

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL
LINHA DE PESQUISA:INTERAÇÃO BIOSFERA-ATMOSFERA**

**FREQÜÊNCIAS DOMINANTES DE VARIÁVEIS
MICROMETEOROLÓGICAS DE UMA FLORESTA DE
TRANSIÇÃO DO NORTE DE MATO GROSSO**

MARIELE REGINA PINHEIRO

**Prof. Dr. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO
Orientador**

**Cuiabá-MT,
Novembro -2007
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**

**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL
LINHA DE PESQUISA:INTERAÇÃO BIOSFERA-ATMOSFERA**

**FREQÜÊNCIAS DOMINANTES DE VARIÁVEIS
MICROMETEOROLÓGICAS DE UMA FLORESTA DE
TRANSIÇÃO DO NORTE DE MATO GROSSO**

MARIELE REGINA PINHEIRO

*Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Física Ambiental da
Universidade Federal de Mato Grosso
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Física Ambiental.*

**Prof. Dr. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO
Orientador**

**Cuiabá-MT
Novembro - 2007**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL
LINHA DE PESQUISA:INTERAÇÃO BIOSFERA-ATMOSFERA**

FOLHA DE APROVAÇÃO

**FREQÜÊNCIAS DOMINANTES DE VARIÁVEIS
MICROMETEOROLÓGICAS DE UMA FLORESTA DE TRANSIÇÃO DO
NORTE DE MATO GROSSO**

MARIELE REGINA PINHEIRO

Dissertação defendida e aprovada em 27 de fevereiro de 2008, pela comissão julgadora:

**Prof. Dr. Sérgio Roberto de Paulo – UFMT
Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT
Orientador**

**Profa. Dra. Marta Cristina J. A. Nogueira
Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT
Examinadora Interna**

**Prof. Dr. Clóvis Lasta Fritzen
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS
Examinador Externo**

DEDICATÓRIA

Ao meu esposo Marco pelo amor e compreensão.

À minha mãe Adelaide de Fátima Simensato, a quem sou muito grata, pelos exemplos, ensinamentos e por sempre estar presente incentivando a minha formação e minhas decisões.

Aos meus queridos, Vitor, Aline, Matheus, Leonardo, Felipe, Éttore e Murilo, como incentivo ao futuro destas pessoas tão importantes na minha vida.

Aos meus amados tios: Neide, Ivete, Izete e Jusço, que assim como minha mãe, sempre acreditaram em minha capacidade.

AGRADECIMENTOS

- Senhor Deus dando força nos momentos mais difíceis e protegendo toda nossa família.
- Ao meu esposo, que mesmo sem tempo, sempre me ajuda e apóia em todas as minhas decisões.
- Em especial à minha mãe, pelo apoio, compreensão e amor incondicional.
- Aos meus queridos tios (Jusço, Abel, Furlan e Paulo) e tias (Neide, Ivete, Izete e Liney) por estarem sempre ao meu lado.
- À minha segunda família, D. Dita, Daniela, Leandro, Karina, Carlos César e Joseli por ter me acolhido tão bem.
- Ao meu orientador professor Dr.Sérgio Roberto de Paulo, por ter acreditado em mim, pelas suas orientações e apoio nesta dissertação.
- Agradeço também ao Coordenador do Programa de Mestrado Prof. Dr. José de Souza Nogueira (Paraná).
- A todos os colegas do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental.
- Aos professores do mestrado Dr. Campelo, Dr. Francisco Lobo (Chico), Dr. George Vourlitis, Dra. Luciana Sanches, Dra. Marta J. A. Nogueira e Dr. Mariano Martinez pela atenção, disponibilidade e todo conhecimento passado a nós.
- À secretária do curso e amiga de todos, Soilce, pela grande ajuda nas horas necessárias.
- À CAPES – pela bolsa de estudos tão providencial.
- Aos professores de graduação Dr. Paulo Batista, M.Sc. Rogério, Dr. Plinio Delatorre pela paciência, pela atenção em todo o curso.
- Às amigas: Dariza, Olga e Claudia pela paciência nos momentos de nervosismo.
- A todos que de alguma forma me ajudaram, agradeço de todo coração.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIACÕES.....	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT.....	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A AÇÃO ANTRÓPICA.....	3
2.1.1 Floresta Amazônica.....	5
2.1.2 Floresta de transição.....	6
2.2 APLICAÇÕES DE ANÁLISES DE FOURIER.....	7
2.3 FENÔMENOS NATURAIS: OBEDECEM A VARIABILIDADES TRADUZIDAS EM FREQUÊNCIAS.....	8
2.4 RESULTADOS DA LITERATURA: BALDOCCHI, 2001	9
3 MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	18
3.1.1 Vegetação e Clima	19
3.1.2 Instrumentos Micrometeorológicos	19
3.2 MÉTODOS	21
3.2.1 Séries de Fourier	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 EXPLICAÇÃO TEÓRICA DE CADA COEFICIENTE.....	40
4.2 EFEITO DA SAZONALIDADE SOBRE OS VALORES DOS COEFICIENTES	48
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	54
6 BIBLIOGRAFIAS	59
6.1 BIBLIOGRAFIAS CITADAS	59
6.2 BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS	61

