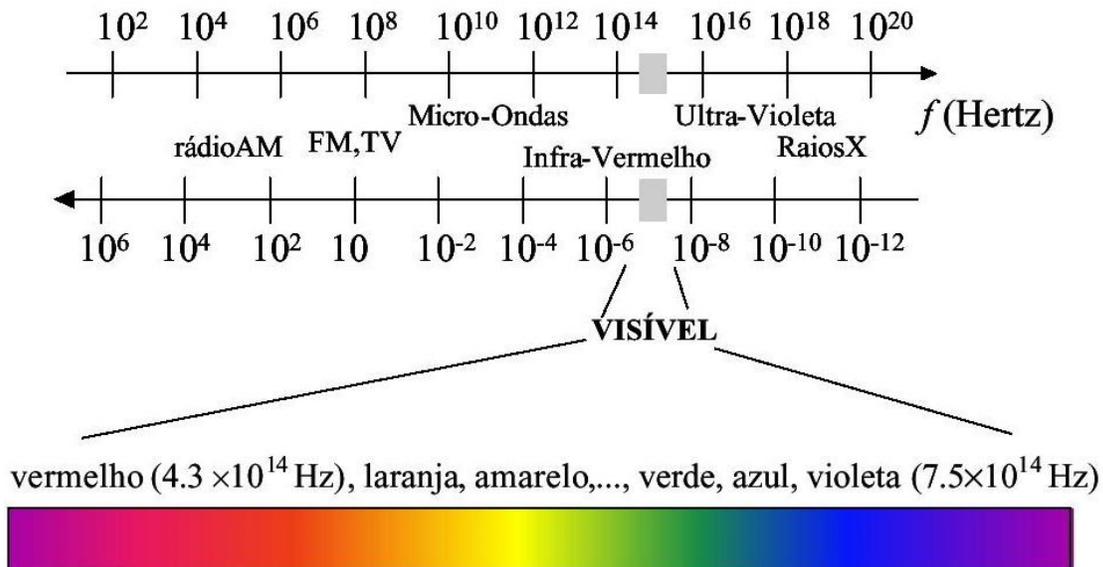


Denomina-se radiação, ou energia radiante, à energia que se propaga sem necessidade da presença de um meio material. O termo radiação é igualmente aplicado para designar o próprio processo de transferência desse tipo de energia.

Em Meteorologia é estudado o aspecto ondulatório da radiação. Sob a ótica ondulatória, a radiação, se caracteriza pelo comprimento de onda ( $\lambda$ ), ou pela frequência de oscilação ( $f$ ). O comprimento de onda é normalmente expresso em centímetros (cm) ou em micra ( $1\text{Å} = 10^{-4}\text{ cm}$ ) e a frequência em ciclo por segundo, ou Hertz (Hz).

O comprimento de onda varia desde  $10^{-10}\text{ cm}$  (raios gama) até cerca de  $10^7\text{ cm}$  (ondas longas de rádio). Ao conjunto de todas elas define-se espectro eletromagnético.



A radiação solar que chega ao topo da atmosfera é de  $I = 1.9\text{ cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ . Apesar do fato do sol ter cerca de 1.39 milhões de diâmetro, o disco visível (fotosfera) subtende um ângulo da terra de apenas  $0.545^\circ$  de arco. Ao penetrar na atmosfera, a radiação é modificada em intensidade e polarizada pelo espalhamento das moléculas, gotículas d'água, poeira e outras partículas de aerossol na atmosfera; pela absorção dos gases atmosféricos; e pela absorção e reflexão do solo ou da superfície d'água.

As emissões de radiação de onda curta compreendida entre  $0,15$  a  $4,0\mu$  ( $\mu$  - micron =  $10^{-10}\text{ cm}$ ), 9% desta radiação emitida pelo sol o espectro entre  $0,36$  e  $0,74$  podem ser detectadas pelo olho humano. Constituído a parte visível do espectro eletromagnético ou visível. Dentro de aspecto o olho humano pode diferenciar as seguintes cores:

Violeta	0,36 a 0,42 $\mu$
Índigo-azul	0,42 a 0,49 $\mu$

Verde	0,49 a 0,54 $\mu$
Amarelo	0,54 a 0,59 $\mu$
Laranja	0,59 a 0,65 $\mu$
Vermelho	0,65 a 0,74 $\mu$

Os intervalos acima são arbitrários e aproximados, pois não há limites nítidos entre as cores. A transição entre cores vizinhas se dá de maneira gradual.

A distribuição espectral da Radiação Solar incidente no topo da atmosfera é comparada com a emitida por um corpo negro à temperatura de 6000°k. Para cada intervalo do espectro solar o sol emite a uma temperatura diferente e numa camada distinta. A discrepância significativa que ocorre na região do ultravioleta é devida às transições eletrônicas que ocorrem nos gases “overlying” do sol. Fora desta Região as duas curvas são similares na forma e na magnitude. Os vários processos atmosféricos operam na mudança da distribuição espectral quando a radiação atravessa a atmosfera. A absorção principal é produzida pelo vapor d’água, que é responsável pelas fortes bandas na região do infravermelho e pela alta altitude do ozônio atmosférico que limita a radiação que chega ao solo em quantidades apreciáveis para  $I > 0.30$ .

