

## ANÁLISE DAS COMPONENTES GLOBAL E DIFUSA DA RADIAÇÃO SOLAR EM NATAL-RN ENTRE 2007 E 2008

**Francisco Raimundo da Silva** – fraimundo@crn.inpe.br

Lab. de Variáveis Ambientais Tropicais – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro Regional do Nordeste

Rua Carlos Serrano, 2073, Natal RN – CEP: 59076-740

**Hugo Sérgio Medeiros de Oliveira** – hsmdorn@hotmail.com

**George Santos Marinho** – gmarinho@ct.ufrn.br

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica

Campus Universitário – Natal RN – CEP: 59072-970

### 1.1 – Radiação solar

**Resumo.** Foram realizadas medições dos níveis de radiação solar global e difusa em Natal – RN – Brasil, entre 01 de maio de 2007 e 25 de abril de 2008. O estudo é fruto da parceria entre a Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / Centro Regional do Nordeste – INPE-CRN, cujos esforços conjuntos resultaram na implantação da Estação Solarimétrica de Natal, em 20/04/2007. A partir dos dados obtidos, foram traçadas curvas da soma da intensidade de radiação diária ( $\text{kW/m}^2$ ) em relação ao período luminoso do dia (12 horas). Nas análises foram considerados os valores médios das intensidades. Constatou-se que a média diária da radiação solar global apresentou maior variação no período considerado do que a média diária da radiação difusa. Durante o estudo desenvolvido, foi possível avaliar as condições de operação do banco de dados da Estação, que tem acesso livre e gratuito via internet.

**Palavras-chave:** radiação solar global, radiação solar difusa, valores máximos, valores médios.

## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento dos níveis de radiação solar em solo é imprescindível aos projetos de aproveitamento de energia solar, desenvolvimento de estudos sobre agricultura, meteorologia, climatologia, química da atmosfera, estudos sobre a evolução da camada de ozônio, realização de balanço de energia, qualidade do ar e interação clima / oceano; práticas de eficiência energética e de conforto térmico na arquitetura e na construção civil (Pereira et al., 2006). Também dependem desses dados os estudos sobre efeitos da radiação em animais, plantas, microorganismos, humanos e materiais (Tevini, 1993).

A cidade de Natal, no Rio Grande do Norte, devido à sua situação geográfica ( $5^{\circ} 45' 54''$  Sul /  $35^{\circ} 12' 05''$  Oeste), possui elevados níveis de radiação solar durante todo o ano. Com o intuito de quantificar esses níveis e, desse modo, dar subsídios à implantação de políticas públicas que visam atrair a iniciativa privada para desenvolvimento de projetos de aproveitamento de fontes de renováveis energias e, principalmente, à implantação de políticas de saúde pública para prevenção de doenças, a Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Centro Regional do Nordeste – CRN, firmaram um convênio que mantém desde 20 de abril de 2007 um banco de dados sobre radiação solar em operação, alimentado com dados coletados pela Estação Solarimétrica de Natal, também essa fruto de parceria entre as duas instituições e apoios do INPE – São José dos Campos, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC e da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, por meio do Fundo Verde–Amarelo / Habitare (convênio n. 01.04.1086 – 02).

A principal característica do banco de dados mantido no Laboratório de Variáveis Ambientais Tropicais – LAVAT, do INPE-CRN, é o acesso livre e gratuito às informações sobre radiação solar global e difusa, índice de iluminação (norte – sul – leste – oeste e zenite) e difusa, PAR (photosynthetically active radiation – radiação fotosinteticamente ativa). A difusão dos dados via internet (endereço <http://www.crn2.inpe.br/lavat>) permitirá ampliar a magnitude dos resultados do projeto ora em desenvolvimento para muito além daqueles previstos pelas instituições envolvidas à época da firmação do convênio, como, por exemplo, o uso dos dados em pesquisas desenvolvidas por grupos de outras instituições, nacionais ou internacionais.

Atualmente, participam do projeto pesquisadores dos departamentos de Arquitetura e Urbanismo, Estatística, Física, Geografia e de Engenharia Mecânica da UFRN, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Piauí – UFPI, do INPE-SJC e do Laboratório de Energia Solar – LabSolar, da UFSC, além de alunos de Iniciação Científica (bolsistas e voluntários), Mestrado e Doutorado de programas de pós-graduação dessas instituições. No presente trabalho são apresentados os resultados dos estudos sobre o comportamento das componentes global e difusa da radiação solar em Natal-RN entre 01/05/2007 e 25/04/2008.

