Maputo encontrando-se junto a costa possui grande quantidade de vapor de água na atmosfera e há uma maior atenuação da radiação solar por absorção que é igual a 0.585 para Janeiro e 0.332 para Junho, enquanto que Tete que está no interior possuindo a sua atmosfera grandes quantidades de partículas sólidas e poeiras, têm como a sua maior atenuação da radiação solar o fenómeno da difusão e que se observam os valores de 0.565 para Janeiro e 0.418 para Junho.

É nesta ordem de ideias que o coeficiente de absorção a_λ depende da natureza do meio, das dimensões e do seu estado físico e da qualidade da radiação. Se a_λ for pequeno o meio absorve fracamente a radiação que atravessa; mas se a_λ for grande o meio absorve-a fortemente. Consequentemente provoca problemas ambientais como por exemplo o aumento da temperatura da superfície global da terra.

Por isso em caso de necessidade de aproveitamento de energia solar como por exemplo a instalação de painéis solares, fornos solares, colectores planos, destiladores solares, estudo da dinâmica da atmosfera e posterior previsão das condições sinópticas ou climáticas é preciso saber onde e em que condições temos maior quantidade de radiação solar a fim de se projectar o seu aproveitamento com máxima rentabilidade.

Também na área da Meteorologia poderá se concluir que existem fortes turbulências e fenómenos violentos ao longo da costa pois a sua atmosfera possui maior energia que é absorvida pelo vapor de água e transformada em outras formas de energia que ocasiona estes fenómenos.

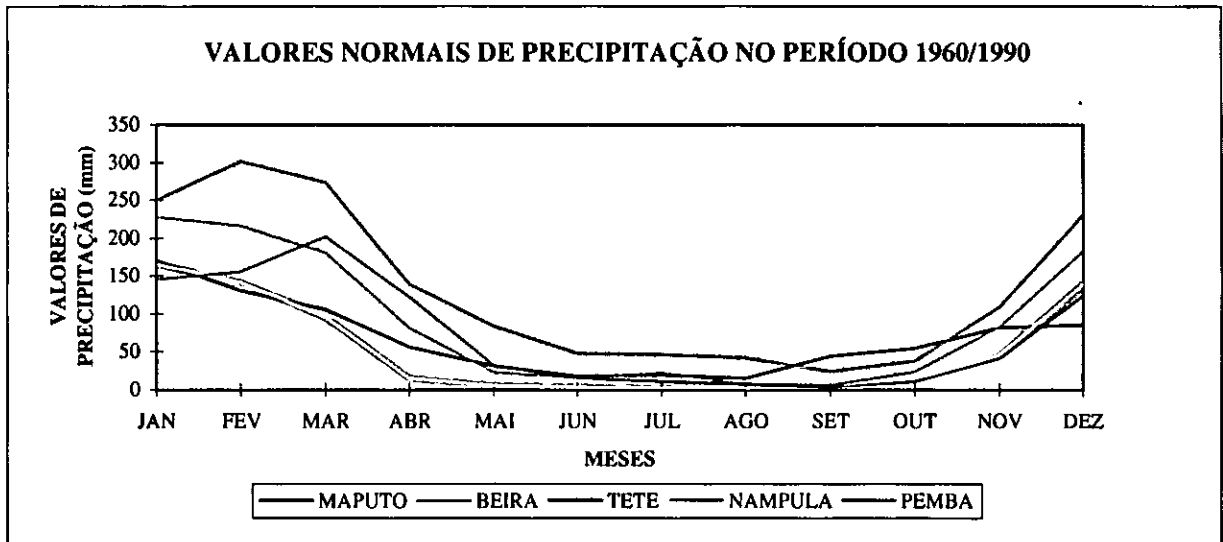
Analizando os coeficientes de transparência usando a fórmula de Lambert-Beer vê-se claramente que Maputo possui um maior valor que Tete o que dá a entender que a atmosfera de

Tete possui uma maior quantidade de partículas suspensas na atmosfera e aerossóis, ou por outras palavras Tete apresenta-se mais poluído que Maputo. Sendo a radiação solar o factor mais importante do clima do ponto de vista global, analisemos as condições climáticas dessas regiões:

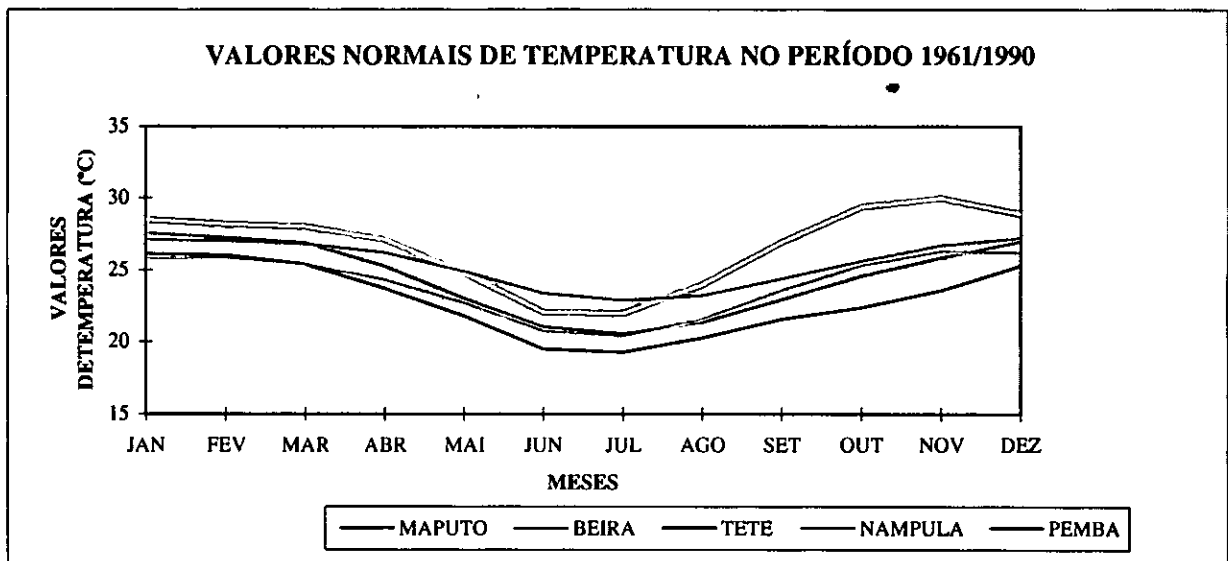
Como se pode reparar nos dados e gráficos Beira apresenta grandes quantidades de precipitação por ser uma zona de transição das condições meteorológicas do sul que são as massas de ar húmido e por ser atingido sempre pelos ciclones que atingem a costa Moçambicana, e as condições do Norte que é a zona de convergência intertropical que desce até Beira. Tete possui um clima seco e quente pois existe um sistema local que bloqueia a queda de precipitação e eleva as temperaturas do ambiente. Maputo sendo uma zona que se situa no sul e na costa possui temperaturas confortáveis e uma precipitação considerada normal. Para Nampula e Pemba por estarem na região norte só sofrem o efeito da zona de convergência intertropical, por isso têm registado grandes precipitações no verão, são mais afectados pelas depressões tropicais.

Resta apenas referenciar que o modelo de **Angstrom**, dá resultados satisfatórios e com uma margem de erro em relação aos valores observados muito pequeno. Observando para os gráficos ilustrativos de comparação entre os valores calculados teoricamente e os medidos pelos aparelhos vê-se claramente que eles não diferem muito pois as curvas aparecem quase sobrepostas.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MAPUTO	171,1	130,5	105,6	56,5	31,9	17,6	19,6	15	44,4	54,7	81,6	85
BEIRA	250,7	302,3	274,4	139,6	84,6	48,3	47	42,4	24,6	38	110,3	231,8
TETE	166,7	142,1	95,5	15	5,8	3,5	2,9	1,8	0,8	10,8	45,6	139,4
NAMPULA	227,6	216,4	181,1	81,1	23,2	15,5	22,1	8,1	5,6	24,2	82,9	183,8
PEMBA	146,4	156	202,2	122	32,4	15	11,3	7,9	2,2	11,3	41,6	124,5



	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MAPUTO	26,1	26	25,4	23,7	21,8	19,5	19,3	20,3	21,6	22,4	23,6	25,3
BEIRA	27,6	27,3	26,9	25,3	23,1	21,1	20,6	21,4	23	24,6	25,9	27
TETE	28,5	28,2	28	27,1	24,8	22,1	22	24	26,9	29,4	30	28,9
NAMPULA	25,8	25,8	25,4	24,3	22,7	20,8	20,4	21,6	23,6	25,3	26,3	26,2
PEMBA	27,1	27	26,8	26,2	24,9	23,4	22,9	23,2	24,4	25,6	26,7	27,2



3.3 RECOMENDAÇÕES

Sendo a área da radiação solar uma área pouco divulgada em Moçambique e ainda muito embrionária, mas que ultimamente têm despertado muito interesse para o aproveitamento da mesma para varios fins e a grande preocupação de se estudar profundamente este parametro que monitora as mudanças climáticas, seria aconselhável que as entidades de direito casos do Instituto Nacional de Meteorologia, Departamento de Física e outros investissem na formação do pessoal e na reabilitação da rede actinométrica Nacional quase inexistente, e a adopção de métodos modernos e equipamentos eficazes para a colecta de dados de radiação solar.