Quantidades relativamente menores de energia são absorvidas pelo ozônio e o oxigênio e uma banda de absorção menor do CO<sub>2</sub>. O espalhamento da radiação, que é particularmente importante nos curtos comprimentos de onda, é igualmente responsável pelo decréscimo indicado pelas curvas na região espectral do visível e do ultravioleta.

Medida da Radiação

## 1. Classificação dos Instrumentos

Os aparelhos destinados à medida da radiação são conseqüências do tipo de radiação a ser utilizado. Denomina-se genericamente de radiômetros são formados das seguintes partes: um detector que recebe a radiação incidente e converte em uma grandeza física de fácil medida (calor, eletricidade, expansão de líquido, dilatação de sólidos, tensão, corrente) e de um ângulo de abertura do instrumento.

Interessa medir a quantidade de radiação (Q) que chega num dado momento ao instrumento. A Grandeza medida (V) tem que ser convertida em Q através de uma constante de calibração k, logo  $Q = kV$  onde k é função de cada tipo de instrumento e todos os instrumentos possuem uma constante de calibração específica.

Os radiômetros recebem nomes específicos dependendo do tipo de radiação que se vai medir, como descrito a seguir:

### Pireliômetro



É um instrumento destinado a medir a radiação solar direta (R.S.D.) de incidência normal. Estão divididos em padrão primário e padrão secundário.



### Piranômetro

É um instrumento utilizado para medir a radiação solar global, (R.S.G.). Medem a radiação solar incidente numa superfície plana

a partir de um ângulo sólido  $2\pi$  utilizado principalmente para a medida das grandezas de radiação solar global e de radiação solar difusa (com exceção do ângulo sólido limitado ao disco solar).

### Pirgeômetro



É um instrumento destinado para medir a radiação terrestre no nível de uma superfície horizontal.

### Pirradiômetro

É um instrumento destinado a medir a radiação total (solar e terrestre).

### Pirradiômetro Diferencial

É um instrumento que mede a diferença entre o fluxo das radiações (solar, atmosférica e do solo) dirigidas para o solo e para o espaço, através de uma superfície horizontal.

## **2. Escala de Radiação**

A radiação é medida em unidades de energia e estas unidades são evidentemente definidas de uma maneira muito rigorosa. As medidas de comparação são estabelecidas sobre dois instrumentos principais, o pireliômetro de angstrom e o pireliômetro disco de prata, e como as suas medições não em Davos, em 1956, recomendou adotar uma nova escala, chamada Escala Pireliométrica Internacional 1956. Esta escala recomenda aplicar as correções apropriadas nas medidas desses dois instrumentos. A Escala Pireliométrica Internacional 1956 entrou em vigor a 1 de janeiro de 1957. Para se exprimir as medidas efetuadas antes desta escala, deveria aumentar de 1,5% as medidas efetuadas pelo pireliômetro de Angstrom e diminuir 2% as medidas efetuadas pelo Disco de Prata.

As justificativas e os motivos são encontrados no manual de Instruções AGI (SCAGI, 1958). O desenvolvimento na radiometria absoluta melhorara a precisão na medida da radiação, definiu-se em 1979 uma nova Referência Radiométrica Mundial (WRR) foi adotada a partir de 1 de julho de 1980. As antigas escalas podem ser transferidas para a WRR, multiplicando as medidas efetuadas em relação ao Angstrom por 1.026; as efetuadas em relação ao Disco de Prata por 0.977 e por 1.022 as medidas relacionadas à IPS (Escala Pireliométrica Internacional).

## **3. Precisão das Medidas de Radiação**

Para determinar a precisão das medidas de radiação efetuadas pelos radiômetros, precisa-se avaliar as propriedades utilizadas pelo sistema (dispositivos de medida, de registro e de integração) e aplicar certas correções aos resultados da observação.

A – sensibilidade do sistema, a menor modificação da grandeza a se medir que pode ser detectada pelo sistema.

B – estabilidade do fator de calibração, mudança máxima desse fator admissível (em % por ano).

C – erro máximo devido à variação da temperatura ambiente, vento, pressão e umidade.

D – erros causados por um afastamento por causa da resposta suposta do receptor em diversos domínios do espectro, como efeito do orifício da janela, enegrecimento da superfície receptora.

E – a não linearidade da resposta do sistema, o erro máximo deve ser determinado.

F – nos casos dos pireliômetros, o efeito da radiação circunsolar, que depende do ângulo de abertura.

G – a constante de tempo, o tempo necessário para registrar  $(1-1/e)$  da variação brusca da radiação.

H – o afastamento da resposta direcional do receptor por causa da resposta suposta (resposta cosseno e azimute).

I – dúvidas quanto ao equipamento auxiliar.