## 2. O ESTUDO DA RADIAÇÃO SOLAR

A intensidade da radiação solar recebida pela Terra é monitorada desde 1883 (Lamb, 1975). Com base nos dados já coletados, foi possível, por exemplo, avaliar os efeitos da dispersão de poeira na alta atmosfera em decorrência das grandes erupções vulcânicas de 1883, 1888, 1902, 1912, 1963 e, mais recentemente, em 1991, quando foi constatada uma redução de cerca de 1°C na temperatura média global devido à erupção do vulcão Pinatubo, nas Filipinas (Labitzke e McCormick, 1992).

Desde a superfície solar, onde o fluxo atinge cerca de  $5,98 \times 10^7 \text{ W/m}^2$ , até atingir a Terra, a intensidade da energia emitida pelo Sol varia de acordo com a lei do inverso do quadrado da distância. Estabeleceu-se um valor padrão para o fluxo de energia que atinge o planeta, denominado de constante solar (CS), que corresponde à taxa de energia solar por unidade de área no limite exterior da atmosfera terrestre, para uma distância média do Sol. É interessante observar que essa constante varia de um autor para outro, podendo ir desde  $1.322 \text{ W/m}^2$  até  $1.382 \text{ W/m}^2$  (Kirchhoff, 1991). A maioria dos autores, contudo, adota  $1.367 \text{ W/m}^2$  como sendo a constante solar com base em dados obtidos por satélites.

Da energia emitida pelo Sol, a Terra intercepta cerca de 0,002% (Graedel e Crutzen, 1997, apud Ribeiro et al., 2000). Apesar da aparente insignificância, essa quantidade de energia dá origem aos principais processos climáticos existentes no planeta. Na Tab.1 apresenta-se a distribuição da energia solar na Terra, em valores médios.

Tab. 1 – Distribuição da energia solar na Terra (Graedel e Crutzen, 1997, apud Ribeiro et al., 2000)

| FENÔMENO                                                              | %  |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Reflexão por nuvens e aerossóis                                       | 21 |
| Reflexão pela superfície                                              | 09 |
| Absorção ( $\text{O}_3$ da estratosfera e vapor d'água da troposfera) | 21 |
| Absorção pela superfície                                              | 49 |

O dióxido de carbono e o vapor d'água são os principais responsáveis pela manutenção da temperatura na superfície da Terra, já que ambos absorvem parte da radiação infravermelha emitida pelo planeta e, portanto, evitam que grandes quantidades de calor escapem para o espaço. Esse fenômeno caracteriza o efeito estufa.

De acordo com Graedel e Crutzen (1997), apud Ribeiro et al. (2000), cerca da metade dos 49% de radiação solar absorvida pela superfície retorna à atmosfera terrestre quando o calor latente de evaporação da água na superfície é liberado no processo de condensação (formação de chuva); do restante que foi absorvido pela superfície, aproximadamente 7% volta à atmosfera na forma de energia cinética dos ventos, energia térmica das correntes convectivas e energia radiante infravermelha. Segundo os mesmos autores, apenas 19% da energia absorvida pela superfície são devolvidos ao espaço na forma de radiação, ou seja, em termos absolutos, dos 49% da energia solar diretamente absorvida pela superfície, 9,31% retornam ao espaço na forma de radiação infravermelha e o restante é aproveitado pelos sistemas terrestres.

Cerca de 90% da radiação térmica emitida pela Terra são absorvidas pela atmosfera que, por sua vez, re-irradia aproximadamente 80% de volta à superfície, processo que mantém a superfície do planeta a uma temperatura média de 15°C, ou seja, bastante superior aos - 18°C que seriam atingidos caso gases do efeito estufa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_3$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ) não existissem na atmosfera. A emissão de particulados, por sua vez, seja de causas antropogênicas ou naturais, altera a composição da atmosfera e, conseqüentemente, interfere no equilíbrio entre a quantidade de radiação proveniente do Sol que é absorvida/re-emitada pela Terra.

A variação sazonal da radiação solar que chega a Terra é função, principalmente, das variações da distância ao Sol e do ângulo de inclinação entre os planos equatorial e orbital. A massa de ar que envolve a Terra, por sua vez, tem comportamento distinto para os diferentes comprimentos de onda da radiação eletromagnética que por ela passa, sendo praticamente transparente à radiação solar que penetra e, ao mesmo tempo opaca à radiação solar re-emitada pela superfície.

