

MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO DE INTENSIDADE DA RADIAÇÃO DIFUSA EM CÉUS PARCIALMENTE NUBLADOS

Elton Gimenez Rossini Laboratório de Energia Solar. PROMEC-UFRGS. Rua Sarmento Leite, 425, CEP:90050-170 Porto Alegre - RS – Brasil.rossini@mecanica.ufrgs.br

Arno Krenzinger Laboratório de Energia Solar. PROMEC-UFRGS. Rua Sarmento Leite, 425, CEP:90050-170 Porto Alegre - RS – Brasil.arno@mecanica.ufrgs.br

Resumo. *Este trabalho tem por objetivo caracterizar a distribuição angular de intensidade da radiação difusa, através de imagens do hemisfério celeste adquiridas por uma câmera CCD monocromática com lente grande angular. A análise enfatiza as características e regularidades presentes nos céus parcialmente nublados, uma vez que estes são predominantes nas regiões tropicais e subtropicais. A metodologia proposta baseia-se na redução dos níveis de cinza da imagem original, para realçar as diferentes regiões do hemisfério celeste, produzindo mapas de tons cinza. Nestes mapas, cada tom de cinza está relacionado a um nível de intensidade e cada pixel, formador da imagem, está associado a uma direção do céu. Desenvolveu-se um sistema experimental capaz de fornecer simultaneamente imagens do hemisfério celeste e dados instantâneos de irradiância solar. Determina-se a distribuição angular de intensidade relativa, para diferentes tipos de céu nublado. Em quase todos os casos discutidos neste trabalho, observa-se que existe uma forte dependência com a posição solar. Os resultados obtidos mostram que para caracterizar a distribuição angular de intensidade da radiação difusa é fundamental conhecer o tipo de nuvem ou das camadas de nuvens que cobrem parcialmente o céu e sua posição no hemisfério celeste em relação à posição solar.*

Palavras-chave: *energia solar, radiação solar, radiação solar difusa, distribuição angular de intensidade da radiação difusa celeste, radiância.*

1. INTRODUÇÃO

O estudo da intensidade da radiação difusa e de sua distribuição angular no hemisfério celeste, sob diferentes condições atmosféricas, é importante na tecnologia de edificações (Reinhart e Walkenhosrt, 2001), na otimização de certos tipos de concentradores (Miñano, 1985), além de possibilitar a estimativa da irradiância solar difusa em coletores solares e em janelas de casas (Olmo et al., 1999). Nos textos meteorológicos, é comum designar a intensidade (específica) por radiância, e a distribuição angular de intensidade da radiação difusa celeste por distribuição de radiância celeste (Iqbal, 1983; Siala et al., 1990).

Devido à importância do tema, diversos estudos têm sido realizados abordando desde os aspectos puramente teóricos (Chandrasekhar, 1960) até os estudos teóricos que podem ser aplicados para desenvolver ou refinar os modelos semi-empíricos existentes (Kittler, 1993; Kittler, 1994). Além disso, muitas técnicas experimentais têm sido utilizadas para mapear o céu (Kondratiev, 1968; McArthur e Hay, 1981(a); Combes e Harrison, 1980; Brunger e Hooper, 1993(a, b)). Cada uma destas técnicas serviu para o desenvolvimento de diferentes modelos semi-empíricos, capazes de caracterizar a distribuição angular de intensidade da radiação difusa celeste, sob diferentes condições de nebulosidade (McArthur e Hay, 1981(b); Harrison e Combes, 1988; Combes e Harrison, 1988; Rosen, M. A., 1992).

O objetivo deste trabalho é obter mapas de distribuição angular de intensidade da radiação difusa celeste em céus parcialmente nublados, através de imagens monocromáticas do hemisfério celeste, adquiridas por uma câmera CCD com lente grande angular. Justifica-se a utilização de uma câmera CCD como dispositivo de aquisição de imagens pelas seguintes características: (1) permitir a aquisição de imagens em condições quase instantâneas, uma vez que o tempo de integração do equipamento é muito pequeno frente à duração do fenômeno observado; (2) possibilitar o arquivamento e acesso a um grande número de imagens digitais, correspondentes a diferentes condições de nebulosidade; (3) proporcionar uma informação que permite caracterizar a distribuição angular de intensidade da radiação difusa celeste, através de um instrumento de baixo custo.