Tabela - 5: Valores da radiação solar observada e calculada e da insolação observada e teórica no mês de janeiro na estação de Maputo

MAPUTO ANO	JANEIRO						
	INS/OBS	INS/TEO	COEF(A)	COEF(B)	RA/T/AT	RAD/CA	RAD/OB
1968	8.8	13.6	0.15	0.726	1013.7	628.3	608.0
1969	9.5	13.6	0.15	0.726	1013.7	666.1	613.8
1970	9.1	13.6	0.15	0.726	1013.7	644.5	605.3
1971	7.9	13.6	0.15	0.726	1013.7	579.6	594.8
1972	6.9	13.6	0.15	0.726	1013.7	525.4	505.9
1973	7.8	13.6	0.15	0.726	1013.7	574.1	534.5
1974	8.4	13.6	0.15	0.726	1013.7	606.6	596.3
1975	7.7	13.6	0.15	0.726	1013.7	568.7	572.9
1976	7.4	13.6	0.15	0.726	1013.7	552.5	514.2
1977	8.3	13.6	0.15	0.726	1013.7	601.2	560.7
1978	6.1	13.6	0.15	0.726	1013.7	482.1	503.5
1979	8.1	13.6	0.15	0.726	1013.7	590.4	581.4
1980	8.2	13.6	0.15	0.726	1013.7	595.8	621.7
1981	7.4	13.6	0.15	0.726	1013.7	552.5	518.6
1982	7.4	13.6	0.15	0.726	1013.7	552.5	536.7
1983	8.3	13.6	0.15	0.726	1013.7	601.2	598.5
1984	7.9	13.6	0.15	0.726	1013.7	579.6	582.2
1985	8.9	13.6	0.15	0.726	1013.7	633.7	648.8
1986	8.4	13.6	0.15	0.726	1013.7	606.6	645.3
1987	8	13.6	0.15	0.726	1013.7	585.0	603.6
1988	8.2	13.6	0.15	0.726	1013.7	595.8	610.5
1989	8.8	13.6	0.15	0.726	1013.7	628.3	619.5
1990	8.2	13.6	0.15	0.726	1013.7	595.8	577.9
1991	8.9	13.6	0.15	0.726	1013.7	633.7	629.8
1992	8.2	13.6	0.15	0.726	1013.7	595.8	612.4
1993	10.1	13.6	0.15	0.726	1013.7	698.6	696.4
1994	7.8	13.6	0.15	0.726	1013.7	574.1	585.0
1995	8.6	13.6	0.15	0.726	1013.7	617.4	615.0
1996	7.2	13.6	0.15	0.726	1013.7	541.7	527.7
1997	8.4	13.6	0.15	0.726	1013.7	606.6	565.9
MEDIA						593.8	586.2

Tabela - 6: Valores da radiação solar observada e calculada e da insolação observada e teórica no mês de junho na estação de Maputo

MAPUTO ANO	JUNHO						
	INS/OBS	INS/TEO	COEF(A)	COEF(B)	RA/T/AT	RAD/CA	RAD/OB
1968	8.5	10.5	0.253	0.101	979.2	327.8	319.8
1969	7.9	10.5	0.253	0.101	979.2	322.2	307.2
1970	8.2	10.5	0.253	0.101	979.2	325.0	313.5
1971	8.1	10.5	0.253	0.101	979.2	324.0	330.8
1972	9.3	10.5	0.253	0.101	979.2	335.3	313.8
1973	7.9	10.5	0.253	0.101	979.2	322.2	289.1
1974	9.1	10.5	0.253	0.101	979.2	333.5	313.3
1975	8	10.5	0.253	0.101	979.2	323.1	294.9
1976	8.4	10.5	0.253	0.101	979.2	326.9	318.7
1977	8.5	10.5	0.253	0.101	979.2	327.8	331.5
1978	8.4	10.5	0.253	0.101	979.2	326.9	327.9
1979	7.8	10.5	0.253	0.101	979.2	321.2	332.9
1980	9	10.5	0.253	0.101	979.2	332.5	326.5
1981	8.3	10.5	0.253	0.101	979.2	325.9	319.6
1982	8.4	10.5	0.253	0.101	979.2	326.9	305.3
1983	7.7	10.5	0.253	0.101	979.2	320.3	308.0
1984	7.6	10.5	0.253	0.101	979.2	319.3	325.0
1985	8.6	10.5	0.253	0.101	979.2	328.8	354.2
1986	8.6	10.5	0.253	0.101	979.2	328.8	345.5
1987	8.1	10.5	0.253	0.101	979.2	324.0	330.0
1988	8.2	10.5	0.253	0.101	979.2	325.0	325.7
1989	7.7	10.5	0.253	0.101	979.2	320.3	307.7
1990	8.6	10.5	0.253	0.101	979.2	328.8	334.2
1991	8	10.5	0.253	0.101	979.2	323.1	338.4
1992	8.1	10.5	0.253	0.101	979.2	324.0	341.5
1993	8.4	10.5	0.253	0.101	979.2	326.9	331.0
1994	8.3	10.5	0.253	0.101	979.2	325.9	316.9
1995	8.1	10.5	0.253	0.101	979.2	324.0	321.1
1996	7.5	10.5	0.253	0.101	979.2	318.4	321.0
1997	8.3	10.5	0.253	0.101	979.2	325.9	305.4
MEDIA						325.5	321.7

Tabela - 7: Valores da radiação solar observada e calculada e da insolação observada e teórica no mês de janeiro na estação da Beira

BEIRA ANO	JANEIRO						
	INS/OBS	INS/TEO	COEF(A)	COEF(B)	RA/T/AT	RAD/CA	RAD/OB
1968	9.1	13.2	0.265	0.459	992.05	576.8	
1969	7.1	13.2	0.265	0.459	992.05	507.8	516.0
1970	10.0	13.2	0.265	0.459	992.05	607.9	613.6
1971	8.7	13.2	0.265	0.459	992.05	563.0	572.4
1972	7.5	13.2	0.265	0.459	992.05	521.6	544.4
1973	9.0	13.2	0.265	0.459	992.05	573.4	591.3
1974	10.3	13.2	0.265	0.459	992.05	618.2	658.7
1975	8.8	13.2	0.265	0.459	992.05	566.5	593.8
1976	8.2	13.2	0.265	0.459	992.05	545.8	563.9
1977	10.2	13.2	0.265	0.459	992.05	614.8	
1978	7.8	13.2	0.265	0.459	992.05	532.0	580.8
1979	8.9	13.2	0.265	0.459	992.05	569.9	573.3
1980	9.8	13.2	0.265	0.459	992.05	601.0	644.8
1981	7.8	13.2	0.265	0.459	992.05	532.0	565.3
1982	8.7	13.2	0.265	0.459	992.05	563.0	574.5
1983	9.2	13.2	0.265	0.459	992.05	580.3	595.2
1984	10.0	13.2	0.265	0.459	992.05	607.9	
1985	6.5	13.2	0.265	0.459	992.05	487.1	499.5
1986	7.5	13.2	0.265	0.459	992.05	521.6	534.5
1987	8.9	13.2	0.265	0.459	992.05	569.9	
1988	8.6	13.2	0.265	0.459	992.05	559.6	547.9
1989	8.8	13.2	0.265	0.459	992.05	566.5	563.8
1990	6.5	13.2	0.265	0.459	992.05	487.1	468.8
1991	9.5	13.2	0.265	0.459	992.05	590.6	521.4
1992	9.4	13.2	0.265	0.459	992.05	587.2	589.4
1993	9.0	13.2	0.265	0.459	992.05	573.4	586.9
1994	8.2	13.2	0.265	0.459	992.05	545.8	571.0
1995	8.2	13.2	0.265	0.459	992.05	545.8	
1996	6.2	13.2	0.265	0.459	992.05	476.8	472.4
1997	7.0	13.2	0.265	0.459	992.05	504.4	525.7
MEDIA						556.6	562.8

Tabela - 8: Valores da radiação solar observada e calculada e da insolação observada e teórica no mês de junho na estação da Beira