Os instrumentos utilizados, normalmente nos centros regionais ou nacionais de radiação, deverão ser preferencialmente da 1ª classe, as das demais estações de 1ª ou 2ª classe.

Os instrumentos padrões secundários internacionais têm uma precisão absoluta de 1% e provável de 0,5% quando os ajustamentos recomendados estão relacionados com a escala. A precisão das outras medidas feitas com o instrumento comparado com o padrão varia segundo as condições.

A fim de garantir a estabilidade por muito tempo da referência, uns grupos de no mínimo 4 Pireliômetros absolutos de diferentes fabricantes são usados como o Grupo Padrão Mundial (WSG). Durante as comparações internacionais, o valor WRR é calculado da média aritmética de no mínimo três instrumentos que participam da WSG. Para conseguir os valores WRR, as leituras dos instrumentos WSG são sempre corrigidas com fator de redução individual, determinado pelo tempo de sua inclusão no WSG.

Para fazer parte deste grupo, um radiômetro deve ter as seguintes especificações:

- (a) estabilidade maior que 0,2%
- (b) a acurácia e a precisão do instrumento deve estar dentro dos limites de incerteza da WWR (0,3%)
- (c) o instrumento deve ter design diferente dos outros da WSG.

#### **4. Normalização dos Radiômetros**

A OMM recomenda um sistema de centros radiométricos mundiais, regionais e nacionais que devem fornecer os meios e as instalações necessárias para manter a estabilidade da Referência Radiométrica Mundial e das comparações internacionais e nacionais dos radiômetros padrões.

##### 4.1 – Centros Radiométricos Nacionais

É um centro designado pelo plano nacional e funciona como centro de aferição, de normalização e de controle dos instrumentos utilizados na rede nacional de radiação.

Este centro deve fornecer as seguintes condições:

- a) possuir ao menos um Pireliômetro padrão do tipo Angstrom ou Disco de Prata. Este Pireliômetro padrão nacional deverá ser comparado a um regional pelo menos a cada 5 anos. A precisão do equipamento de medida auxiliar deverá ser da mesma ordem daquela do Pireliômetro.
- b) deverá ter as instalações e os equipamentos necessários para controlar e estudar o funcionamento e as performances dos instrumentos utilizados na rede.

c) o pessoal do centro deverá assegurar a continuidade e ter um especialista qualificado em radiação. Estes centros nacionais devem ser encarregados de preparar e ter em dia todas as informações técnicas relativas à utilização e manutenção da rede nacional de estações radiométricas.

#### 4.2 – Centros Radiométricos Regionais

É um centro designado pela associação regional para funcionar como centro de comparação dos instrumentos de medida de radiação da região e ter os instrumentos padrões necessários a este fim.

Este centro deve fornecer as seguintes condições:

A – possuir pelo menos três Pireliômetros padrões do tipo Angstrom ou Disco de Prata e que um entre eles deve ser comparado, pelo menos a cada 5 anos com os instrumentos padrões internacionais. Os padrões devem ser comparados entre si uma vez por ano.

B – possuir um equipamento de medida e de controle cuja precisão deverá ser ao menos da mesma ordem que a do Pireliômetro padrão.

C – dispor de meios e materiais de laboratório necessários para controlar e manter a precisão de medida auxiliar.

D – fornecer os meios necessários às comparações pereliométricas nacionais da região.

E – o pessoal do centro deve assegurar a continuidade dos trabalhos e Ter pelo menos um especialista qualificado em matéria de radiação.

#### 4.3 – Centro Radiométrico Mundial

É um centro estabelecido e designado oficialmente pela OMM para fornecer as instalações permanentes para as comparações inter-regionais dos radiômetros padrões e manter a estabilidade da Referência Radiométrica Mundial – WRR.

Este centro deve fornecer as seguintes condições:

A – ser equipado e manter um grupo dos últimos três dos mais estáveis Pireliômetros ou radiômetros absolutos, cujas calibrações estão diretamente ligadas a WRR. O Centro Mundial de Davos é responsável pela manutenção do Grupo Padrão Mundial (WSG) para a realização da Referência Radiométrica Mundial.

B – funcionar como centro de comparações inter-regionais e internacionais dos instrumentos de medida de radiação e manter os instrumentos padrões, dispor dos laboratórios e outras instalações necessárias para este efeito.

C – estar situado numa região climática caracterizada por longos períodos ininterruptos de céu claro e por fluxos radioativos estáveis.

D – dispor de equipamentos de laboratório e das instalações exteriores necessárias à comparação simultânea de um grande número de instrumentos e a redução dos dados.

E – dispor de especialistas qualificados.

F – acompanhar todos os progressos conduzindo a melhoria dos instrumentos padrões e tomar todas as medidas necessárias para manter no melhor estado possível I seus padrões e seu equipamento de controle.

G – preencher as condições acima, antes de ser designado como centro radiométrico mundial e continuar a preencher depois de sua designação.

H – empreender a formação de especialistas de radiação.

