

## X-002 – COEFICIENTES DE FOURIER APLICADA A RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL EM ÁREAS DE ALTA E BAIXA DENSIDADE CONSTRUTIVA

**Maricéia Tatiana Vilani<sup>(1)</sup>**

Graduada em Matemática pela Faculdade Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI/RS). Especialização em Matemática e Física (URI/RS), Mestrado em Física Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT/MT). Doutora em Física Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT/MT). Atualmente é Professora na Universidade de Várzea Grande (UNIVAG/MT) e no Programa de Mestrado em Ciências Ambientais na Universidade de Cuiabá (UNIC/MT).

**Luciana Sanches<sup>(2)</sup>**

Graduação em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT/MT), Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Doutorado em Engenharia Ambiental - Universidad de Cantabria, Espanha, revalidado pela UFSC, Pós-doutorado em Física Ambiental, Pós-doutorado em Ciências Ambientais pela University of Reading, Reino Unido. Atualmente é professora adjunta da Universidade Federal de Mato Grosso.

**Gustavo Manzon Nunes<sup>(3)</sup>**

Graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/RS), mestrado em Geomática pela Universidade Federal de Santa Maria e doutorado em Geociências na Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Atualmente é professor adjunto da Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Mato Grosso.

**Oswaldo Borges Pinto Junior<sup>(4)</sup>**

Graduação em Licenciatura Plena em Biologia, especialização em Ecologia do Cerrado, mestrado em Física e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT/MT), doutorado em Agricultura Tropical e pós-doutorado na Universidade Federal de Mato Grosso. É Professor da Universidade de Cuiabá (UNIC), do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UNIC e do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da UFMT.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Alphaville II, Rua Alameda Rondonópolis, nº. 367 – Jardim Itália - Cuiabá – MT - CEP: 78061456 - Brasil - Tel: (65) 9998 -2175, e-mail: [mtvilani@gmail.com](mailto:mtvilani@gmail.com)

### RESUMO

A análise de Fourier pode ser utilizada para caracterizar o ciclo diário de brisas e outros fenômenos de menores escalas de frequência, entretanto apresenta dificuldades, pois tais sinais são característicos de fenômenos (não-estacionários) tipicamente caóticos. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo analisar a radiação solar, por meio dos Coeficientes de Fourier em dois pontos de Alta e Baixa densidade construtiva, localizadas no município de Cuiabá/MT. Os resultados mostraram frequências com amplitudes dominantes tanto em  $An$  e  $Bn$  de 1 dia e 12h, que podem ser atribuídos à variações diárias da radiação solar, devido ao movimento de rotação da terra.

**PALAVRAS-CHAVE:** Séries Temporais, Periodicidade, Ambiente Urbano.

### INTRODUÇÃO

Entre os estudos realizados sobre as alterações nos padrões do clima global, destaca-se a sua detecção baseado em métodos de estatística de indícios de mudanças climáticas em longas séries temporais (ST), facilitando o melhor conhecimento da dinâmica temporal das séries meteorológicas utilizadas.

A transformada de Fourier é uma ferramenta útil que possibilita determinar a contribuição que cada função seno e cosseno, presentes numa ST, apresentam para a energia total desta série (periódica).

A análise de Fourier transforma uma série temporal estocástica em uma soma de frequências de senos e cossenos. Esta análise é capaz de quantificar as variáveis associadas a uma determinada frequência ou período.

O método tem sido utilizado inúmeras vezes para examinar espectros característicos da turbulência atmosférica e registros do clima (PINHEIRO, 2007).

A análise feita por meio da Série de Fourier é um instrumento de investigação capaz de fornecer importantes informações sobre as dinâmicas de variáveis micrometeorológicas.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar a radiação solar, por meio dos coeficientes de Fourier em dois pontos localizados no município de Cuiabá.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo e Instrumentação

O estudo se desenvolveu com dados climáticos de instrumentos meteorológicos instalados em um ponto da cidade de Cuiabá e um na cidade de Chapada dos Guimarães. A Figura 1 descreve a localização e os pontos de estudo.



**Figura 1: Localização das estações climáticas em imagem LANDSAT 7 ETM+ (GeoCover 2000) no centro e cada estação em imagens “QuickBird” nas extremidades, sendo Centro (ponto 1) e Chapada (ponto 2).**

**Fonte: Gomes (2010).**

Os dados de radiação solar foram obtidos por instrumentos automáticos do modelo WM 918 com Datalogger e console Vantage Pro2 do Fabricante Davis Instruments, programadas para armazenamento de dados a cada 30 minutos, em um pontos da cidade de Cuiabá e um em Chapada dos Guimarães entre janeiro e dezembro de 2007.