Variações nos comprimentos correspondentes na faixa do ultravioleta e frequências maiores têm efeitos diretos nas camadas mais externas da atmosfera terrestre (Kirchhoff, 1991). Subtraídos os efeitos das erupções vulcânicas, constatou-se que a radiação solar vem diminuindo progressivamente desde 1945, fato que, na Terra, tem como conseqüências alterações no clima e nos regimes dos ventos. O fenômeno pode ser atribuído à própria física do Sol, como já ocorreu em diversas ocasiões ao longo de sua história.

De acordo com Lamb (1975), acredita-se que as oscilações na intensidade da radiação solar que chega ao solo terrestre obedecem a um ciclo de 200 ou 400 anos.

Além da distância Terra-Sol e do ângulo de incidência, outra variável com influência direta na quantidade de energia solar recebida em um determinado ponto da superfície terrestre é a duração do dia. As causas do ritmo da variação do clima na Terra, contudo, ainda são temas para estudos, mas especula-se que podem estar associadas às mudanças no comportamento do Sol, passagens do sistema solar através de poeira cósmica, alterações da órbita da Terra ao redor do Sol ou modificação na inclinação do eixo do planeta. Sabe-se, por exemplo, que o ângulo de inclinação da Terra está diminuindo, causando uma redução da diferença entre os climas no verão e no inverno (Ribeiro et al., 2000). Assim, estudos locais sobre o comportamento da radiação solar, objeto do presente trabalho, podem servir de subsídio a estudos de abrangência global.

### 3. METODOLOGIA

Natal é uma cidade litorânea localizada na latitude 5° 45' 54" Sul e longitude 35° 12'05" Oeste. Seu clima é quente e úmido, com temperatura média em torno de 26°C e ventos moderados predominante de Sudeste. Pelo fato de ser uma cidade próxima à linha do equador, apresenta cerca de 2.184,80 horas anuais de insolação e nebulosidade média de 6.2, numa escala de 1 a 10 (Mascaró, 1991, apud Araújo, 1996). A intensidade da radiação solar local é alta, pois a trajetória do Sol varia de 65° a 90°, grande parte difusa e com grande luminosidade (Araújo, 1996).

A Estação Solarimétrica do Laboratório de Variáveis Ambientais Tropicais – LAVAT (antigo LabOz – Laboratório de Ozônio), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / Centro Regional do Nordeste, está situada a 58 m acima do nível do mar, 5.8367° S e 35.2065° W, montada no topo de uma caixa d'água, ver Fig.1. Entre outros equipamentos, possui dois piranômetros, respectivamente para medições das radiações global e difusa, em  $W/m^2$  (ver Fig.1), dotados de unidades de ventilação e anel de sombreamento (sensor de radiação difusa). Na Tab.2 estão especificadas as principais características dos equipamentos da Estação de interesse do presente trabalho.

Tab.2 – Constituintes da Estação Solarimétrica de Natal-RN.

| DESCRIÇÃO              | FABRICANTE | Nº DE SÉRIE |
|------------------------|------------|-------------|
| Datalogger             | Campbell   | SN X33699   |
| Wiring Painei          | Campbell   | SN 23612    |
| Power Supply           | Campbell   | SN 1663     |
| Shadow Ring            | Kipp&Zonen | SN 20187    |
| Piranômetro            | Kipp&Zonen | SN 27986    |
| Ventilation Unit       | Kipp&Zonen | SN 20305    |
| Multiplexer            | Campbell   | SN 8347     |
| Piranômetro            | Kipp&Zonen | SN 58912    |
| Ventilation Unit       | Kipp&Zonen | SN 50701    |
| Network Link Interface | Campbell   | SN 2872     |



(a)



(b)



(c)

Fig. 1 – Estação Solarimétrica de Natal (a) e instrumentação: (b) piranômetro de radiação difusa; (c) piranômetro de radiação global.

Na Fig.2 podem ser vistos o sistema de multiplexação de sinais, o sistema de alimentação do banco de dados e a página de acesso aos dados via internet.