BEIRA ANO	JUNHO						
	INS/OBS	INS/TEO	COEF(A)	COEF(B)	RA/T/AT	RAD/CA	RAD/OB
1968	8.2	11.0	0.161	0.289	977.86	368.1	
1969	7.4	11.0	0.161	0.289	977.86	347.5	350.4
1970	7.4	11.0	0.161	0.289	977.86	347.5	331.8
1971	8.1	11.0	0.161	0.289	977.86	365.5	353.4
1972	9.3	11.0	0.161	0.289	977.86	396.4	399.2
1973	6.8	11.0	0.161	0.289	977.86	332.1	334.4
1974	9.0	11.0	0.161	0.289	977.86	388.7	402.0
1975	7.4	11.0	0.161	0.289	977.86	347.5	355.6
1976	8.4	11.0	0.161	0.289	977.86	373.2	
1977	8.2	11.0	0.161	0.289	977.86	368.1	364.1
1978	8.1	11.0	0.161	0.289	977.86	365.5	
1979	8.0	11.0	0.161	0.289	977.86	363.0	388.3
1980	8.4	11.0	0.161	0.289	977.86	373.2	405.0
1981	8.3	11.0	0.161	0.289	977.86	370.7	
1982	8.5	11.0	0.161	0.289	977.86	375.8	367.2
1983	7.7	11.0	0.161	0.289	977.86	355.3	368.7
1984	7.0	11.0	0.161	0.289	977.86	337.3	
1985	8.4	11.0	0.161	0.289	977.86	373.2	364.6
1986	7.5	11.0	0.161	0.289	977.86	350.1	
1987	8.1	11.0	0.161	0.289	977.86	365.5	359.8
1988	8.3	11.0	0.161	0.289	977.86	370.7	359.5
1989	7.7	11.0	0.161	0.289	977.86	355.3	356.4
1990	8.3	11.0	0.161	0.289	977.86	370.7	
1991	7.9	11.0	0.161	0.289	977.86	360.4	334.7
1992	8.2	11.0	0.161	0.289	977.86	368.1	363.8
1993	7.7	11.0	0.161	0.289	977.86	355.3	363.3
1994	7.0	11.0	0.161	0.289	977.86	337.3	338.1
1995	8.6	11.0	0.161	0.289	977.86	378.4	
1996	8.8	11.0	0.161	0.289	977.86	383.5	371.2
1997	9.1	11	0.161	0.289	977.86	391.2	
MEDIA						364.4	363.4

Tabela - 9: Valores da radiação solar observada e calculada e da insolação observada e teórica no mês de janeiro na estação de Nampula

NAMPULA ANO	JANEIRO						
	INS/OBS	INS/TEO	COEF(A)	COEF(B)	RA/T/AT	RAD/CA	RAD/OB
1968	5.4	12.9	0.268	0.515	971.12	469.6	
1969	7.8	12.9	0.268	0.515	971.12	562.7	532.9
1970	5.6	12.9	0.268	0.515	971.12	477.4	477.5
1971	6.8	12.9	0.268	0.515	971.12	523.9	539.0
1972	7.4	12.9	0.268	0.515	971.12	547.2	567.5
1973	6.5	12.9	0.268	0.515	971.12	512.3	518.2
1974	7.2	12.9	0.268	0.515	971.12	539.4	513.5
1975	7.1	12.9	0.268	0.515	971.12	535.5	506.6
1976	7.0	12.9	0.268	0.515	971.12	531.6	
1977	5.9	12.9	0.268	0.515	971.12	489.0	493.5
1978	8.0	12.9	0.268	0.515	971.12	570.4	603.7
1979	8.6	12.9	0.268	0.515	971.12	593.7	635.2
1980	8.5	12.9	0.268	0.515	971.12	589.8	
1981	8.7	12.9	0.268	0.515	971.12	597.6	
1982	6.2	12.9	0.268	0.515	971.12	500.6	491.2
1983	6.9	12.9	0.268	0.515	971.12	527.8	
1984	6.6	12.9	0.268	0.515	971.12	516.1	523.5
1985	8.3	12.9	0.268	0.515	971.12	582.0	579.5
1986	5.7	12.9	0.268	0.515	971.12	481.2	510.4
1987	6.5	12.9	0.268	0.515	971.12	512.3	506.8
1988	6.0	12.9	0.268	0.515	971.12	492.9	
1989	4.6	12.9	0.268	0.515	971.12	438.6	450.5
1990	7.9	12.9	0.268	0.515	971.12	566.5	543.2
1991	7.7	12.9	0.268	0.515	971.12	558.8	536.0
1992	5.8	12.9	0.268	0.515	971.12	485.1	511.7
1993	7.0	12.9	0.268	0.515	971.12	531.6	535.3
1994	6.9	12.9	0.268	0.515	971.12	527.8	
1995	5.2	12.9	0.268	0.515	971.12	461.9	427.2
1996	5.8	12.9	0.268	0.515	971.12	485.1	
1997	6.0	12.9	0.268	0.515	971.12	492.9	
MEDIA						523.4	523.9

Tabela - 10: Valores da radiação solar observada e calculada e da insolação observada e teórica no mês de junho na estação da Nampula

NAMPULA ANO	JUNHO						
	INS/OBS	INS/TEO	COEF(A)	COEF(B)	RA/T/AT	RAD/CA	RAD/OB
1968	7.3	11.2	0.355	0.116	921.7	396.9	
1969	8.1	11.2	0.355	0.116	921.7	404.5	396.9
1970	7.7	11.2	0.355	0.116	921.7	400.7	387.2
1971	7.4	11.2	0.355	0.116	921.7	397.8	403.7
1972	7.6	11.2	0.355	0.116	921.7	399.8	403.6
1973	7.6	11.2	0.355	0.116	921.7	399.8	381.3
1974	7.0	11.2	0.355	0.116	921.7	394.0	373.7
1975	8.2	11.2	0.355	0.116	921.7	405.5	381.9
1976	7.7	11.2	0.355	0.116	921.7	400.7	
1977	8.1	11.2	0.355	0.116	921.7	404.5	369.6
1978	7.4	11.2	0.355	0.116	921.7	397.8	416.4
1979	8.2	11.2	0.355	0.116	921.7	405.5	437.3
1980	7.3	11.2	0.355	0.116	921.7	396.9	412.7
1981	7.2	11.2	0.355	0.116	921.7	395.9	392.8
1982	8.0	11.2	0.355	0.116	921.7	403.6	395.9
1983	7.9	11.2	0.355	0.116	921.7	402.6	420.1
1984	7.0	11.2	0.355	0.116	921.7	394.0	
1985	7.3	11.2	0.355	0.116	921.7	396.9	
1986	7.9	11.2	0.355	0.116	921.7	402.6	426.7
1987	7.3	11.2	0.355	0.116	921.7	396.9	386.3
1988	7.9	11.2	0.355	0.116	921.7	402.6	390.2
1989	7.0	11.2	0.355	0.116	921.7	394.0	365.3
1990	7.9	11.2	0.355	0.116	921.7	402.6	393.5
1991	7.5	11.2	0.355	0.116	921.7	398.8	446.9
1992	7.2	11.2	0.355	0.116	921.7	395.9	390
1993	7.2	11.2	0.355	0.116	921.7	395.9	363.2
1994	7.4	11.2	0.355	0.116	921.7	397.8	431.9
1995	7.3	11.2	0.355	0.116	921.7	396.9	422.3
1996	7.3	11.2	0.355	0.116	921.7	396.9	418.1
1997	7.9	11.2	0.355	0.116	921.7	402.6	
MEDIA						399.5	400.3

Tabela - 11: Valores da radiação solar observada e calculada e da insolação observada e teórica no mês de janeiro na estação de Tete

TETE ANO	JANEIRO						
	INS/OBS	INS/TEO	COEF(A)	COEF(B)	RA/T/AT	RAD/CA	RAD/OB
1968	8.7	13.2	0.297	0.467	976.5	590.6	565.8
1969	6	13.2	0.297	0.467	976.5	497.3	481.0
1970	9	13.2	0.297	0.467	976.5	600.9	580.6
1971	5.9	13.2	0.297	0.467	976.5	493.9	468.8
1972	6.4	13.2	0.297	0.467	976.5	511.1	489.3
1973	7	13.2	0.297	0.467	976.5	531.9	514.8
1974	7	13.2	0.297	0.467	976.5	531.9	550.0
1975	8.5	13.2	0.297	0.467	976.5	583.7	597.5
1976	9.6	13.2	0.297	0.467	976.5	621.7	585.0
1977	8	13.2	0.297	0.467	976.5	566.4	550.7
1978	8	13.2	0.297	0.467	976.5	566.4	568.0
1979		13.2	0.297	0.467	976.5		
1980	9.7	13.2	0.297	0.467	976.5	625.1	616.7
1981	7.6	13.2	0.297	0.467	976.5	552.6	583.6
1982	7.2	13.2	0.297	0.467	976.5	538.8	566.9
1983	10.3	13.2	0.297	0.467	976.5	645.9	675.1
1984		13.2	0.297	0.467	976.5		
1985		13.2	0.297	0.467	976.5		
1986	6.2	13.2	0.297	0.467	976.5	504.2	517.6
1987	7.4	13.2	0.297	0.467	976.5	545.7	554.0
1988	8.7	13.2	0.297	0.467	976.5	590.6	631.2
1989	6.7	13.2	0.297	0.467	976.5	521.5	539.4
1990	6.2	13.2	0.297	0.467	976.5	504.2	518.0
1991		13.2	0.297	0.467	976.5		
1992		13.2	0.297	0.467	976.5		
1993		13.2	0.297	0.467	976.5		
1994	7.7	13.2	0.297	0.467	976.5	556.0	537.4
1995	6.9	13.2	0.297	0.467	976.5	528.4	534.0
1996	7.5	13.2	0.297	0.467	976.5	549.1	565.6
1997	5.7	13.2	0.297	0.467	976.5	486.9	
MEDIA						551.9	556.1