### Coefficientes de Fourier

Para a análise dos picos dominantes da série temporal foi utilizada a Série de Fourier (equação 1):

$$f(x) = \frac{A_0}{2} + A_1 \cos x + A_2 \cos 2x + A_3 \cos 3x + \dots + B_1 \sin x + B_2 \sin 2x + B_3 \sin 3x + \dots \text{ equação (1)}$$

Ou compactamente,

$$f(x) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \cos(nx) + B_n \sin(nx)] \text{ equação (2)}$$

em que,  $A_n$  e  $B_n$  são os coeficientes de Fourier relacionados com as propriedades periódicas da função  $f(x)$ .

Sendo,  $A_n$  e  $B_n$  os coeficientes representados pelas equações:

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \cos(nt) dt \quad \text{equação (3)}$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \sin(nt) dt \quad \text{equação (4)}$$

Para a validade da equação 2, a condição imposta foi que a função  $f(x)$  seja contínua, embora seja possível obter representações satisfatórias no caso de funções descontínuas, onde não precisam ter todos os dados da pesquisa para obter um resultado real (BARBOZA, 2006).

No caso de função periódica, com o intervalo  $[-\pi, \pi]$ ,  $\sin x$  é ímpar e  $\cos x$  é uma função par de  $x$ . Se  $f(x)$  é constante,  $A_n$  será 0, se  $f(x)$  for ímpar, todo  $B_n = 0$ .

Estas propriedades possuem intervalo de validade da função que varia de 0 a  $2\pi$ .

Para este trabalho a variável  $x$  seria o tempo, logo a função  $f(x)$  vale num intervalo correspondente ao número de dados dispostos ao longo do tempo. Segundo a teoria das séries de Fourier, se o intervalo de validade da função for de 0 a  $2L$ , onde  $2L$  corresponderia ao número de dados disponível, pode-se escrever:

$$f(x) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ A_n \cos \frac{n\pi x}{L} + B_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right] \quad \text{equação (5)}$$

Para dados experimentais, que são discretos, ou seja, um dado em cada tempo, os coeficientes  $A_n$  e  $B_n$  podem ser calculados por:

$$A_n = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^{2L} f_j \cos \frac{n\pi j}{L} \quad \text{equação (6)}$$

$$B_n = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^{2L} f_j \sin \frac{n\pi j}{L} \quad \text{equação (7)}$$

Em que,  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$   $f_j$  são os dados experimentais e  $L$  é a metade da largura do intervalo de dados. Os cálculos neste trabalho utilizaram as equações 6 e 7.

Os períodos foram calculados pela equação 8:

$$P = \frac{\Delta t}{n} \quad \text{equação (8)}$$

Sendo P o período (em dias);  $\Delta t$  a quantidade de dias correspondente a cada série temporal analisada (com  $\Delta t$  aproximadamente 30, para séries de um mês) e n é a ordem do coeficiente correspondente ao pico (PINHEIRO, 2011).

### Erro de Monte Carlo

Para avaliar o erro das estimativas estimou-se o desvio padrão das amostras, que é uma medida da dispersão dos valores estimados em relação à média, equação 9:

$$DP = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left\{ \sum_{j=1}^N [\pi_{Tj}]^2 - \frac{1}{N} \left[ \sum_{j=1}^N \pi_{Tj} \right]^2 \right\}} \quad \text{equação (9)}$$

em que N o número total de amostras e  $\pi$  as amostras, o erro padrão (SE), é uma medida do erro cometido pelas estimativas em relação à média da amostra, dado pela equação 10:

$$SE = \frac{DP}{\sqrt{N}} \quad \text{equação (10)}$$

As estimativas feitas com simulação Monte Carlo não possuem um padrão bem definido de convergência para o valor verdadeiro. Com isto o erro das estimativas diminui com a raiz quadrada do número de amostras N, logo o ideal é ter uma amostra grande, para atingir uma precisão aceitável.

Segundo Lira (2008), quanto menor o erro padrão, maior será a precisão das estimativas obtidas.

## RESULTADOS

Os resultados observados a seguir se referem a uma análise mensal dos picos dos coeficientes An e Bn, dos dois pontos de estudo (Centro e Chapada), para a variável radiação solar.