Os resultados que serão apresentados neste artigo fazem parte de uma pesquisa que foi desenvolvida na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Rossini e Krenzinger, 2000; Rossini, 2002). Neste caso, a atenção estará focada nos céus parcialmente nublados, por ser esta a condição de nebulosidade predominante (Ministério da Agricultura e Reforma Agrária - Normais Climatológicas (1961-1990)).

2. METODOLOGIA

Na literatura referente ao processamento digital de imagens (Facon, J., 1993; Marques Filho e Vieira Neto, 1999), é comum separar esta atividade em etapas. A Figura (1) mostra um esquema para ilustrar as etapas de processamento de imagens deste trabalho, desde a aquisição das imagens monocromáticas até o arquivamento dos resultados.

A fase de aquisição tem como elementos principais o equipamento, caracterizado pelo tipo de sensor empregado para a captura da imagem, e seus elementos ópticos. Esta etapa é concluída quando o sinal analógico de vídeo é obtido à saída do dispositivo de aquisição.

Durante a digitalização, este sinal sofre conversão analógico-digital, por meio de uma placa multiplexadora, resultando em informação digital que é armazenada na memória de acesso aleatório (*Random Access Memory*).

As imagens adquiridas e seus respectivos resultados foram armazenados no formato *TIFF* (*Target File Format*) uncompressed. A primeira estrutura de dados encontrada neste formato é o cabeçalho, *IFH* (*Image File Header*), que contém informações para interpretação do restante do arquivo. O *IFH* é a única parte do arquivo *TIFF* que tem posição fixa.

Na etapa de análise, cada imagem do hemisfério celeste foi convertida numa matriz numérica, escrita como

$$G = \begin{bmatrix} g(0,0) & g(0,1) & \dots & g(0,n-1) & g(0,n) \\ g(1,0) & g(1,1) & \dots & g(1,n-1) & g(1,n) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ g(m-1,0) & g(m-1,1) & \dots & g(m-1,n-1) & g(m-1,n) \\ g(m,0) & g(m,1) & \dots & g(m,n-1) & g(m,n) \end{bmatrix} \quad (1)$$

onde cada elemento da matriz representa um pixel. Os valores $g(x, y)$ representam os níveis de cinza de cada pixel, de acordo com o modelo de cores RGB. As imagens adquiridas são representadas por matrizes com 768 linhas e 512 colunas, onde os tons de cinza variam entre 0 e 255, num total de 256 níveis de cinza.

Um programa computacional foi desenvolvido para converter os 256 níveis de cinza em apenas 16 níveis, num procedimento conhecido como redução de níveis de cinza (Parker, J. R., 1997). Na maioria das aplicações, a redução dos níveis de cinza introduz uma imperfeição na imagem conhecida como falso contorno (Marques Filho e Vieira Neto, 1999). Entretanto, este procedimento aplicado às imagens do hemisfério celeste, conforme a metodologia proposta neste trabalho, permite caracterizar a distribuição angular de intensidade da radiação difusa.