Tabela - 12: Valores da radiação solar observada e calculada e da insolação observada e teórica os no mês de junho na estação de Tete

TETE ANO	JUNHO						
	INS/OBS	INS/TEO	COEF(A)	COEF(B)	RA/T/AT	RAD/CA	RAD/OB
1968	8.9	11	0.236	0.247	928.4	404.6	392.1
1969	8.4	11	0.236	0.247	928.4	394.2	367.4
1970	7.3	11	0.236	0.247	928.4	371.3	348.6
1971	8	11	0.236	0.247	928.4	385.9	355.9
1972	8.8	11	0.236	0.247	928.4	402.6	383.7
1973	7.4	11	0.236	0.247	928.4	373.4	363.2
1974	8.5	11	0.236	0.247	928.4	396.3	401.9
1975	7.1	11	0.236	0.247	928.4	367.1	358.7
1976	7.3	11	0.236	0.247	928.4	371.3	396.4
1977	8.8	11	0.236	0.247	928.4	402.6	383.5
1978	7.9	11	0.236	0.247	928.4	383.8	406
1979	6.4	11	0.236	0.247	928.4	352.5	371.5
1980	7.3	11	0.236	0.247	928.4	371.3	385.2
1981	9.2	11	0.236	0.247	928.4	410.9	428.4
1982	8.8	11	0.236	0.247	928.4	402.6	430.7
1983	8.9	11	0.236	0.247	928.4	404.6	415.5
1984		11	0.236	0.247	928.4		
1985	8.1	11	0.236	0.247	928.4	388.0	370.8
1986	8	11	0.236	0.247	928.4	385.9	391.2
1987	8.2	11	0.236	0.247	928.4	390.0	389.1
1988	8.2	11	0.236	0.247	928.4	390.0	344.6
1989	8.5	11	0.236	0.247	928.4	396.3	362.8
1990	7.7	11	0.236	0.247	928.4	379.6	366.4
1991		11	0.236	0.247	928.4		
1992		11	0.236	0.247	928.4		
1993	7.8	11	0.236	0.247	928.4	381.7	371.2
1994	7.7	11	0.236	0.247	928.4	379.6	384.6
1995	9.1	11	0.236	0.247	928.4	408.8	425.2
1996	8.3	11	0.236	0.247	928.4	392.1	395.2
1997	8.5	11	0.236	0.247	928.4	396.3	398.9
MEDIA						388.3	388.7

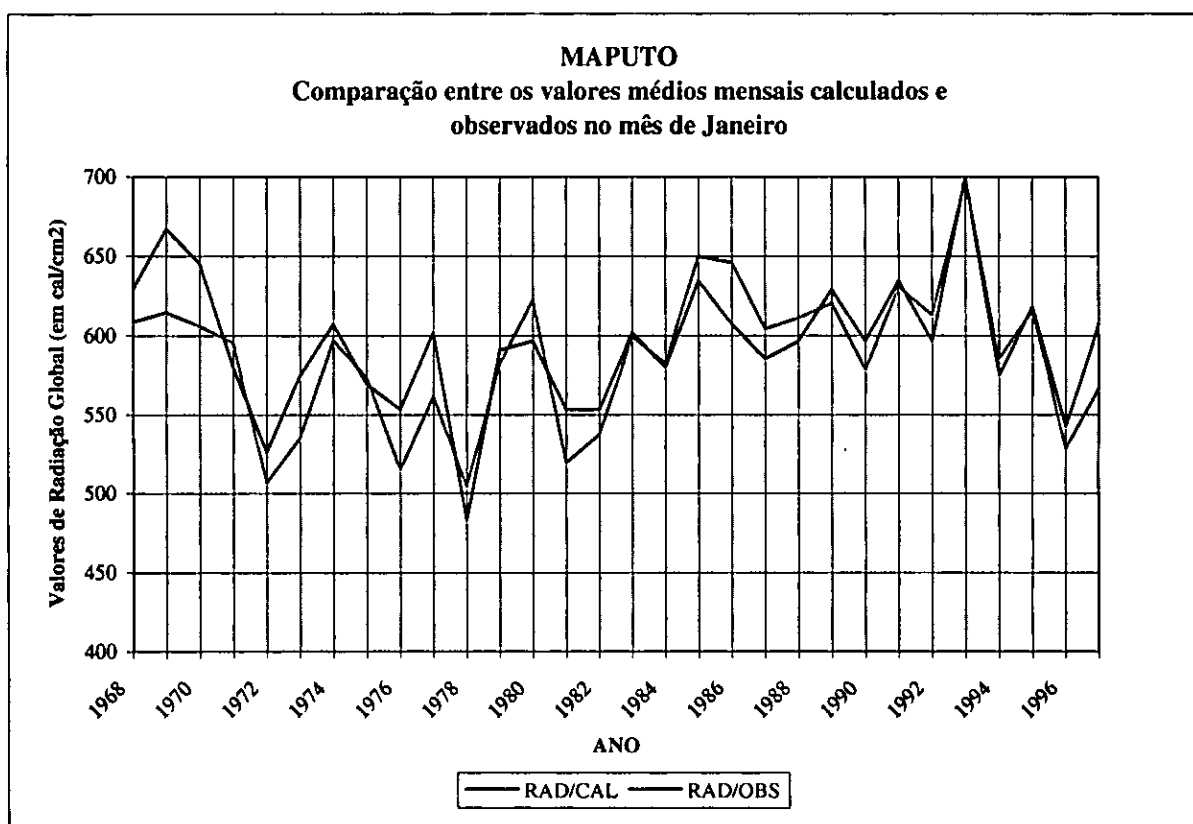
Tabela - 13: Valores da radiação solar observada e calculada e da insolação observada e teórica no mês de janeiro na estação de Pemba

PEMBA ANO	JANEIRO						
	INS/OBS	INS/TEO	COEF(A)	COEF(B)	RA/T/AT	RAD/CA	RAD/OB
1968	5.7	12.8	0.301	0.409	957.3	462.5	
1969	7.4	12.8	0.301	0.409	957.3	514.5	
1970	5.3	12.8	0.301	0.409	957.3	450.2	
1971	6.6	12.8	0.301	0.409	957.3	490.0	
1972	8.3	12.8	0.301	0.409	957.3	542.0	
1973	6.2	12.8	0.301	0.409	957.3	477.8	
1974	8	12.8	0.301	0.409	957.3	532.8	533.7
1975	7.8	12.8	0.301	0.409	957.3	526.7	520.0
1976	7	12.8	0.301	0.409	957.3	502.2	481.4
1977	5.5	12.8	0.301	0.409	957.3	456.4	442.7
1978	9	12.8	0.301	0.409	957.3	563.4	518.2
1979	7.3	12.8	0.301	0.409	957.3	511.4	470.0
1980	5.1	12.8	0.301	0.409	957.3	444.1	
1981	10	12.8	0.301	0.409	957.3	594.0	582.7
1982	7.1	12.8	0.301	0.409	957.3	505.3	545.6
1983	6.1	12.8	0.301	0.409	957.3	474.7	494.9
1984	5.7	12.8	0.301	0.409	957.3	462.5	487.1
1985	8.5	12.8	0.301	0.409	957.3	548.1	575.2
1986	5.2	12.8	0.301	0.409	957.3	447.2	
1987	5.9	12.8	0.301	0.409	957.3	468.6	459.9
1988	5.6	12.8	0.301	0.409	957.3	459.4	431.7
1989	4.1	12.8	0.301	0.409	957.3	413.5	380.1
1990	9.1	12.8	0.301	0.409	957.3	566.5	535.0
1991	7.4	12.8	0.301	0.409	957.3	514.5	536.2
1992	7.8	12.8	0.301	0.409	957.3	526.7	577.4
1993	7	12.8	0.301	0.409	957.3	502.2	498.2
1994	6.6	12.8	0.301	0.409	957.3	490.0	524.4
1995	5	12.8	0.301	0.409	957.3	441.1	
1996	6.6	12.8	0.301	0.409	957.3	490.0	
1997	6.9	12.8	0.301	0.409	957.3	499.2	
MEDIA						495.9	505.0