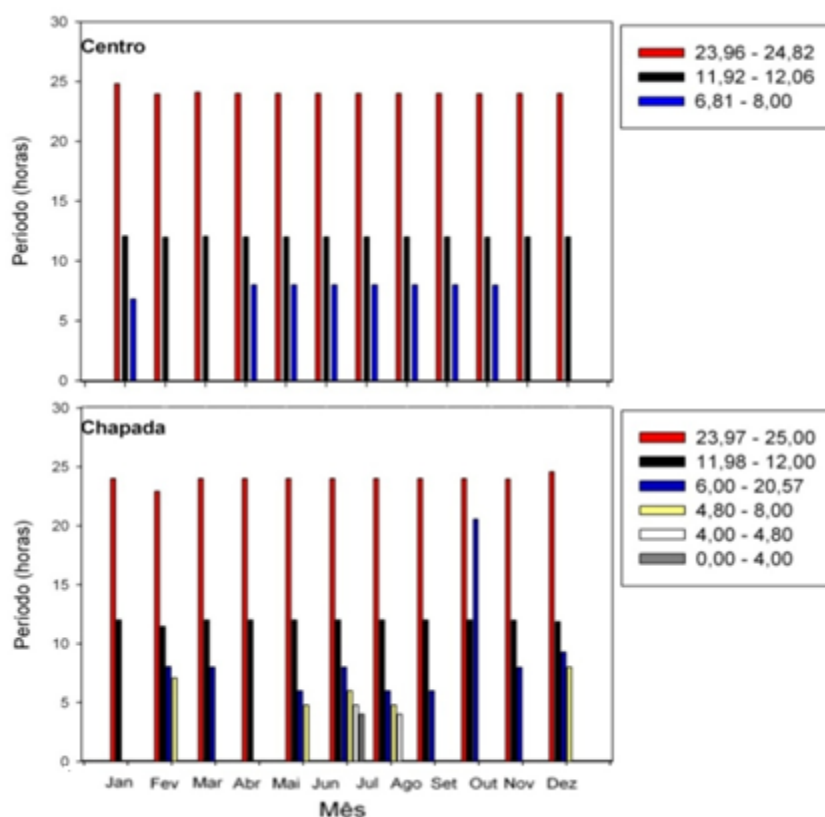
No Centro para o coeficiente An (Figura 1) o maior período foi 1,03, correspondente ao valor (24,72h) em janeiro, em que nos demais meses este período foi 1,00 (24h).

Quanto ao menor período foi 0,28 (7h) também em janeiro, com variação igual 0,50 (12h) e 0,33 (8h) para os demais meses.

Sendo a maior amplitude 367,03 em dezembro e menor 41,56 em janeiro, com menor erro 0,003 em setembro.

Na Chapada o maior período foi 1,02 (24,48h) em novembro, e demais meses o período foi 1,00 (24h), com menor período 0,17 (4h) em junho.

A maior amplitude foi 325,01 em março e menor 24,17 em julho, com menor erro 0,02 em setembro.