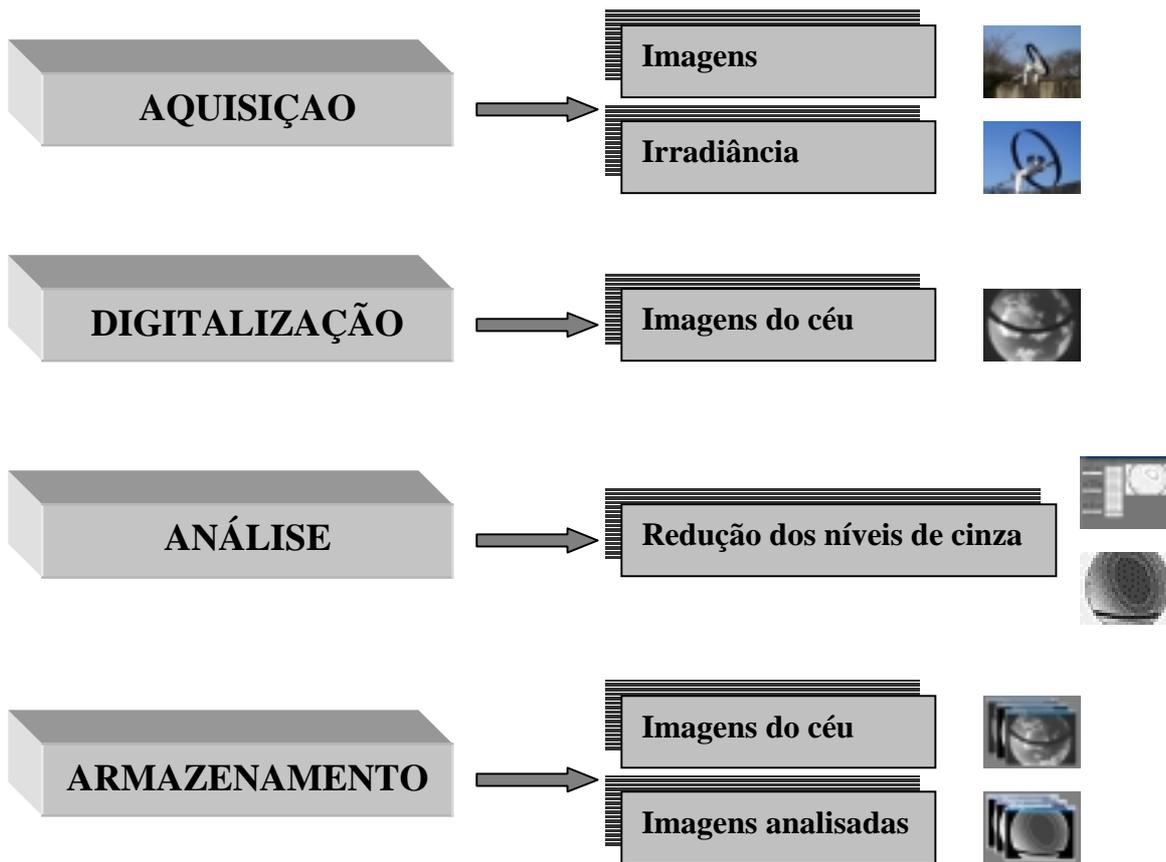


FIGURA 1. Etapas do processamento digital das imagens hemisféricas monocromáticas

Neste trabalho, o processo de redução de níveis de cinza consiste em atribuir um determinado índice a cada pixel da imagem analisada do hemisfério celeste, $\gamma(x,y)$. Este índice representa o menor valor para cada intervalo de 16 tons de cinza da imagem adquirida, à exceção das regiões sombreadas.

Para permitir a visualização dos resultados, cada nível de cinza da imagem analisada foi associado a um tom de cinza representado por um índice do modelo de cores RGB. Assim, por exemplo, se os tons de cinza de uma certa região da imagem original têm índices de RGB variando entre 160 e 175, toda a região é representada, na imagem analisada, pelo tom de cinza mais escuro, ou de menor índice, cujo valor é igual a 160.

Para um determinado pixel, o novo tom de cinza $\gamma(x, y)$ é estabelecido a partir do tom de cinza da imagem adquirida, $g(x, y)$, fazendo-se:

$$\gamma(x, y) = 16n \quad \text{se} \quad 0 \leq g(x, y) \leq 255, \text{ para } n = \text{Int}[g(x,y)/16] \quad (2)$$

onde n é um inteiro positivo e Int é uma função que retorna a parte inteira de um número.

Normalmente, a utilização de câmeras CCD como medidores de intensidade exige um processo de calibração do sensor da câmera, relacionando uma magnitude obtida diretamente do CCD, como tensão ou nível de cinza, a uma magnitude fotométrica ou radiométrica (Shields et al., 1998). Desta forma, cada nível de cinza deve representar um valor de intensidade, válidos para qualquer condição de medida.

Neste trabalho, os tons de cinza não permanecem fixos a um mesmo valor de intensidade. Portanto, ao invés de calibrar o sensor da maneira citada anteriormente, desenvolveu-se uma metodologia, onde os resultados são obtidos por comparações entre os níveis de cinza de cada imagem. Para cada imagem, é estabelecida uma gradação de tons de cinza, que se relaciona a uma escala de intensidades. Assim, o tom mais claro corresponde ao mais alto valor de intensidade, enquanto o tom mais escuro representa o menor valor. Num caso extremo e hipotético, o mapa de uma distribuição isotrópica tem um único tom de cinza, não importa qual. Futuramente, será demonstrado como relacionar a gradação de tons de cinza de uma imagem aos valores de irradiância, medidos no instante da aquisição da imagem (Rossini, 2002). A principal vantagem é a maior versatilidade do equipamento, que pode fornecer resultados sob diferentes condições de nebulosidade e a possibilidade de se aplicar uma técnica simples, como a redução de níveis de cinza, para a determinação dos mapas de distribuição angular de intensidade da radiação difusa celeste.