## 5. Medida de Radiação Solar Direta (R.S.D.) – Radiação recebida sob uma incidência normal.

- Pireliômetros

As superfícies receptivas são colocadas de maneira que fiquem perpendiculares à radiação incidente. Deve ser montado num suporte permitindo operar rapidamente e sem dificuldades as regulagens do azimute e ângulo de elevação. Normalmente o aparelho tem um visor que permite centrar a superfície sensível do sol, quando o feixe luminoso incide sobre uma seta marcada no centro do papel quando a superfície receptora está normal ao feixe solar direto.

Para os registros contínuos, uma montagem equatorial é necessária a fim de manter o eixo principal paralelo ao eixo de rotação terrestre, as regulagens do azimute e a altura devem ser precisas a  $1/4^\circ$ .

Os Pireliômetros devem ser inspecionados pelo menos uma vez por dia e mais frequentemente quando as condições meteorológicas o exigem.

Deve ser colocado de maneira que as condições de brilho e de poluição atmosférica sejam as mais representativas possíveis da região.

Os instrumentos usados na prática têm uma abertura um pouco maior que a exigida na medida da R. S. D. Isto motiva erros devidos à radiação circunsolar e como é praticamente difícil a orientação para a medida apenas do disco solar, é possível padronizar os instrumentos regulamentando a geometria dos tubos coletores.

$\text{Arctg } R/d = \text{ang. Abertura (meio)} = Z$

$\text{Arctg } R-r/d = \text{ang. De inclinação} = Z$

$\text{Arctg } R+r/d = \text{ang. De inclinação limite} = Z 1.$

$1 < Z < 2 \quad d/r > 15 \quad Z - < 4$

### 5.1– Comparação dos Pireliômetros

Todos os Pireliômetros devem ser calibrados por comparação com um Pireliômetro absoluto, usando o sol como fonte. Todos os instrumentos de radiação devem ser referidos a WRR, os pireliômetros absolutos também usam um fator determinado com o WSG. Depois de cada comparação, cada Pireliômetro deve ser usado como padrão primário a fim de calibrar também por comparação com o sol como fonte.

O padrão de referência utilizado é um Pireliômetro de Angstrom ou o Disco de Prata. A comparação não apresenta dificuldades a condição de escolher uma época do ano em que a R.S. é estável para proceder a um número suficiente de observações. Todo dia se calcula o coeficiente térmico de cada instrumento aferido e indica-se a temperatura na qual o fator de aferição é correto.

Deve-se proceder as comparações de Pireliômetros unicamente quando o produto entre o fator de transmissão e a massa de ar exceder 0.17. Algumas regras que são sugeridas pela OMM para se aplicar a fim de se assegurar a precisão requerida nas comparações internacionais pireliométricas. Estas regras são as seguintes:

## A – Conservação da WRR

A Referência Radiométrica Internacional será representada ao mesmo tempo por pelo menos três Pireliômetros padrões pertencentes aos centros regionais conhecidos e incluindo se possível os Pireliômetros representativos das escalas originais de Estocolmo e de Washington.

## B – Valores de referência para comparações

Os valores de referência para as comparações serão aqueles que correspondem aos valores médios fornecidos pelos instrumentos após exploração estatística completa das séries de medida a determinar.

i-a estabilidade do funcionamento dos instrumentos (precisão intrínseca de medida instrumental).

i i-homogeneidade das séries (influência dos fatores meteorológicos relativos às características instrumentais).

Após qualquer condição justificada certa séries de medida serão revistas.

Nas comparações com Pireliômetros com geometria diferentes, deve-se levar em conta a influência da auréola solar nas leituras para os ângulos de abertura maiores.

A qualidade dos resultados dependerá da variabilidade da radiação solar e das constantes de tempo. As condições ambientais como pressão e temperatura podem influenciar nos resultados. Deste modo, para uma calibração de qualidade deverão ser usados apenas os dados de dias claros e estáveis e de preferência em estações de altitude.

### 5.1.1 – Método de Comparação

Os Pireliômetros apresentados às comparações devem ser controladas antes e depois do seu transporte ao centro internacional, este controle deverá ser efetuado por comparação com os Pireliômetros padrões regionais ou nacionais, por aplicação de similitude e estabilidade descritos por Courvoisier.

#### - Equipamento Elétrico Auxiliar

Os miliamperímetros ou potenciômetros associados aos Pireliômetros padrões devem ter sido previamente controlados pelos órgãos oficiais nacionais qualificados; os controles devem ser sobre os erros de escala, linearidade e temperatura. Devem ser feitos certificados de comparação. A fim de atender a precisão requerida, de 0,4% para o valor do fluxo energético por unidade de área, a medida da intensidade elétrica deverá ser feita com uma precisão de pelo menos 0,2%. Os reostatos que regulam as correntes de aquecimento devem ser conhecidos de maneira que para uma energia incidente da ordem de 100 mWcm<sup>-2</sup> a menor variação de intensidade obtida com o reostato correspondente a um deslocamento máximo do galvanômetro não ultrapasse a divisão da escala.