(a)



(b)

| + Screen+ CR10X (CR10X)    |          |           |          |         |
|----------------------------|----------|-----------|----------|---------|
| NI CR10X Numeric Display 1 |          |           |          |         |
| Global                     | 18.22    | Minute    | 1,201.00 | Min10   |
| Diffuse                    | 16.17    | Par       | 51.83    | Version |
| Wdir_10m                   | 141.24   | Lux       | 2.38     |         |
| Wspd_10m                   | 2.06     | f_north   | 1.93     |         |
| Temp_sfc                   | 27.56    | f_south   | 1.19     |         |
| Humid                      | 77.89    | f_east    | 1.15     |         |
| Press                      | 1,030.74 | f_west    | 3.19     |         |
| Battery                    | 12.47    | f_global  | 2.55     |         |
| LogerTemp                  | 29.51    | f_diffuse | 2.31     |         |
| Prec                       | 0.00     | GloVen    | 236.81   |         |
|                            |          | DifVen    | 325.18   |         |
|                            |          | THVen     | 352.34   |         |
|                            |          | Year      | 2,007.00 |         |
|                            |          | Day       | 110.00   |         |
|                            |          | Min       | 1,200.00 |         |

(c)

Fig. 2 – Detalhes dos recursos da Estação Solarimétrica de Natal:

- (a) sistema de multiplexação de sinais
- (b) equipamentos do banco de dados do LAVAT – INPE-CRN
- (c) apresentação dos dados.

Após a coleta dos dados armazenados no banco da Estação, via internet (<http://www.crn2.inpe.br/lavat> → [Projetos/Produtos] → [Dados Disponíveis] → [Estação Climatológica]), foram construídos gráficos para o período de 01 de maio de 2007 a 25 de abril de 2008. Foram considerados valores diários multiplicados pelo número de horas de irradiação solar, i.e., 12 horas. Assim, as medidas são apresentadas em  $\text{kW.h/m}^2$ .

Os gráficos foram divididos em três categorias: intensidade solar global diária (Fig.3), intensidade solar difusa diária (Fig.4) e comparação (Fig.5). Para facilitar as análises, utilizou-se um polinômio de grau 3 para traçar uma curva de tendência de comportamento das radiações nos casos considerados.