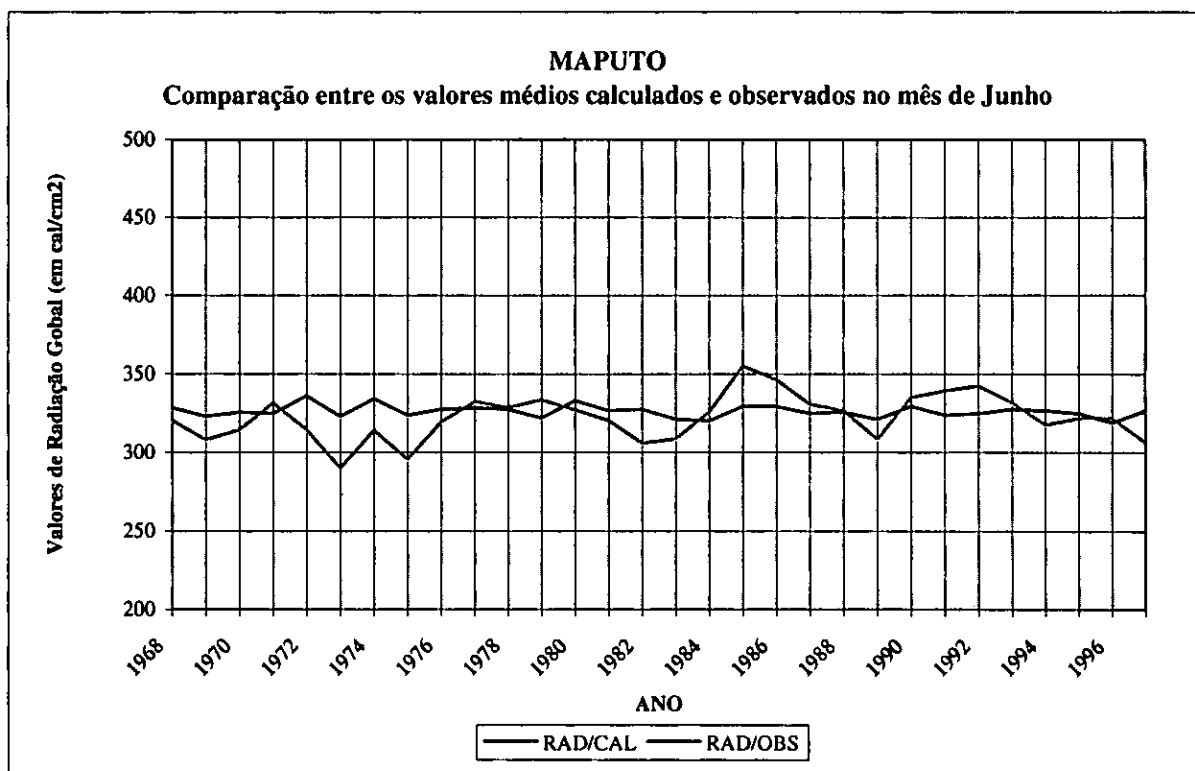
Tabela - 14: Valores da radiação solar observada e calculada e da insolação observada e teórica no mês de janeiro na estação da Pemba

PEMBA ANO	JUNHO						
	INS/OBS	INS/TEO	COEF(A)	COEF(B)	RA/T/AT	RAD/CA	RAD/OB
1968	7.8	11.4	0.433	0.052	904.9	424.0	
1969	8	11.4	0.433	0.052	904.9	424.8	
1970	8.2	11.4	0.433	0.052	904.9	425.7	
1971	8.3	11.4	0.433	0.052	904.9	426.1	
1972	9.1	11.4	0.433	0.052	904.9	429.4	
1973	8.3	11.4	0.433	0.052	904.9	426.1	
1974	8.8	11.4	0.433	0.052	904.9	428.1	401.4
1975	9.3	11.4	0.433	0.052	904.9	430.2	409.1
1976	8.8	11.4	0.433	0.052	904.9	428.1	
1977	9.3	11.4	0.433	0.052	904.9	430.2	413.6
1978	8.6	11.4	0.433	0.052	904.9	427.3	404.6
1979	9.1	11.4	0.433	0.052	904.9	429.4	406.9
1980	8.3	11.4	0.433	0.052	904.9	426.1	390.4
1981	8.3	11.4	0.433	0.052	904.9	426.1	394.6
1982	8.6	11.4	0.433	0.052	904.9	427.3	455.8
1983	9.2	11.4	0.433	0.052	904.9	429.8	465.8
1984	8.2	11.4	0.433	0.052	904.9	425.7	440.4
1985	8.9	11.4	0.433	0.052	904.9	428.5	463.2
1986	8.2	11.4	0.433	0.052	904.9	425.7	462.3
1987	8.2	11.4	0.433	0.052	904.9	425.7	
1988	8.8	11.4	0.433	0.052	904.9	428.1	403.8
1989	7.7	11.4	0.433	0.052	904.9	423.6	416.2
1990	9.3	11.4	0.433	0.052	904.9	430.2	422.6
1991	8.5	11.4	0.433	0.052	904.9	426.9	440.7
1992	8.4	11.4	0.433	0.052	904.9	426.5	437.0
1993	7.4	11.4	0.433	0.052	904.9	422.4	400.7
1994	8.3	11.4	0.433	0.052	904.9	426.1	431.2
1995	8.9	11.4	0.433	0.052	904.9	428.5	438.2
1996	7.9	11.4	0.433	0.052	904.9	424.4	440.8
1997	8.2	11.4	0.433	0.052	904.9	425.7	
MEDIA						426.9	427.5