Em Davos, no curso das comparações internacionais, o método adotado foi o seguinte: cada Pireliômetro foi relido com o seu próprio equipamento auxiliar de maneira que os instrumentos são lidos simultaneamente e que a maioria das séries de observações comparativas pode ser efetuada sucessivamente com rapidez a intervalos estabelecidos. Uma outra possibilidade é de reler cada Pireliômetro no gráfico do mesmo equipamento auxiliar eliminando assim toda diferença proveniente do uso de diferentes equipamentos auxiliares. Neste caso, as observações comparativas serão sucessivamente feitas a intervalos mais longos.

#### - Zero Galvamétrico

O zero galvamétrico deverá ser determinado nas mesmas condições, sejam as duas lâminas ocultas, sejam as duas lâminas expostas. Nos estudos muito precisos deverá ser levada em conta a influência do emprego desses métodos de medida.

- Tamanho das séries

O método utilizado pode ser o seguinte: 11 observações simultâneas para as séries, repartidas de minuto a minuto sendo que a primeira observação da série não intervém no cálculo, o zero galvamétrico deve ser determinado antes e depois de cada série.

- Observações conexas

Medidas com filtros permitindo calcular o fator de perturbação, das medidas da temperatura do ar, da velocidade do vento deverão ser feitas no curso das observações.

Da mesma maneira a radiação solar direta deverá ser registrada de maneira contínua por um Pireliômetro à termopilha e de um potenciômetro com velocidade de registro adequada ( $2 \text{ mm min}^{-1}$ ).

#### 5.1.2 – Método de Redução

Depois do acordo interno do observatório de Davos, a comparação das medias aritméticas das 10 observações de cada série fornece os mesmos resultados que o método baseado no cálculo das medias móveis sucessivas do par de observações. É preferível proceder a redução de observações utilizando um outro método a fim de assegurar um controle permanente das observações e a fim de obter um maior número de valores de comparação.

#### 5.1.3 – Local das comparações

O local escolhido para as comparações internacionais deverá satisfazer as seguintes condições:

- a- Estar situado numa região climática onde tenha frequentes períodos ensolarados com céu claro no curso de duas semanas consecutivas.
- b- Estar situado numa altitude conveniente a fim de facilitar a transposição da escala nacional e de assegurar a comparação dos radiômetros da rede sob melhores condições.
- c- Possuir instalações que permitam acolher cerca de vinte participantes e dar comodidade a todos para efetuar suas observações.
- d- Colocar a disposições dos participantes meios rápidos de redução das medidas.
- e- Possuir um equipamento de medida e de controle de precisão pelo menos igual aquele que se exige dos instrumentos submetidos às comparações.
- f- Possuir as instalações e equipamentos de laboratório necessários ao controle e a conservação da precisão do equipamento auxiliar.
- g- Dispor de pessoal qualificado com grande experiência em radiação.

### **6. Medida da Radiação Global numa Superfície Horizontal**

A radiação solar recebida com um ângulo de  $2^\circ$  sobre uma superfície plana é denominada radiação global, que inclui a radiação recebida diretamente do disco solar e a radiação difusa da atmosfera.

O instrumento usado para medir a radiação solar global tem um ângulo de abertura de  $2^\circ$  sobre uma superfície plana e com um alcance espectral de 0.3 a 3.0 é denominado Piranômetro.

O Piranômetro é algumas vezes usado para medir a R.S. em superfícies inclinadas ou na posição invertida para medir a radiação global são expostos permanentemente para todos os tempos, devem então ser robustos e solidamente instalados de maneira que mesmo os ventos mais fortes não afetem a horizontalidade da superfície receptora. Devem resistir aos efeitos corrosivos do ar úmido, sobretudo nas proximidades do mar. O receptor deve ser hermeticamente fechado no interior de uma cúpula de vidro e que deve ser facilmente desmontável de maneira que possa eliminar as condensações eventuais e limpar a superfície de vidro. Quando o receptor não está fechado coloca-se no seu interior um cartucho desidratante.

### 6.1 – Precauções

Os Piranômetros que funcionam permanentemente deverão ser inspecionados pelo menos uma vez por dia ou mais se for de observação meteorológica corrente (Manual de Instruções AGI).

### 6.2 – Exposição

A localização deverá ser inteiramente livre de toda obstrução acima do plano do elemento sensível e ao mesmo tempo de fácil acesso. Sendo impossível obter tais condições de exposição o lugar escolhido deve ser também livre de obstáculos artificial ou natural, em particular na porção do horizonte compreendida entre ESE e WSW para o Norte, no hemisfério Sul.

Se possível o Piranômetro deverá ser instalado de maneira que nenhum homem levando antenas de rádio ou mastros de anemômetro não atinja em nenhum momento o instrumento. Escolhe-se o lugar de maneira que nenhum obstáculo de mais de 5 m de altura possa perturbar as medidas entre o primeiro e o último raio de sol. Não se deve instalar o instrumento na proximidade de um muro ou de outros objetos claros podendo refletir os raios de sol e fazer com que não seja exposto a alguma fonte artificial de radiação.