#### 4. RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados são apresentados nas figuras 3, 4 e 5.

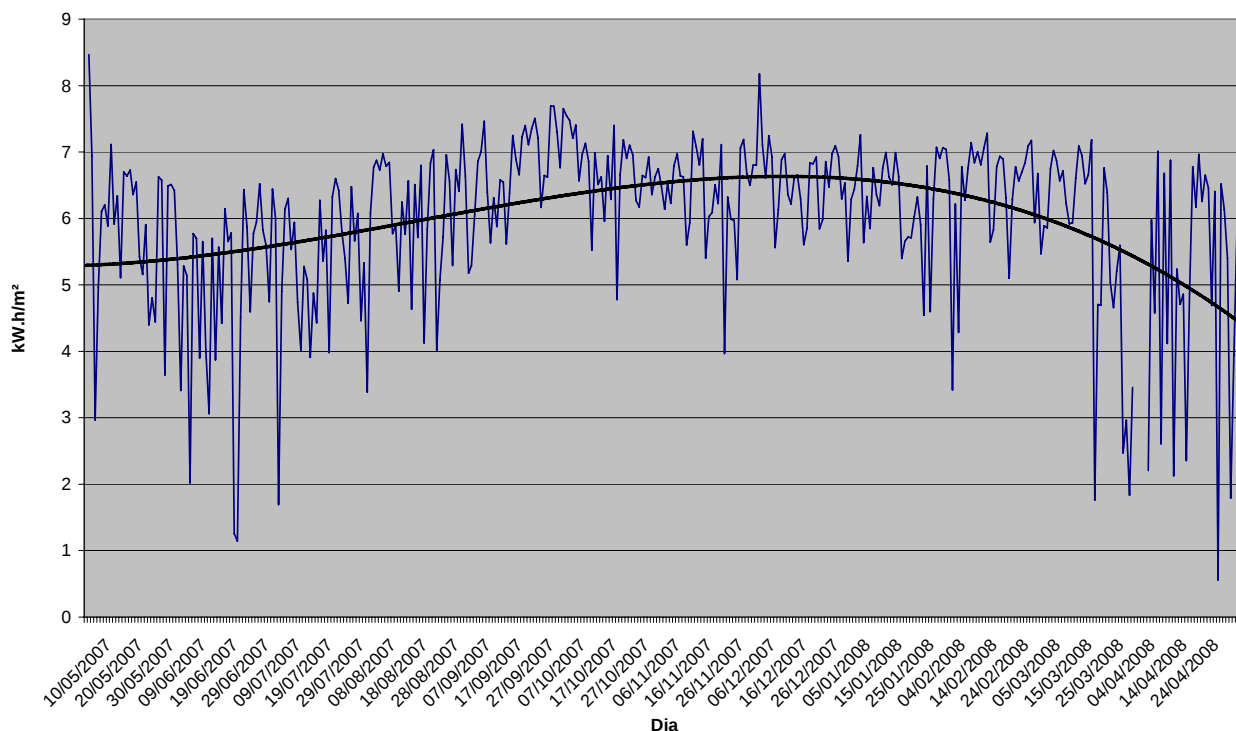


Fig.3 – Irradiação solar em Natal-RN entre 01/05/2007 e 25/04/2008.

Conforme observado na figura 3, os valores mais baixos da irradiação diária em 2007 foram registrados entre os meses de maio e julho, sendo o menor relativo ao mês de junho ( $1,14 \text{ kW.h/m}^2$ ). O maior valor obtido em 2007 foi de  $8,17 \text{ kW.h/m}^2$ , no mês de dezembro. A partir de março de 2008 a irradiação voltou a diminuir, atingindo valores inferiores aos de 2007, fato que talvez possa ser associado à maior nebulosidade no período. Conforme divulgado na mídia, no primeiro trimestre de 2008 o Rio Grande do Norte atravessou um período atípico, com chuvas intensas que causaram graves prejuízos à economia do estado. O valor mais baixo registrado em 2007 (cerca de  $1,14 \text{ kW.h/m}^2$ ) foi mais que o dobro do menor valor registrado em 2008 ( $0,55 \text{ kW.h/m}^2$ ), que correspondeu ao dia 22/04/2008, quando choveu cerca de 115,3 mm (ou 115,3 litros/ $\text{m}^2$ ). Até a data atual, o maior valor registrado em 2008 foi de  $7,28 \text{ kW.h/m}^2$ , em fevereiro. Na figura 4 vêem-se as médias diárias da radiação solar difusa.

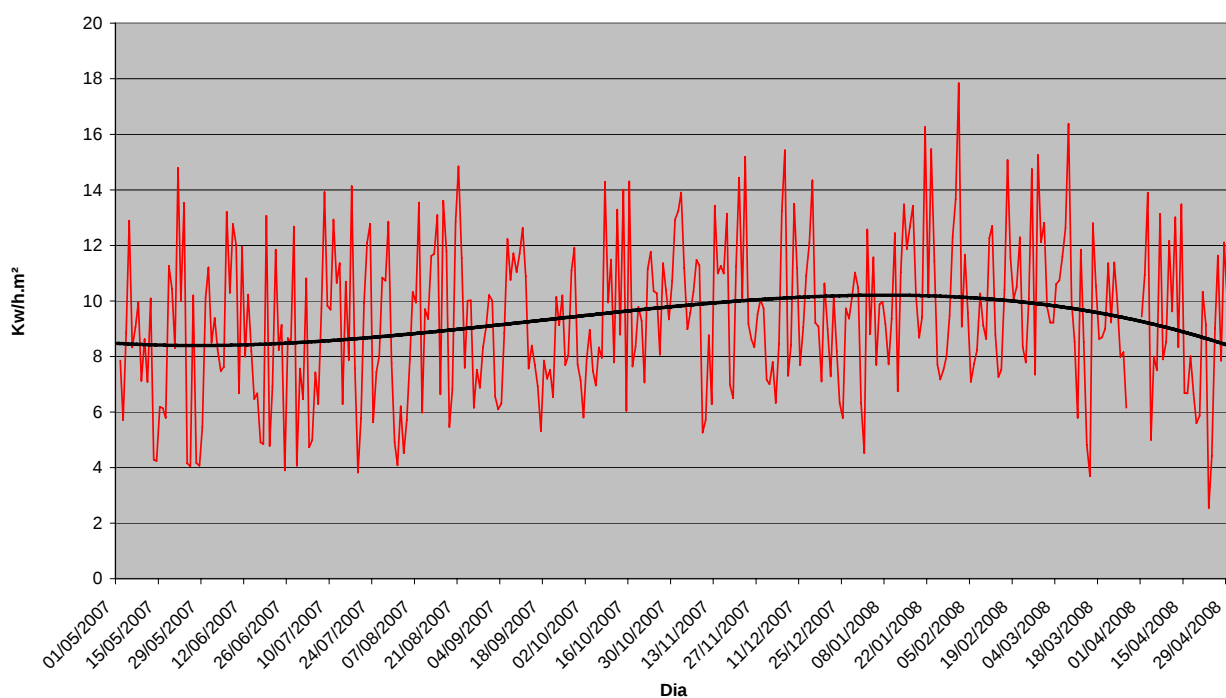


Fig.4 – Soma da radiação difusa diária em Natal-RN entre 01/05/2007 e 25/04/2008.