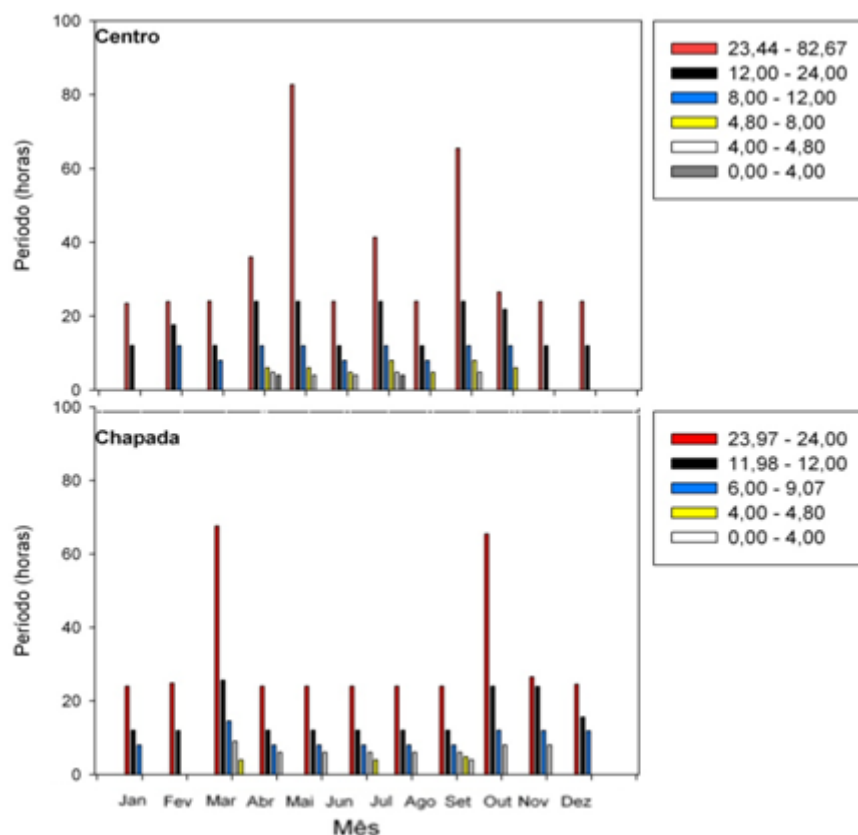


**Figura 1: Períodos dominantes (valor mínimo e máximo) da radiação solar do coeficiente An, no Centro e Chapada.**

Na Figura 2 são apresentados para o coeficiente Bn os períodos dominantes, onde para o Centro o maior valor do período foi 3,44 (83h) em maio e menor valor no período 0,17 (4h) em maio e junho.

A maior amplitude foi 249,40 em março e menor valor 2,04 em julho, com menor erro 0,09 em junho.

Na Chapada o maior período foi 2,82, em março e menor valor 0,17 (4h) em março, junho e agosto, maior amplitude de 272,95 em fevereiro e menor valor 2,14 em julho, com menor erro de 0,04 em setembro.



**Figura 2: Períodos dominantes (valor mínimo e máximo) da radiação solar do coeficiente Bn, no Centro e Chapada.**

De acordo com Pinheiro (2007), o erro tem influência na análise de picos, pois quanto menor o erro, mais influência tem o pico e mais significativo é a amplitude.

Para este autor em seu estudo realizado em floresta de transição, obteve quatro frequências dominantes para as variáveis estudadas numa escala de tempo de um dia: 24h, 12h, 4h e 3,4h, onde as frequências dominantes encontradas para o fluxo de calor sensível, fluxo de calor latente e temperatura correspondente ao período de 1 dia e 12h podem ser atribuídos à variações diárias da radiação solar, devido ao movimento de rotação da terra.

Já os valores correspondentes a 4h e 3,4h podem ser explicados em função da dinâmica dos estômatos.

De acordo com este autor a dinâmica estomatal se coloca como o segundo fator mais importante para a compreensão do comportamento das variáveis micrometeorológicas durante o dia, existem outros fatores igualmente importantes como os ciclos anuais e o efeito El Niño que podem interferir nas frequências.

Quanto à sazonalidade, o autor não observou uma dependência dos valores dos coeficientes com os meses do ano, onde no período da seca os valores foram menores do que nos outros períodos, indicando uma menor amplitude de variação dos valores das variáveis microclimáticas desse período.

## CONCLUSÕES

Através da análise de Fourier, pode-se concluir que este instrumento estatístico é capaz de fornecer informações importantes sobre a dinâmica das variáveis microclimáticas.



Foram encontradas frequências dominantes para a variável estudada numa escala de tempo: 144h, 124h, 24h, 12h, 6h, 4h.

As frequências com amplitudes dominantes tanto em An e Bn foi de 1 dia e 12h, que podem ser atribuídos à variações diária da radiação solar, devido ao movimento de rotação da terra.

Já os valores correspondentes à 8h, 6h e 4h provavelmente necessitem de serem descritos em função de outros fenômenos.

## **AGRADECIMENTOS**

A CAPES pela bolsa de doutorado de Maricéia T. Vilani, ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental – PGFA e a FAPEMAT pelo auxílio financeiro do projeto de pesquisa, coordenador Prof. Eduardo Cairo Chiletto.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. BARBOZA, E. B. M. Estudo da Variabilidade de Séries Temporais Ambientais através de Espectros de Assimetria Implementados em Software Científico Livre. 2006. 110f. Dissertação- Programa de Pós Graduação em Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE-14670-TDI/1223, 2006
2. GOMES, F. J. D. Relação entre Variáveis Meteorológicas e Cobertura do céu na região central de Cuiabá e entorno. 2010. 64p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Universidade de Mato Grosso, Cuiabá, 2010.
3. LIRA, S.A. Efeitos do erro amostral nas estimativas dos parâmetros do modelo fatorial ortogonal. 2008. 195f. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
4. PINHEIRO, M.R.; PAULO, S.R. Utilização da análise de FOURIER no estudo de variáveis micrometeorológicas de uma floresta de transição do norte de Mato Grosso. Acta Amazonica, v.41, n.1, p.39-46, 2011.
5. PINHEIRO, M. R. Frequências Dominantes de Variáveis Micrometeorológicas de uma Floresta de Transição do Norte de Mato Grosso. Cuiabá, 2007. 74p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Universidade de Mato Grosso, 2007.