Na maioria das estações uma superfície plana constitui a melhor localização para a instalação dos Piranômetros.

Quando a instalação inicial do Piranômetro muda ou quando um dos obstáculos que circundam o aparelho sofre uma modificação importante, deve-se observar a posição angular relativa ao nível da superfície receptora do Piranômetro bem como as posições e o azimute de todos os fazer com uma boa exatidão antes de se processar a interpretação dos dados.

Nas características da estação deve constar a altitude do Piranômetro, a latitude e a longitude.

### 6.3 – Instalação

Todas as conexões elétricas devem ser instaladas com cuidado e devem ser protegidas contra as intempéries. Os cabos e os condutores devem ser solidamente fixados a armação a fim de reduzir ao mínimo os riscos de ruptura por ventos fortes e localizados ao sul da superfície receptora, no hemisfério sul.

Todos os instrumentos devem ser nivelados corretamente de maneira que a superfície receptora seja perfeitamente horizontal. E recomendado verificar cuidadosamente o nivelamento com a ajuda de um nível de bolha fixado permanentemente no suporte.

Verificar as regulagens do nível no laboratório instalando o instrumento numa plataforma que possa girar em torno de um eixo vertical passando pelo centro da superfície receptora. O instrumento e então iluminado por uma lâmpada de maneira que os raios incidentes formem um ângulo em torno de 15 com a horizontal; a lâmpada deve ser alimentada por uma corrente com tensão constante.

Mede-se assim a corrente da fonte do radiômetro para diversos azimutes e o nível do instrumento e regulado independentemente daquele da plataforma girante já que com isto se obtém uma variação a mais fraca possível para o instrumento animado de um movimento de rotação em torno do eixo principal. Quando isto é feito, o nível de bolha é fixado de maneira a dar leituras corretas e finalmente fixado no suporte.

Teoricamente, não deverá ter variação de sensibilidade para os piranômetros cuja pilha termoelétrica não é circular. A orientação do instrumento utilizado deve observar as instruções específicas dadas nos manuais.

Os instrumentos de termopilha retangular devem ser orientados de tal modo que o lado mais comprido esteja na direção leste-oeste. Quando existem torres nas proximidades, o instrumento deve ficar ao lado da torre na direção do Equador e o mais longe possível do obstáculo.

A radiação refletida do solo ou da base não deve irradiar o instrumento por baixo. Pode-se usar um dispositivo de proteção tomando cuidado para que a ventilação não seja interrompida e que possa manter o instrumento na temperatura ambiente.

#### 6.4. Precisão dos Piranômetros

Várias propriedades dos Piranômetros devem ser avaliadas de modo que se possa estimar a precisão dos resultados; o tipo do Piranômetro e a natureza de suas medidas também estão incluídos na avaliação.

A variação da sensibilidade devido às variações de temperatura do instrumento é uma das mais comuns principalmente para instrumentos de termopilhas. Alguns instrumentos estão equipados com circuitos internos que compensam a temperatura a fim de manter uma relação constante qualquer que seja a temperatura ambiente. Um coeficiente de temperatura pode ser calculado por  $= (V_t / T - T_1) - 1$  onde  $V_t$  e  $V_{t_1}$  são as saídas do Piranômetro para as temperaturas  $T$  e  $T_1$ . O fator de calibração de um Piranômetro deve ser bem diferente quando se utiliza o instrumento em posições diferentes daquela em que foi calibrado. O Piranômetro deve ser calibrado na atitude que for usado.

A dependência da resposta direcional do sensor devido ao ângulo de elevação do sol e o azimute. A resposta do receptor ideal é proporcional ao co-seno do ângulo zenital do sol e constante para todos os ângulos azimute. Para os Piranômetros é conveniente que este erro, em percentagens, seja calculado para no mínimo dois ângulos de elevação solar de 30° e 10° para dia claro.

$$R = 100 V / V \cos \theta \quad \text{onde}$$

$V$  é a resposta para incidência normal

$V$  é a resposta para

$\theta$  é o ângulo de incidência

Outros fatores que levam a uma melhor precisão dos Piranômetros são a estabilidade do fator de calibração, a linearidade da resposta, o seu tempo de resposta e a resposta espectral.

#### 6.5 - Calibração dos Piranômetros

A calibração dos Piranômetros consiste em determinar o seu fator de calibração e a sua dependência com as condições ambientais, tais como: temperatura, nível de radiação, distribuição espectral, variação temporal, distribuição angular da radiação e inclinação do instrumento.

Existem diversos métodos de calibração de Piranômetros usando o sol ou fontes artificiais em laboratório.