3. EQUIPAMENTOS

Cada medida é composta por dados instantâneos de irradiância solar e a respectiva imagem grande angular. Os equipamentos de medida estão instalados próximo ao limite leste da cidade de Porto Alegre, no terraço do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, na latitude 30°3' Sul, longitude 51°2' Oeste, e altitude de 10 m.

O sistema óptico disponível para a aquisição de imagens é composto por uma câmera *Fujitsu General*, modelo TCZ-230EA, doada à UFRGS através de um convênio de pesquisa com a Universidad Politécnica de Madrid. A câmera possui interruptores que permitem o ajuste das condições de medida. Acoplada à câmera, emprega-se uma lente grande angular *Pentax Cosmicar - CCTV*, modelo TS213. O ângulo de abertura do conjunto lente / câmera é de 130°.

As medidas de irradiância solar global são realizadas com um piranômetro *Eppley*, modelo PSP, com fator de calibração de $9,93 \mu\text{V} / \text{W.m}^{-2}$. A irradiância solar difusa é medida num ângulo de visão de 120°, idêntico ao da câmera CCD. Estas medidas são realizadas com um piranômetro *Kipp and Zonen*, modelo CM11, com um fator de calibração de $4,75 \mu\text{V} / \text{W.m}^{-2}$. O modelo CM11 é apropriado para medidas da radiação solar na faixa de comprimentos de onda de 0,3 μm a 2,8 μm .

Os dados medidos pelo piranômetro são transferidos para a unidade de aquisição HP34970A, com uma placa multiplexadora de 20 canais. Num próximo trabalho, os valores de irradiância difusa serão associados a cada arquivo de imagem, para estimar a distribuição de radiação.

A técnica de sombreamento por anel é amplamente empregada nas medidas da irradiância difusa (Le Baron et al., 1980; Painter, H. E., 1981; Ineichen et al., 1984; Kudish e Ianetz, 1993; Batlles et al., 1995). Assim, para bloquear a radiação direta, foram utilizados dois suportes com anel de sombra, um para a câmera CCD e outro para o piranômetro. Ambos anéis de sombreamento têm 0,043 m de largura e 0,5 m de diâmetro, possibilitando que os equipamentos tenham o mesmo ângulo de visão. A caixa que permanece fixa ao suporte é empregada para proteger o corpo da câmera de intempéries e da radiação direta. Uma abertura na parte inferior e uma tampa na face Sul, que é retirada durante as medições, evitam que a câmera opere em condições de temperatura inadequada. Um eixo fixo ao suporte permite a regulagem e o ajuste vertical da câmera.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Numa primeira aproximação, é possível obter resultados quantitativos na forma de mapas de distribuição angular de intensidade relativa (Kondratyev, 1969), onde a intensidade da radiação difusa na região do zênite é igual a 1.

Neste caso, a distribuição angular de intensidade relativa é obtida pela razão entre o valor de RGB de uma determinada região da imagem e o valor de RGB da região do zênite. Os mapas de tons de cinza resultantes correspondem à distribuição angular de intensidade na região de sensibilidade espectral do sensor da câmera CCD. Pode-se assumir que esta medida também representa uma distribuição de luminância, uma vez que não leva em conta nenhuma medida

energética, como a irradiância solar difusa. Isso é possível, pois a radiância e a luminância celestes têm a mesma origem e natureza, de modo que suas distribuições são quase idênticas (Kittler, 1994). Por outro lado, a literatura (Kondratiev, 1969) também registra a observação de diferenças quantitativas entre estas distribuições, em certas regiões do hemisfério celeste.

Para representar algumas situações características dos céus parcialmente nublados, foram escolhidas 12 imagens com diferentes tipos de nuvens. Nas Fig. 3 (a – m), observam-se os mapas de tons de cinza das imagens com os valores da distribuição angular de intensidade relativa e as respectivas regiões que têm o mesmo tom de cinza, ou a mesma intensidade que a do zênite. A Tabela (1) apresenta os dados que identificam as condições em que cada imagem foi adquirida.