Analisando-se a figura 4 percebe-se que a curva de tendência apresentou um comportamento muito mais uniforme em comparação com a obtida no caso da média da radiação global, ficando entre 8 e 10 kW/h.m<sup>2</sup> durante todo o período considerado. Em 2007, registraram-se os seguintes valores: mínimo de 3,82 kW/h.m<sup>2</sup>, relativos ao mês de julho/2007, e máximo de 15,43 kW/h.m<sup>2</sup>, em dezembro/2007. Em 2008, até a presente data, o menor valor da radiação difusa foi de 2,55 kW/h.m<sup>2</sup>, em abril, enquanto o valor máximo chegou próximo de 18 kW/h.m<sup>2</sup>, em fevereiro. Na figura 5 compararam-se os resultados anteriores, obtidos para radiações global e difusa.

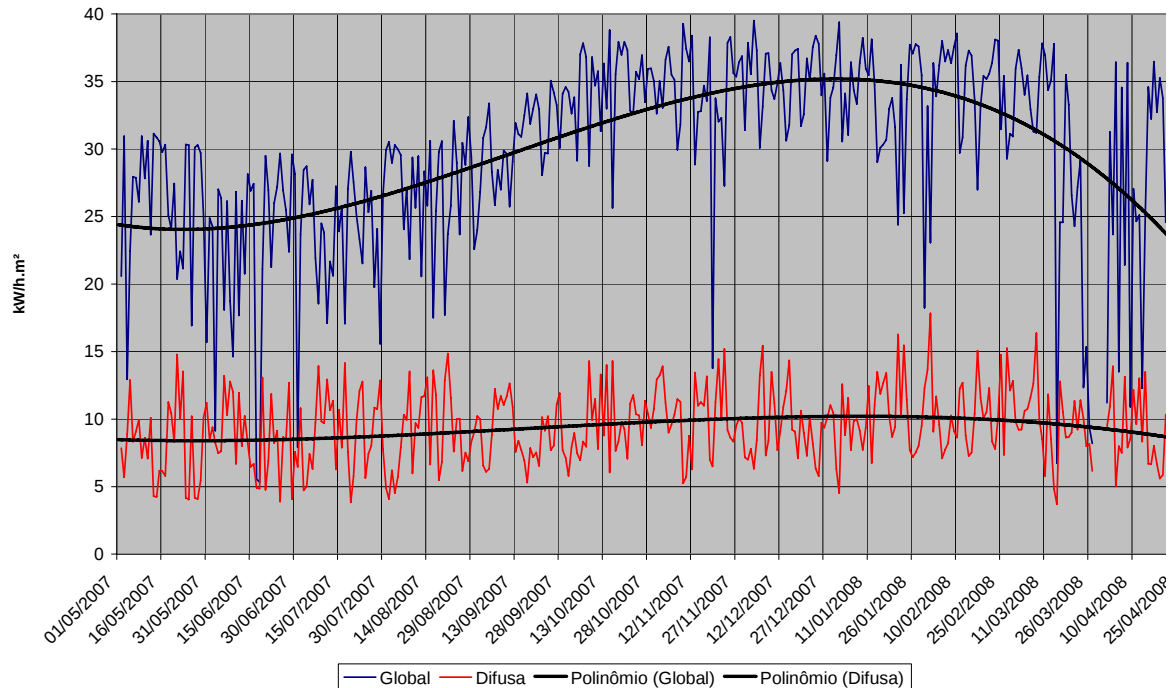


Fig.5 – Comparação entre as somas diárias das radiações global e difusa em Natal-RN entre 01/05/2007 e 25/04/2008.

Considerando-se as curvas de tendência obtidas em cada caso, determinou-se uma diferença mínima de cerca de 16 kW/h.m<sup>2</sup>, relativa a junho/2007, e um diferença máxima de aproximadamente 26 kW/h.m<sup>2</sup>.