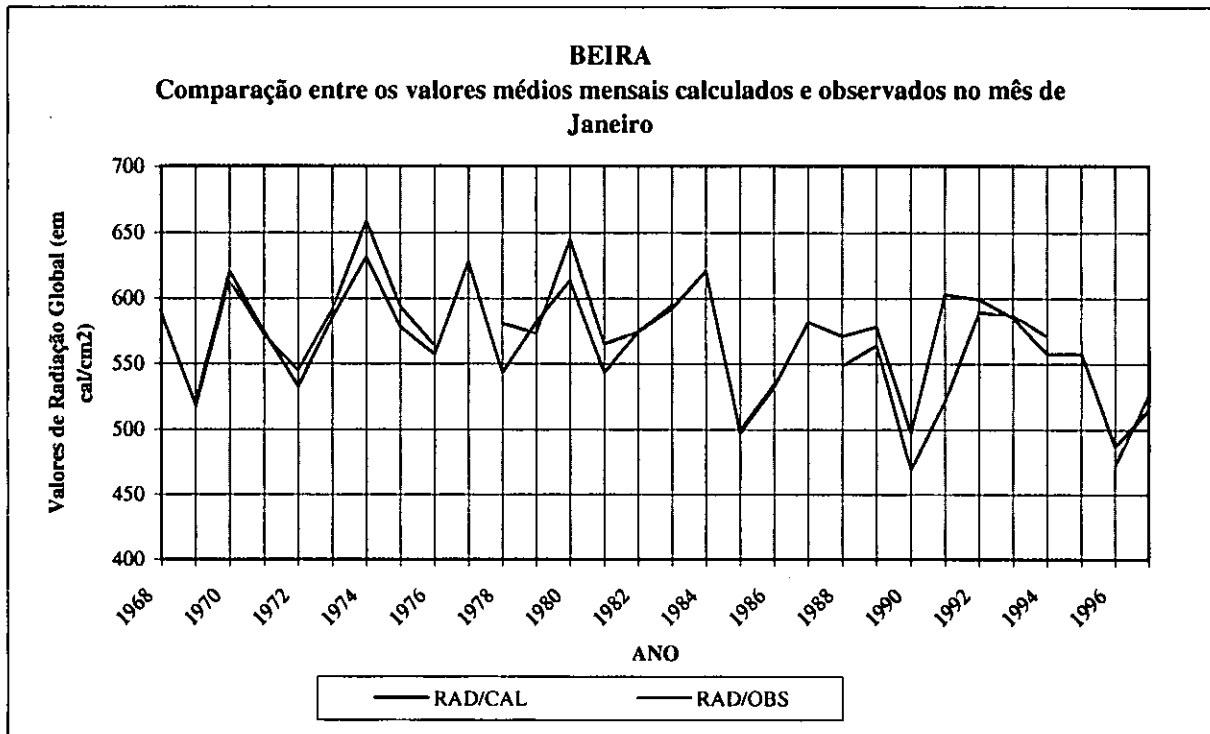
ANEXO - 1a



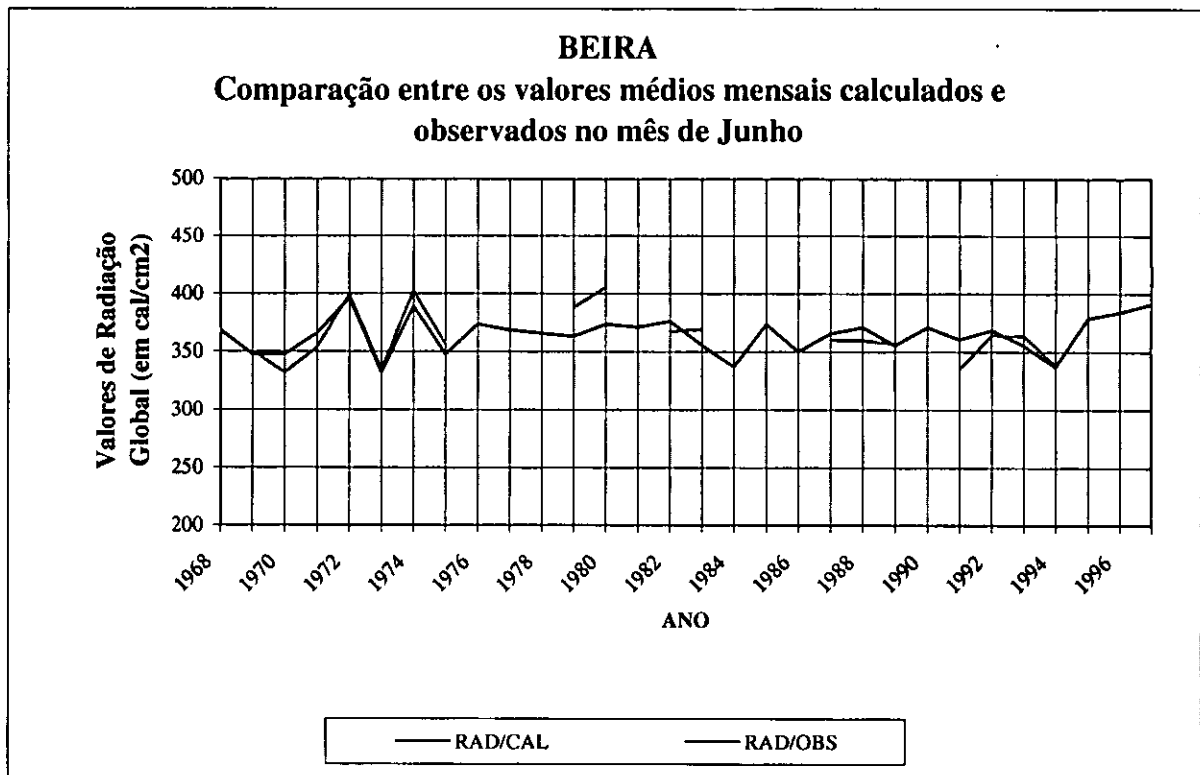
ANEXO - 1b



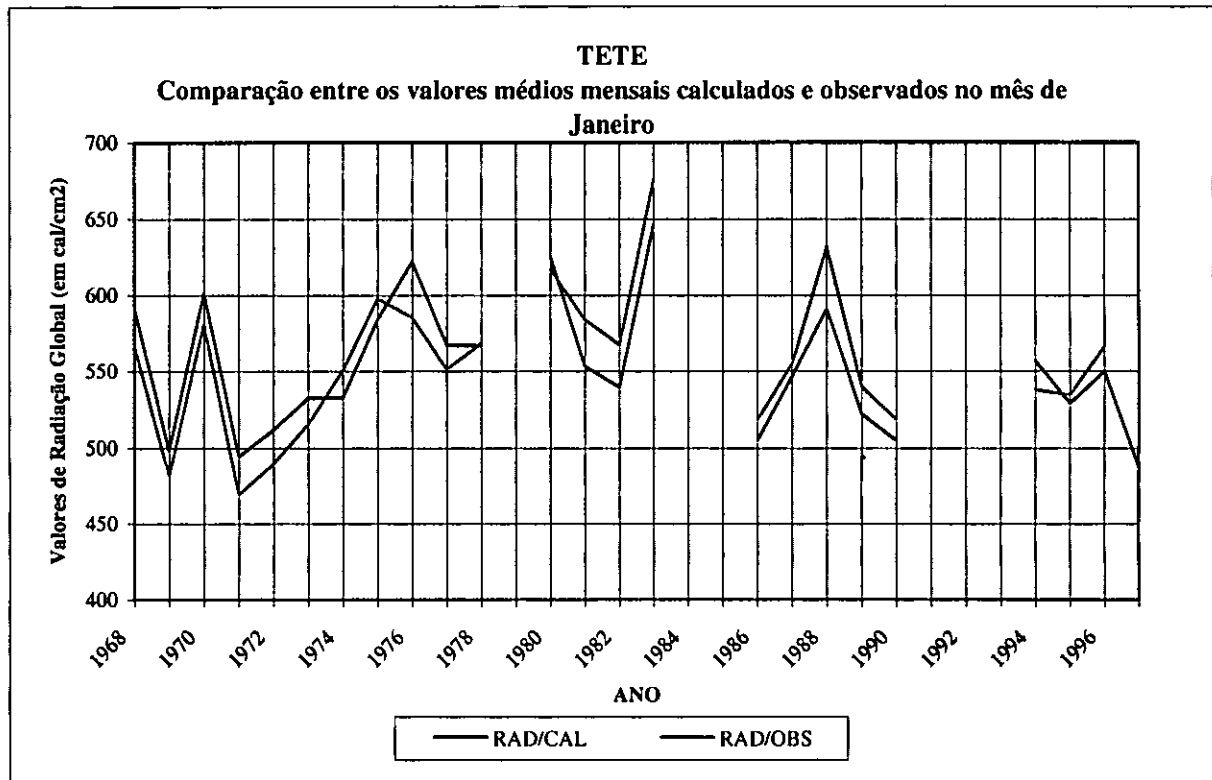
ANEXO - 2a



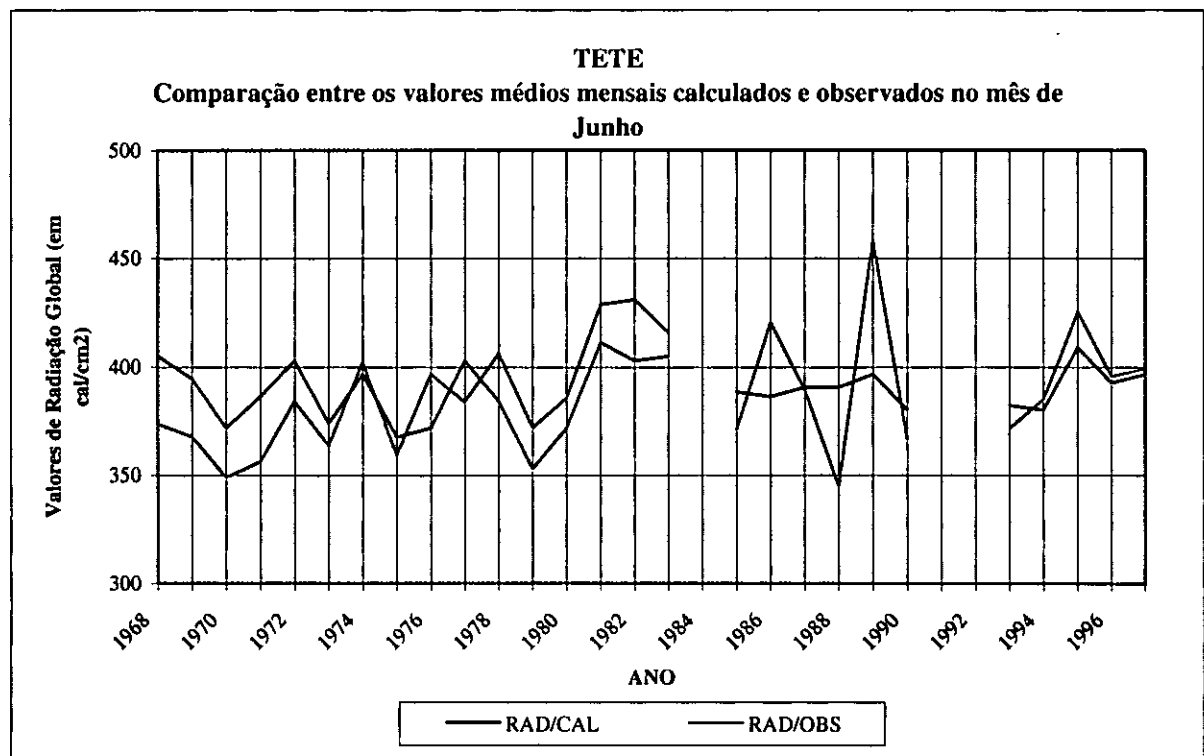
ANEXO - 2b



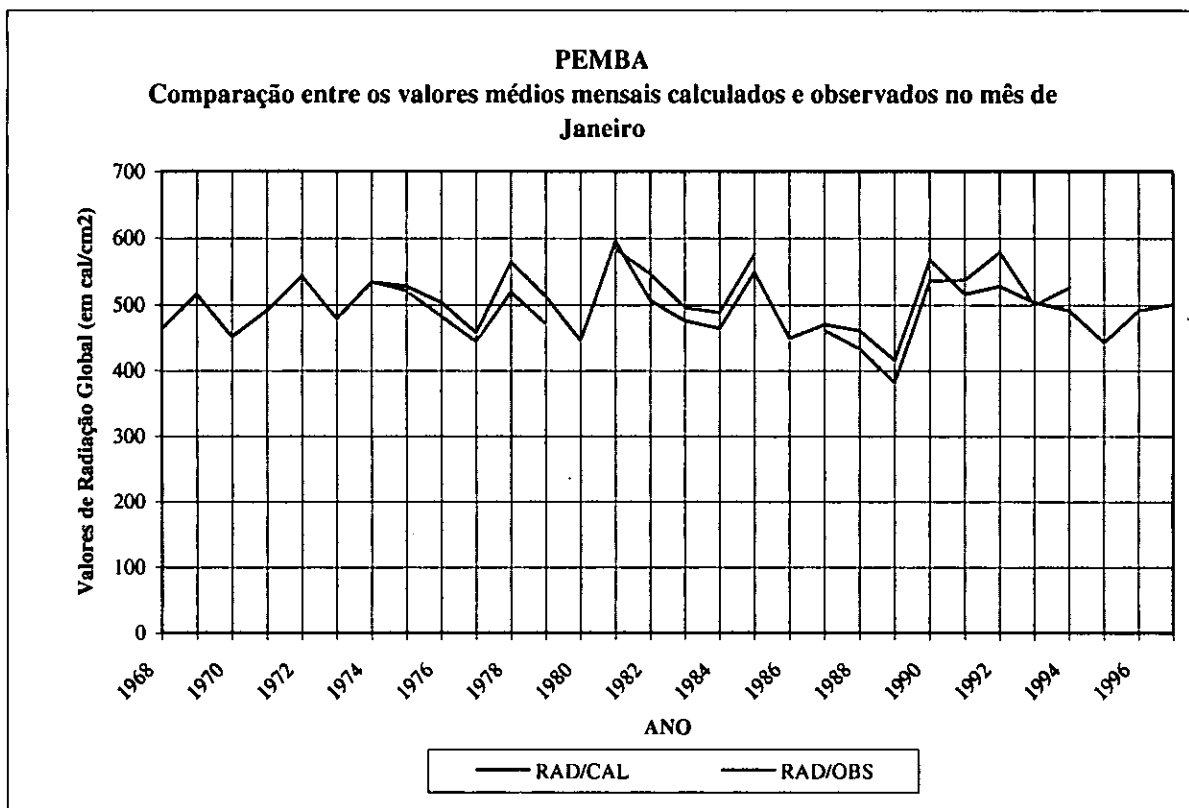
ANEXO - 3a



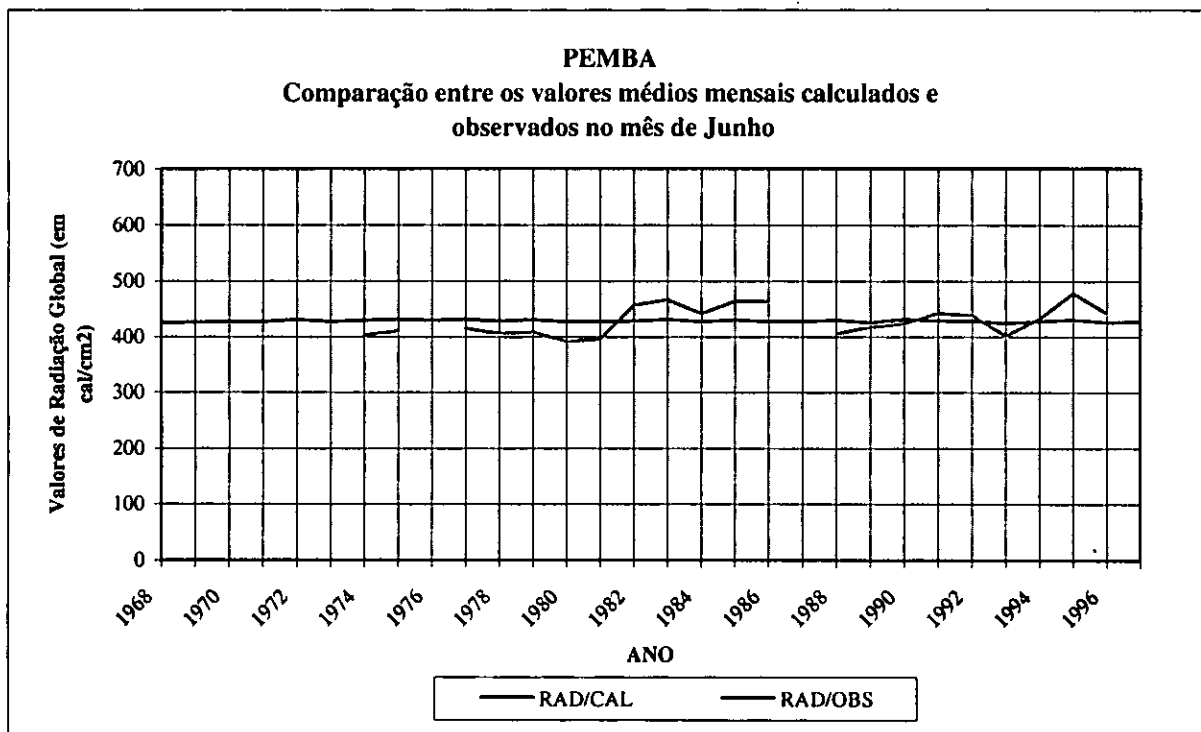
ANEXO - 3b



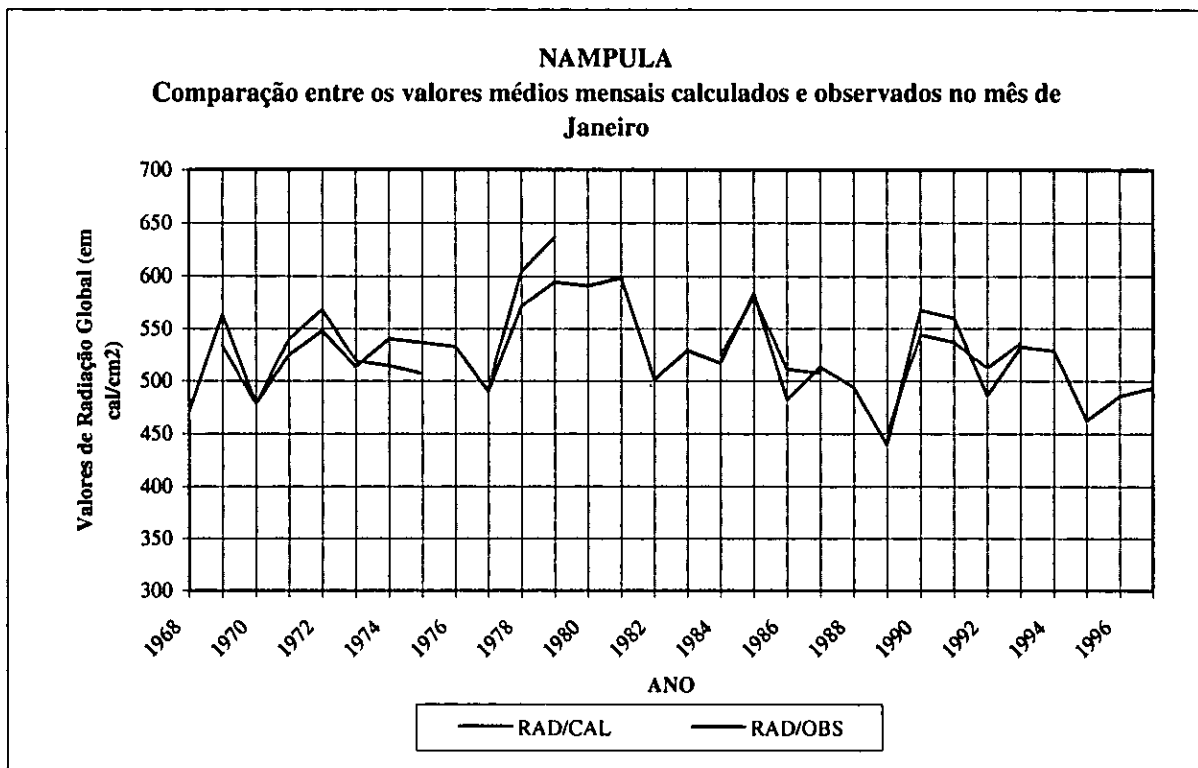
ANEXO - 4a



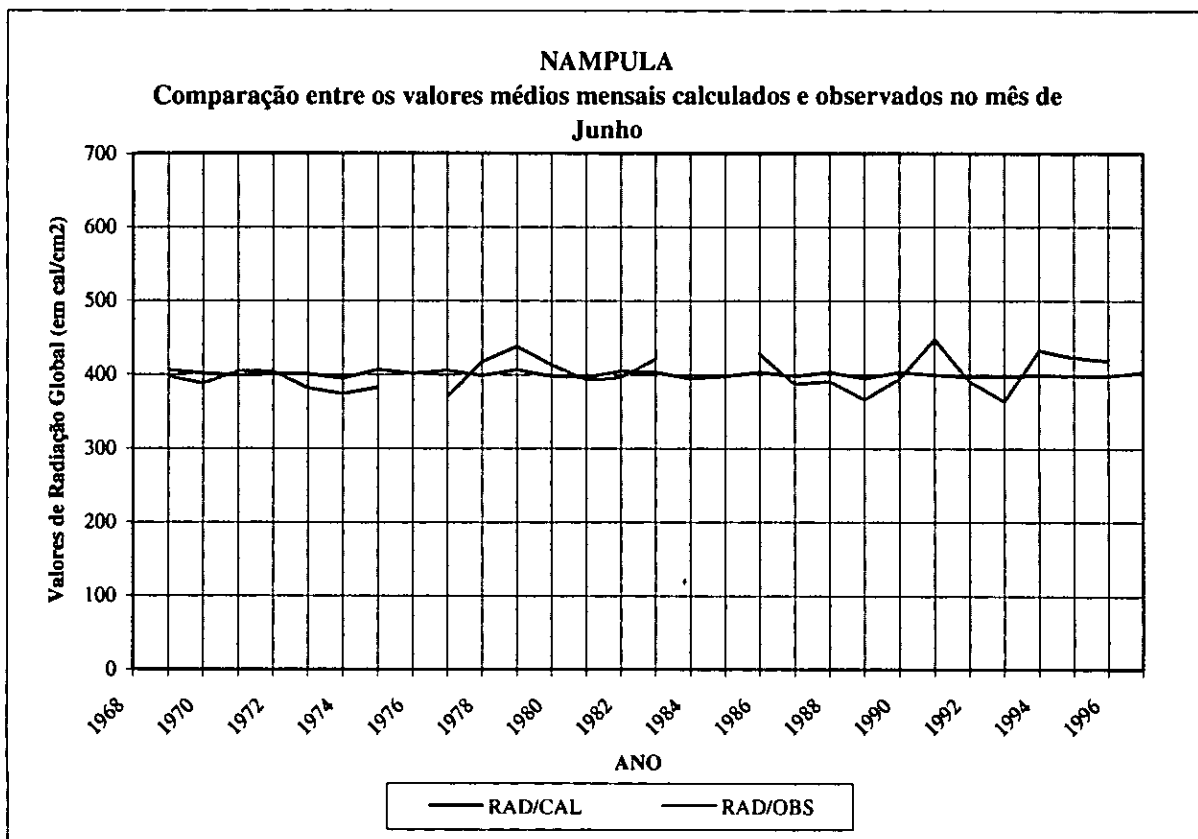
ANEXO - 4b



ANEXO - 5a



ANEXO - 5b



ANEXO - 6

**TESTE χ^2 PARA VALIDAR OS DADOS.
MAPUTO - JANEIRO**

RAD/OBSERV.	RAD/CALCUL.	OBSE-CALC)	(OBSE-CALC) ²	(OBSE-CALC) ² /CAL
613.8	666.1	-52.33	2738.73	4.11
605.3	644.5	-39.18	1535.77	2.38
594.8	579.6	+15.24	232.48	0.40
505.9	525.4	-19.53	381.76	0.72
534.5	574.1	-39.64	1571.42	2.73
596.3	606.6	-10.30	106.28	0.17
572.9	568.7	+4.17	17.39	0.03
5142.2	552.5	-38.29	1466.56	2.65
560.7	601.2	-40.49	1640.08	2.72
503.5	482.1	+21.35	455.90	0.94
581.4	590.4	-8.97	80.55	0.13
621.7	595.8	+25.91	671.50	1.12
518.6	552.5	-33.89	1148.92	2.07
536.7	552.5	-15.79	249.50	0.45
598.5	601.2	-2.69	7.27	0.01
582.2	579.6	+2.64	7.01	0.01
648.8	633.7	+15.13	229.91	0.36
645.3	606.6	+38.69	1496.96	2.46
603.6	585.0	+18.63	347.30	0.59
610.5	595.8	+14.71	216.48	0.36
619.5	628.3	-8.754	76.64	0.12
577.9	595.8	-17.88	319.93	0.53
629.8	633.7	-3.866	14.94	0.02
612.4	595.8	+16.61	276.02	0.46
696.4	698.6	-2.20	4.85	0.01
585.0	574.1	+10.85	117.91	0.20
615.0	617.4	-2.43	5.91	0.01
527.7	541.7	-13.97	195.24	0.36
565.9	606.6	-40.70	1657.25	2.73
				$\Sigma\chi^2=29.61$

ANEXO - 7

**TESTE χ^2 PARA VALIDAR OS DADOS.
MAPUTO - JUNHO**