Tabela 1. Imagens em condições de céu parcialmente nublado

Nome do Arquivo (ano:mês:dia:hora:minuto)	Irradiância difusa medida com anel de sombra – ângulo de visão 120° (W.m ⁻²)	Irradiância global medida com piranômetro Eppley (W.m ⁻²)
2000:11:08:16:45	170	não registrado
2000:11:08:17:00	150	não registrado
2000:12:13:16:30	260	360
2000:12:13:17:30	200	370
2000:12:13:17:45	200	250
2000:12:18:12:50	40	1070
2000:12:18:13:00	50	1070
2000:12:18:13:15	50	1030
2000:12:18:13:30	40	1050
2001:05:31:13:20	200	não registrado
2001:05:31:13:30	210	não registrado
2001:05:31:16:30	60	70

A Figura 2 (a - b) mostra duas imagens adquiridas no dia 8 de novembro. Neste caso particular, o céu encontra-se parcialmente encoberto por nuvens do tipo cúmulos; a posição solar pode ser identificada indiretamente, mesmo com o Sol encoberto por uma nuvem. Por outro lado, a presença deste tipo de nuvem não permite distinguir a região circunsolar. A principal característica desta condição de nebulosidade é a anisotropia da distribuição angular da radiação difusa. A técnica de redução de tons de cinza dá origem à formação de uma série de regiões, localizadas em volta das bordas das nuvens. Nos correspondentes mapas de distribuição de intensidade relativa, observa-se que os valores apresentam uma grande variação, especialmente quando a região do zênite não está encoberta por nuvens. A posição solar não é identificada diretamente e não são observadas regiões ao redor do disco solar. As altas intensidades relativas, que neste caso, correspondem aos máximos valores de RGB, são observadas em regiões cobertas por camadas de nuvens que refletem a radiação solar.

A Figura 2 (c - e) apresenta as medidas realizadas no dia 13 de dezembro. Observa-se a formação de grandes regiões de máxima intensidade, quando uma nuvem, pouco espessa, bloqueia a posição solar. Nos mapas de intensidade relativa, observa-se, da mesma forma que no caso anterior, que o intervalo de variação da intensidade relativa é bem amplo. Este comportamento se deve ao contraste existente entre as regiões ao redor do disco solar, mais claras, e as regiões de céu limpo. Entretanto, a máxima intensidade relativa é um pouco menor do que no caso anterior, pois as imagens mostram que a região do zênite, encontra-se encoberta por camadas de nuvens.

A Figura 2 (f - i) mostra as imagens adquiridas no dia 18 de dezembro de 2000. Neste dia, a maior parte das medidas foi realizada com o céu limpo, mas estas quatro imagens apresentam o céu nublado, em pequenas regiões, por cirros e por cirrocúmulos. Estas imagens foram incluídas para mostrar que estas nuvens modificam sensivelmente o padrão de distribuição de intensidade observado em dias de céu limpo, dependendo da posição das nuvens no hemisfério celeste.