## 5. CONCLUSÕES

Apesar da relevância do assunto, os resultados obtidos constituem apenas a etapa inicial das atividades da Estação Solarimétrica. Além do registro dos níveis de radiação em Natal no período 01/05/2007 a 25/04/2008, foi possível avaliar as condições de operação do banco de dados da Estação por meio da internet, sendo constatado sua validade, fato que abre todo um leque de oportunidades para outros trabalhos, como os que já estão em desenvolvimento no LabCon – Laboratório de Conforto Ambiental, do Departamento de Arquitetura e Urbanismo (DAU), e no LTC – Laboratório de Transferência de Calor, do Departamento de Engenharia Mecânica (DEM), ambos da UFRN. Nesse primeiro ano de funcionamento, foi possível utilizar dados de radiação em tempo real em aulas de Conforto Térmico (DAU) e de Transferência de Calor (DEM), com resultados que superaram as experiências anteriores, quando eram utilizados bancos de dados de outras regiões.

### Autorizações e reconhecimentos

Os autores autorizam a publicação deste trabalho pela ABENS, bem como a livre difusão por quaisquer meios e assumem toda responsabilidade sobre o conteúdo do mesmo.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à FINEP, pelo financiamento da pesquisa, ao Eng. Manoel Jozeane Mafra de Carvalho, chefe do INPE-CRN, Dr. Enio Bueno Pereira (INPE-SJC), Dr. Silvio Mantelli (UFSC), Dr. Paulo Nobre (INPE-SJC), Dr. João Braga (INPE-SJC), Dr. Karel Vanicek / CHMI (Czech Hydrometeorological Institute Solar and Ozone Observatory), Prof. Roberto Lamberts (UFSC), Arq. Leonardo Jorge Brasil de Freitas Cunha, Eng. Luciano André Cruz

Bezerra, Técnicos Jorge Nogueira e Jorge Melo (INPE-SJC), Eng. João Gualberto de Cerqueira Jr. (INPE-CRN), Técnicos Tércio Luiz Penha e Edmilson Lopes da Silva (INPE-CRN), ao bolsista Nicholas de Bastos Melo e ao CNPq.

## 6. REFERÊNCIAS

- Araújo, V. M. D., 1996. Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro. (tese de doutorado em arquitetura e urbanismo. FAUSP. São Paulo.
- Kirchhoff, V. W. J. H. Introdução à Geofísica Espacial. São Paulo, EDUSP, 1991. 149p.
- Labitzke, K. and McCormick, M. P., 1992. Stratospheric Temperature Increase due to Pinatubo Aerosols. Geophysical Research Letters, v.19, N°2, p.207–210, em: <http://www.agu.org/pubs/crossref/1992/91GL02940.shtml>. Acessado em: 27 de Fevereiro de 2007.
- Lamb, H. H. Há 30 anos a terra se esfria. Os segredos do tempo. Rio de Janeiro, Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1975, pp. 37 – 47.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L. e Rüther, R., 2006. Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos, INPE, 60 p.
- Ribeiro, S. K.; Costa, C. V.; David, E. G.; Real, M. V.; D’Agosto, M. A. Transporte e mudanças climáticas. Rio de Janeiro, Mauá, 2000.
- Tevini, M., 1993. UV-B radiation and ozone depletion: effects on humans, animals, plants, microorganisms and materials. Boca Raton, Lewis Publishers, 248 p.

## ANALYSIS OF THE GLOBAL AND DIFFUSE COMPONENTS OF THE SOLAR RADIATION IN NATAL-RN-BRAZIL FROM 2007 TO 2008

**Abstract.** Measurements were made of the summation of diary global and diffuse solar radiation levels in Natal – RN – Brazil, during the period May, 1<sup>st</sup>2007 to April 25<sup>th</sup>2008. The research is a result of a partnership established between the Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, and the Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / Centro Regional do Nordeste – INPE-CRN, whose efforts materialized the implantation of the Natal Solarimetric Station, in April, 20<sup>th</sup> 2007. Based on the obtained data, there were made graphics of the diary summation of radiation intensity ( $\text{kW/h.m}^2$ ) as a function of the illuminated period (12 h). It was observed that the global solar radiation levels presented a higher variation in the period (may/2007 – april/2008) than the values of the diffuse solar radiation levels. During the research, it was possible to evaluate the conditions of operation of the data-logger of the Station that has open and free access through the internet.

**Key words:** Solar radiation; Global; Diffuse.