### 6.5.1. Por comparação com um Pireliômetro

O melhor método consiste na aferição do Piranômetro comparando com um Pireliômetro padrão de trabalho e utilizando o sol como fonte. Mede-se a radiação com a ajuda de um Pireliômetro em dia claro, primeiro lê-se a radiação solar global e em seguida a radiação solar difusa (a radiação solar é interceptada com a ajuda de um disco montado na extremidade de uma haste e mantida a uma distância apropriada). O diâmetro do disco e a sua distância a superfície receptora devem ser escolhidos de tal modo que o ângulo protegido seja aproximadamente igual ao ângulo de abertura do Pireliômetro utilizado. Obtém-se por subtração o efeito da componente vertical (I) de radiação solar direta.

$I_{sen} \cdot h = k (T_n - d_n)$  onde I é a radiação solar direta observada, h a altura média do sol, T<sub>n</sub> a tensão produzida pelo instrumento nas condições de radiação normais, d<sub>n</sub> a tensão do instrumento sob o efeito da tela solar e K a constante do instrumento. O tempo de utilização da tela solar deve ser suficiente para que o Piranômetro possa dar uma leitura exata; na prática, pode ser desejável tampar o sol por 2 a 5 minutos quando se opera com um Piranômetro Moll e durante 30 minutos quando este é um Piranômetro bimetálico. As principais variações constatadas são devidas às flutuações adversas das condições atmosféricas, ao afastamento em relação à lei do co-seno e as variações de temperatura ambiente. Numa estação, de observação principal deverá verificar o Piranômetro de referência muitas vezes ao mês se for possível. A operação deverá se repetir muitas vezes por dia durante muitos dias para toda uma gama de valores de altura do sol e da temperatura do ar e deve estabelecer em seguida um valor médio.

O disco-tela utilizado pode ter 10 cm de diâmetro estando colocado a uma distância de 1 m do receptor (a cúpula de vidro deve estar completamente protegida durante todo o processo). Nestas condições, o ângulo definido pela tela será aproximadamente o ângulo de abertura do Pireliômetro de referência, este dispositivo compensa a radiação difusa circunsolar que chega na superfície sensível do Pireliômetro.

### 6.5.2. Calibração em Relação a um Pireliômetro e um pironometro sombreado.

Este método é idêntico ao anterior a não ser que o Piranômetro que for calibrado permanece na sua condição normal de operação, isto é, não é sombreado e irradiado alternativamente. A componente da radiação solar direta é determinada pelo Pireliômetro e a difusa é medida pelo Piranômetro protegido.

O fator de calibração é então calculado como sendo:

$$I_{sen} \cdot h + V - K = V \cdot K$$

onde I é a radiação solar direta medida pelo Pireliômetro

V é a saída do Piranômetro a ser calibrado

V- é a saída do Piranômetro sombreado

K é o fator de calibração do Piranômetro calibrado

K- é o fator de calibração do Piranômetro sombreado

h é a elevação solar na hora da leitura

Devido ao efeito térmico na cúpula de vidro, a sensibilidade de alguns Piranômetros pode ser diferente, em condições normais e sombreadas. Por isso este método é preferível.

### 6.5.3. Calibração em relação a um outro Piranômetro

Pode-se comparar o Piranômetro com um outro Piranômetro deixando-os funcionar lado a lado durante algumas semanas. Deverá selecionar, nas duas séries registradas da radiação global, os períodos de radiação mais estáveis. Quando se utiliza um integrador juntamente com os dois instrumentos, é necessário proceder a uma seleção dos registradores e pode-se utilizar todas as somas diárias.

#### 6.5.4. Calibração nas estações da rede

Nas estações onde não se dispõe de bons padrões de trabalho pode-se utilizar quatro métodos para verificar o Piranômetro.

A – existindo um registrador simultâneo da radiação solar direta, pode-se comparar os dois registros com a ajuda do método utilizado para calibração direta. Esta verificação deverá ser repetida frequentemente.

B – quando se registra simultaneamente a radiação difusa deverá parar frequentemente os dois registros elevando-se o disco ou o anel-tela.

C – pode-se verificar o registro com a ajuda de um radiômetro secundário fornecido pela estação central da rede ou por uma estação vizinha.

D – pode-se trocar o Piranômetro por um instrumento análogo fornecido pela estação central aquele que foi enviado para controle.

#### 6.5.5. Comparação em laboratório

Existem dois métodos que necessitam de fontes de luz artificial em laboratório, bem como o Piranômetro a ser calibrado e o padrão de referência estejam expostos nas mesmas condições.

Em um método, utiliza-se uma lâmpada de tungstênio na extremidade de uma bancada ótica. Os efeitos de reflexão devem ser excluídos usando anteparos escuros. O instrumento de referência é instalado e mede-se o fluxo radiante, é então retirado e a medida repetida usando o instrumento de teste. Este revezamento produzirá uma série de leituras de boa precisão.

No segundo método a calibração é feita por um sistema total de luzes com uma esfera iluminada por lâmpadas de tungstênio com a superfície interna coberta com tinta branca. Tem a vantagem da exposição simultânea do piranômetro de referência e do instrumento a ser calibrado. Como a esfera simula um céu com uma radiância aproximadamente uniforme, desaparecem os erros de ângulo do instrumento aos 45°. Como os erros de co-seno nestes ângulos são pequenos, a diferença entre os fatores de calibração obtidos por este método e com incidência normal deverá ser pequena.