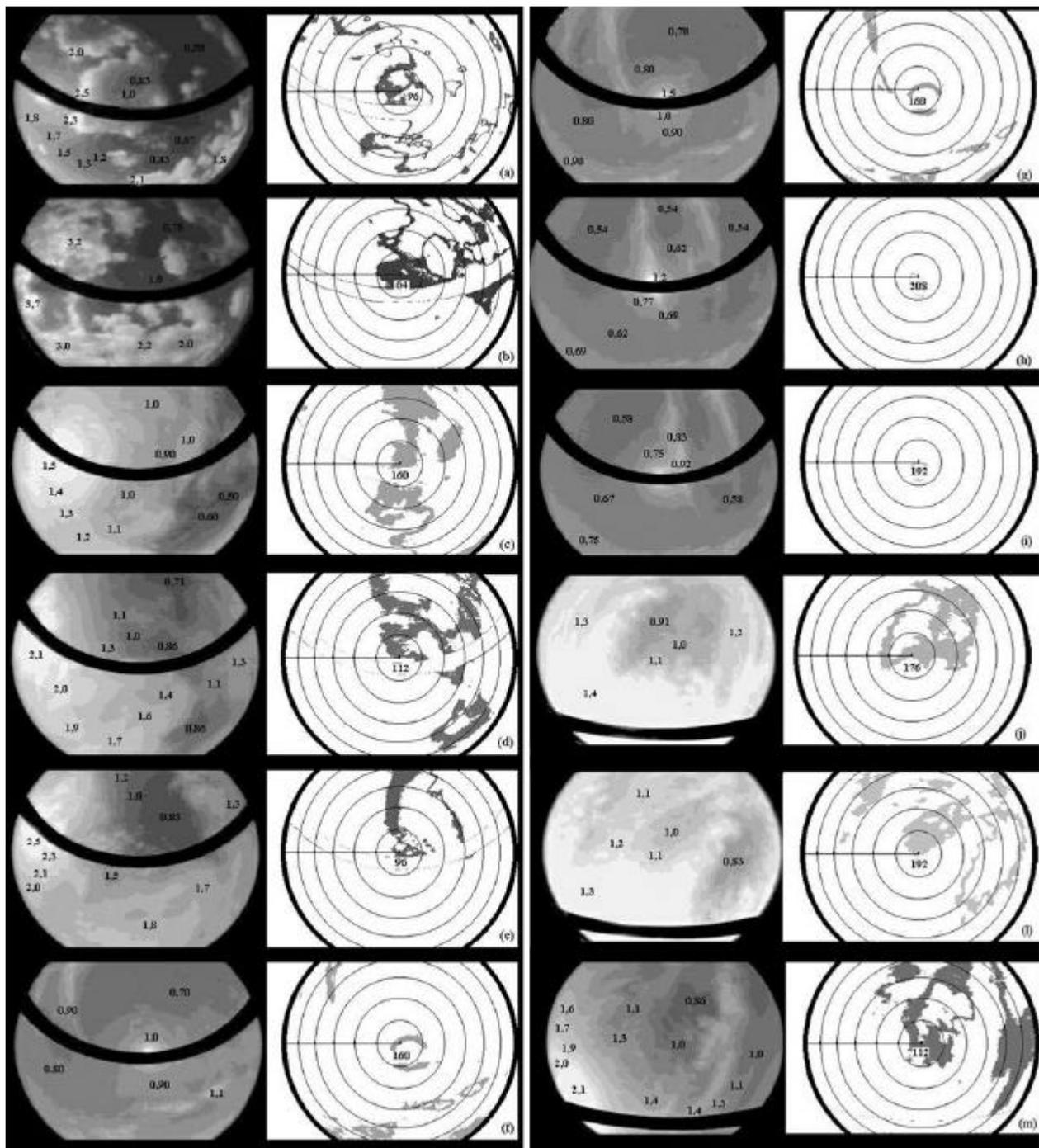


FIGURA 2. Mapas de distribuição de intensidade relativa para diferentes tipos de céus parcialmente nublados, com destaque para as regiões com tom de cinza idêntico ao do zênite.

Assim, quando uma nuvem filamentosa aparece cobrindo o disco solar observa-se o alargamento e a distorção de algumas das regiões, que são fechadas ao redor do Sol, mas ao redor da parte mais clara da nuvem. Nas regiões mais escuras, a forma da nuvem é bem destacada, devido à reflexão da luz solar. O número de níveis de cinza e os respectivos valores de RGB estão fortemente relacionados com a posição solar.

A Figura 2 (j - m) apresenta o céu coberto, em grande parte, por uma camada nebulosa baixa e acinzentada, designada por estratos. Observa-se o predomínio de camadas de nuvens, relativamente uniformes, brancas e espessas, produzindo altos valores de RGB. Nesta condição, observa-se a formação de grandes regiões de máxima intensidade, quando uma nuvem pouco espessa bloqueia a posição solar. A região próxima ao disco solar é marcada por um significativo aumento na intensidade relativa, evidenciando que existe uma dependência com a posição solar.

5. CONCLUSÕES

Neste artigo caracterizou-se a distribuição angular de intensidade da radiação solar difusa em dias de céu nublado, por meio de um sistema experimental que emprega uma câmera CCD monocromática, com lente grande angular.