RAD/OBSERV.	RAD/CALCUL	OBSE-CALC)	(OBSE-CALC) ²	(OBSE-CALC) ² /CAL
319.8	327.8	-8.01	64.15	0.19
307.2	322.2	-14.95	223.75	0.69
313.5	325.0	-11.48	131.88	0.14
330.8	324.0	+6.75	45.66	0.14
313.8	335.3	-21.54	464.19	1.38
289.1	322.2	-33.05	1092.85	3.39
313.3	333.5	-20.16	406.48	1.21
294.9	323.1	-28.20	795.25	2.46
318.7	326.9	-8.16	66.71	0.20
331.5	327.8	+3.69	13.61	0.04
327.9	326.9	+1.03	1.06	0.01
332.9	321.2	+11.68	136.50	0.42
326.5	332.5	-6.019	36.23	0.10
319.6	325.9	-6.32	40.01	0.12
305.3	326.9	-21.56	465.17	1.41
308.0	320.3	-12.27	150.66	0.47
325.0	319.3	+5.66	32.12	0.10
354.0	328.8	+25.44	647.61	1.96
345.5	328.8	+16.74	280.50	0.85
330.0	324.0	+5.957	35.49	0.10
325.7	325.0	+7.15	0.52	0.01
307.7	320.3	-12.57	158.11	0.49
334.2	328.8	+5.44	29.68	0.09
338.4	323.1	+15.29	234.08	0.72
341.5	324.0	17.45	304.77	0.94
331.0	326.9	4.13	17.07	0.05
316.9	325.9	-9.02	81.46	0.24
321.1	324.0	-2.94	8.65	0.02
321.0	318.4	+2.60	6.80	0.02
305.4	325.9	-20.52	421.31	1.29
				$\Sigma\chi^2 = 19.61$

4.2 LITERATURA

- 1 - Angstrom. A, - Solar and terrestrial radiation Q.J.R. Met. Soc. 50, 121 (1924)
- 2 - Angstrom. A, - On computation of global radiation from the record of sunshine. Arkiv. Geophysik 3,551 (1956).
- 3 - Black. J.N, Bonython. C. W. and Prescott.J.A, - *Solar radiation* and duration of sunshine. Q.J.R. Met. Soc. 80,231 (1954).
- 4 - Garg. H. P, and Garg.S.N - Correlation of monthly average daily global, difuse and beam radiation with bright sunshine hours. Energy convers. Mgmt 25, 409 (1985)