## 7. Medida do Albedo

Pode-se definir albedo de uma superfície como a razão entre a radiação solar global refletida por esta superfície e a radiação solar global incidente. A determinação do albedo local de uma relva ou de uma parcela do solo nu se efetua com a ajuda de um Piranômetro montado num suporte de tal maneira que possa ser orientado sucessivamente para cima e para baixo, o receptor permanecendo bem horizontal nas duas posições. Uma série de pontos para o solo e para o céu, alternativamente fornece os valores requeridos. Quando se dispõe de dois Piranômetros pode-se instalar horizontalmente um registrando o fluxo de cima e o outro o fluxo refletido pela superfície.

O instrumento a utilizar deverá ser aferido também na posição invertida, pois as constantes do mesmo instrumento podem diferir nas duas posições.

## 8. Medida da radiação difusa

Para medir ou registrar separadamente a componente difusa da radiação solar, deve-se eliminar os raios solares diretos com a ajuda de uma tela. Na prática é impossível tapar completamente o disco do sol sem interceptar também uma pequena fração da radiação circunsolar.

Ao se obter os registros contínuos, deve-se proteger o Piranômetro da radiação solar direta com a ajuda de um disco, por exemplo, uma placa metálica circular mantida por uma armação equatorial do feixe luminoso ou com a ajuda de um anel montado no eixo polar.

No primeiro dispositivo que implica na rotação de uma haste fina em sincronismo com o movimento aparente do sol é indispensável proceder a controles freqüentes, sem o qual é difícil descobrir os valores falsos. O segundo método necessita de uma menor supervisão da parte do pessoal da estação, mas necessita de correções nos exames dos diagramas em vista da quantidade apreciável de radiação difusa interceptada pelo anel. As precauções tomadas na construção e na utilização das telas desse gênero são indicadas nas recomendações da Conferência Internacional de Radiação de 1954 (UGGI 1955). Como a radiação difusa pode representar menos da décima parte da radiação global, é necessário utilizar um registrador mais sensível.

### 8.1-Dispositivo disco-tela

A tela móvel deverá ser bem grande para impedir os raios solares diretos de atingirem a cúpula exterior do Piranômetro a fim de evitar os erros de medida resultante das reflexões múltiplas. A utilização desse dispositivo requer uma manipulação como a dos Pireliômetros . Este tipo de difusômetro foi descrito por Dagniaux e Pastiels (1955). O ângulo formado pela tela com a superfície receptora do Piranômetro deverá ser próximo ao ângulo de abertura dos Pireliômetros utilizados para as comparações e para o registro da intensidade da radiação solar.

### 8.2-Dispositivo anel-tela

Ao se empregar um anel-tela convém instalar de maneira que possa deslizar livremente numa posição correta quando o sol não estiver coberto pelas nuvens. Uma escala graduada em função da declinação do sol permite ajustar a posição de anel quando não tem sol.

O suporte do anel pode ser facilmente confeccionado e deve ser tal que o plano do anel seja perpendicular ao eixo de deslizamento que deve ser paralelo ao eixo polar (precisão de  $\frac{1}{4}$ ), isto é, o centro do anel coincida com o do Piranômetro durante o equinócio. E a largura do anel deve ser suficiente para tampar as superfícies óticas em todas as condições de utilização.

Se não for possível realizar um anel cujas dimensões correspondam ao ângulo de abertura do Pireliômetro utilizado que seu diâmetro varie de 0.5 a 1.5 m e a relação entre a largura e o raio do anel varie de 0.09 a 0.35. A face interna do anel deverá ser pintada de negro, a fim de permitir o cálculo das correções necessárias.

A regulagem correta da altura do anel para conexão ao Piranômetro deve ser tal que nos equinócios o centro do anel e da superfície receptora do Piranômetro coincidam. Os métodos a seguir são indicados no Manual de Instruções da AGI (CSGAGI, 1958).

A orientação N-S do plano de eixo polar deve ser regulada com o maior cuidado. Uma primeira medida do ponto pode se fazer, por exemplo, com a ajuda de um teodolito e de um anteparo situado a uma distância conhecida. Em seguida deve-se processar uma regulagem mais fina

observando-se a sombra do anel sobre o Piranômetro no nascer e no por do sol quando o estado do céu o permitir. Habitualmente se encontra a melhor posição antes de qualquer experiência (isto é, quando a assimetria entre as sombras sobre o receptor é mínima).

O ajuste do anel à declinação solar é feito deslizando-o nos trilhos. O comprimento da faixa de proteção e a altura da plataforma dos trilhos relativa ao Piranômetro são determinados pela posição solar durante o solstício de verão – quanto maior a latitude mais comprida a faixa de sombra e os trilhos mais baixos.

Referência: Apostila do curso de graduação em Meteorologia da UFRJ – Prof<sup>a</sup>. Cibele Picanço.