Demonstrou-se que a técnica de redução de níveis de cinza pode ser empregada no processamento e análise de imagens digitais monocromáticas do hemisfério celeste, para caracterizar qualitativamente a distribuição de intensidade.

Para representar alguns exemplos de céus parcialmente nublados, foram apresentados diversos mapas de distribuição de intensidade relativa, obtidos pela razão entre os valores de RGB de uma determinada região do hemisfério celeste e o valor de RGB do zênite. Os resultados permitem avaliar a importância de certas peculiaridades na configuração do céu parcialmente nublado, para estabelecer possíveis regularidades na caracterização da distribuição angular de intensidade da radiação difusa celeste.

Os resultados obtidos permitem avaliar a importância de certas peculiaridades na configuração do céu parcialmente nublado, para estabelecer regularidades na caracterização da distribuição angular de intensidade da radiação difusa celeste. As imagens analisadas mostram que, nos céus parcialmente nublados, esta distribuição varia com o tipo e com o tamanho das nuvens, ou das camadas de nuvens que cobrem parcialmente o céu. Além disso, observou-se uma dependência entre esta distribuição e a posição das nuvens no hemisfério celeste. Finalmente, em relação à posição solar, observou-se uma fraca dependência para algumas configurações, que têm o céu parcialmente nublado por nuvens do tipo cúmulos. Este tipo de configuração está representado pela Fig. 3 (b). Todos os demais casos analisados demonstram uma forte dependência com a posição solar.

6. REFERÊNCIAS

- Batlles, F.J., Olmo, F. J. e Alados, A. L., 1995. "On Analyses of Shadowband Correction Methods for Diffuse Irradiance Measurements", *Solar Energy*, Vol. 54, pp. 105-114.
- Brunger, A. P. e Hooper (a), F. C., 1993. "Anisotropic Sky Radiance Model Based On Narrow Field of View Measurements of Shortwave Radiance", *Solar Energy*, Vol 51, pp. 53-64.
- Brunger, A. P. and Hooper (c), F. C., 1993. "Erratum to Anisotropic Sky Radiance Model Based On Narrow Field of View Measurements of Shortwave Radiance" *Solar Energy*, Vol. 51, n° 6, p. 523.
- Chandrasekhar, S., 1960 "Radiative Transfer", Dover Publications, Inc. New York, 393 p.
- Coombes, C. A. e Harrison, A.W., 1982. "An Automatic All Sky Scanning Radiometer", *Canadian J. of Phys.*, Vol 60, pp. 919-925.
- Coombes, C. A. e Harrison, A.W., 1988. "Angular Distribution of Overcast Sky Short Wavelength Radiance", *Solar Energy*, Vol. 40, n° 2, pp. 161-166.
- Facon, J., 1993. "Processamento de Imagens", Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, VI Escola Brasileiro - Argentina de Informática, 1993.
- Harrison, A. W., 1991. "Directional Sky Luminance Versus Cloud Cover and Solar Position", *Solar Energy*, Vol. 46, n° 1, pp. 13-19.
- Harrison, A. W. e Coombes, C. A., 1988. "Angular Distribution of Clear Sky Short Wavelength Radiance", *Solar Energy*, Vol. 40, n° 1, pp. 57-63.
- Ineichen, P., Gremaud, J. M., Guisan, O. and Mermoud, A., 1984. "Study of the Corrective Factor Involved When Measuring the Diffuse Solar Radiation by Use of the Ring Method", *Solar Energy*, Vol. 32, n° 5, pp. 585-590.
- Iqbal, M., 1983. "An Introduction to Solar Radiation", Academic Press, Toronto, 390 p.
- Kittler, R. e Valko, P., 1993 "Radiance Distributions on Densely Overcast Skies: Comparisons With CIE Luminance Standard", *Solar Energy*, Vol. 51, n° 5, pp. 349-355.