- 5 - Jain. P. C, - Global irradiation estimation for Itatian locations, Solar wind tecno 3,323 (1986).
- 6 - Tasdemiroglou. E and Sever. R, estimation of total radiation from bright sunshine hours in Turkey. Energy 14, 827 (1989).
- 7 - Reddy, S. J, - An empirical method for the estimation of the *total solar radiation*. Solar Energy 13,289 (1971.)
- 8 - Sayigh, A. A. IV Course on *solar energy* conversion, Vol. II, P. 51. International Centre for Theoretical Physics, Trieste (1977).
- 9 - Reddy, S. J. - An empirical method for the estimation of net radiation intensity. Solar Energy 13,291 (1971).
- 10 - Barbaro, S, Coppolino, S, Leone, C and Sinagra, E - Global solar radiation in Italy. *Solar Energy* 20, 431 (1978)
- 11 - Habbane, A. Y, McVeigh, J. C. and Cabawe, S. O. I. - *Solar radiation model* for hot dry arid climates. Appl. Energy 23,269 (1986).
- 12 - Zabara, K. Estimation of *Global solar radiation* in Greece. Solar Wind Technol. 3,267 (1986).
- 13 - Jain, P. C. - Comparison of the techniques for the estimation of daily global irradiation and a new technique for the estimation of hourly *global irradiation*. Solar wind Technol. 1,123 (1984).
- 14 - Canada, J - Global solar radiation in Pais Valenciano using sunshine hours. Int. J. Ambient Energy 9, 197 (1988).

- 15 - Mata, L.A. - Estudo sobre a atenuação da luz solar, em condições de céu limpo
- 16 - Peixoto J. P. - A radiação solar e o sistema atmosfera-globo da Terra
- 17 - Hald. A. - Statistical Theory with engineering applications.
- 18 - Peixoto, J. P. - Noções fundamentais sobre os fenómenos da *radiação solar* (1960).