- Kittler, R., 1994 “Some Qualities of Scattering Functions Defining Sky Radiance Distributions”, Solar Energy, Vol. 53, n° 6, pp. 511-516.
- Kondratyev K. YA., 1969. “Radiation in the Atmosphere”, A. Press, New York, 912 p.
- Kudish, A. I. e Ianetz, A., 1993. “Analyses of Diffuse Radiation Data for Beer Sheva: Measured (Shadow Ring) Versus Calculated (Global-Horizontal Beam) Values”, Solar Energy, Vol. 51, pp. 495-503.
- LeBaron, B. A., Peterson, W. A., e Dirmhirn, I., 1980, “Corrections for Diffuse Irradiance Measured with Shadowbands”, Solar Energy, Vol. 25, pp. 1-17.
- Marques Filho, O. e Vieira Neto, H., 1999. “Processamento Digital de Imagens”, Brasport Livros e Multimídia Ltda., Rio de Janeiro, 406 p.
- McArthr, J. B. e Hay, J. E., 1981. “An Assessment of the Techniques for Determining the Distribution of Diffuse Solar Radiance for the Sky Hemisphere”, Solar Energy, Technical Note, Vol. 25, pp. 573-574.
- McArthr, J. B. e Hay, J. E., 1981. “A Technique for Mapping the Distribution of Diffuse Solar Radiation over the Sky Hemisphere”, J. Appl. Meteorol., 20(4), pp. 421-429.
- Miñano, J. C. D., 1985, “Aspectos Relativos a la Sintesis de Concentradores Para Fuentes Solares Extensas”, Universidade Politécnica de Madrid – Tesis Doctoral, Madrid, 265 p.
- Ministério da Agricultura e Reforma Agrária - Secretaria Nacional de Irrigação – Departamento Nacional de Meteorologia. “Normais Climatológicas (1961 - 1990)”, Brasília, 1992, 84 p.
- Olmo, F. J.; Vida, J.; Foyo, I.; Castro-Diez, Y. e Alados-Arboledas, L., 1999. “Prediction of Global Irradiance on Inclined Surfaces from Horizontal Global Irradiance”, Energy, Vol. 24, pp. 689 – 704
- Painter, H. E., 1981. “The Shade Ring Correction for Diffuse Irradiance Measurements”, Solar Energy, Vol. 26, pp. 361-363.
- Parker, J. R., 1997. “Algorithms for Image Processing and Computer Vision”, Wiley Computer Publishing, 417 p.
- Reinhart, C. F. e Walkenhorst, O., 2001 “Validation of Dinamic RADIANCE-based Daylighting Simulations for a Test Office With External Blinds”, Energy and Buildings, Vol. 33, n° 7, pp. 683-697.
- Rosen, M. A., 1992. “Investigation of the Validity of the TDRM Model for the Distribution Diffuse Sky Radiance”, Solar Energy, Vol 48, n° 2, pp. 123 – 131.
- Rossini, E. G. e Krenzinger, A., 2000. “Metodologia para Caracterização da Radiação Solar Difusa”, Nutau 2000, pp. 823 – 829.
- Rossini, E. G., 2002. “Caracterização da Distribuição de Intensidade da Radiação Solar Difusa”, Tese (Doutorado) 2002, 175 p.
- Shields, J.; Karr, M. E., Tooman, T. P., Sowle, D. H., Moore, S. T., 1999 “The Whole Sky Imager – a year of progress. http://mpl.ucsd.edu/people/jshields/shields_98.pdf.
- Siala, F. M. F., Rosen M. A., Hooper, F. C., 1990. “Models For Directional Distribution of the Diffuse Sky Radiance”, ASME, Vol 112, pp. 102-108.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no trabalho.

MAPS OF DISTRIBUTION OF SKY DIFFUSE RADIATION INTENSITY UNDER PARTIALLY CLOUDY SKIES

Abstract. *The purpose of this work is to characterize the angular distribution of diffuse solar radiation intensity, through sky images acquired using a monochromatic CCD wide angle lens camera. The analysis emphasizes the characteristics present in the partially cloudy skies, once they are predominant. The proposed methodology is based on the reduction of the grayscale levels from*

the original image, in order to sharpen the different regions in the sky hemisphere, yielding low levels gray scale maps. In these maps each gray level is related to an intensity level and each pixel is associated to a sky direction. An experimental system that is able to simultaneously supply images from the sky and solar irradiance data was developed. The angular distribution of the relative solar radiation intensity for different cloudy sky conditions was also determined. The obtained results show that is fundamental to know the cloud (or cloud layer) type that are partially covering the sky as well as its position in the sky dome related to the solar position for the characterization of the angular distribution of the diffuse solar radiation intensity.

Keywords: *solar energy, solar radiation, diffuse solar radiation, angular distribution of sky diffuse radiation intensity, radiance*