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Atrator de Lorenz	9
FIGURA 2: Espectro do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa, no período de um ano (1998)	11
FIGURA 3: Espectro da temperatura, no período de um ano (1998)	11
FIGURA 4: Espectro da velocidade do vento, no período de um ano (1998)	12
FIGURA 5: Espectro do fluxo de CO ₂ , no período de um ano (1998).....	13
FIGURA 6: Espectro do fluxo de CO ₂ , aplicando a transformada de Fourier, entre 1995 a 1998.	14
FIGURA 7: Espectro do fluxo de calor latente, no período de 1997 e 1998.....	15
FIGURA 8:(a) Co-espectro do fluxo de densidade de calor latente e CO ₂ , no período de 1997. O espectro de densidade é normalizado pela média da covariância das duas séries temporais. (b) Coerência do espectro de covariância entre densidade dos fluxos de calor latente e CO ₂ . (c) Espectro do ângulo de covariância entre densidade dos fluxos de calor latente e CO ₂	16
FIGURA 9: Local do estudo	18
FIGURA 10: Foto de Sinop-MT	19
FIGURA 11: Torre, na qual funciona o sistema de correlação de vórtices turbulentos	20
FIGURA 12: Valores de An, para o Fluxo do Calor Latente, em julho de 2002.....	28
FIGURA 13: Valores de Bn, para o Fluxo do Calor Latente, em julho de 2002.....	29
FIGURA 14: Valores de An, para o Fluxo do Calor Sensível, em abril de 2001	29
FIGURA 15: Valores de Bn, para o Fluxo do Calor Sensível, em abril de 2001	30
FIGURA 16: Valores de An, para a Temperatura, em abril de 2001	31
FIGURA 17: Valores de Bn, para a Temperatura, em abril de 2001.....	31
FIGURA 18: Ruídos encontrados para o fluxo de Calor Latente, em setembro de 1999.....	36
FIGURA 19: Ruídos encontrados para o fluxo de Calor Latente, em setembro de 1999.....	37
FIGURA 20: Ruídos encontrados para o fluxo de Calor Sensível, em setembro de 2003.....	37
FIGURA 21: Ruídos encontrados para o fluxo de Calor Sensível, em setembro de 2003.....	38
FIGURA 22: Comparação entre Análise de Fourier dos dados Experimentais e a Curva Teórica para o Fluxo de Calor Sensível em agosto de 2002	39

FIGURA 23: Comparação entre Análise de Fourier dos dados Experimentais e a Curva Teórica para o Fluxo de Calor Latente em dezembro de 2005	39
FIGURA 24: Comparação entre Análise de Fourier dos dados Experimentais e a Curva Teórica para a Temperatura em maio de 2005	40
FIGURA 25: Comportamento do termo A_{30} da Série de Fourier	41
FIGURA 26: Comportamento da soma dos termos A_{30} e A_{60} da Série de Fourier ...	42
FIGURA 27: Comportamento das somas dos termos A_{30} e B_{30} da Série de Fourier	43
FIGURA 28: Comportamento da soma de todos os termos significativos da Série de Fourier	44
FIGURA 29: Fluxo de calor latente em função do tempo no dia juliano 94 (abril) de 2001	45
FIGURA 30: Fluxo de calor latente em função do tempo no dia juliano 156 (junho) de 2002	46
FIGURA 31: Fluxo de calor latente em função do tempo no dia juliano 182 (julho) de 2002	46
FIGURA 32: Fluxo de calor latente em função do tempo no dia juliano 109 (abril) de 2001	47
FIGURA 33: Fluxo de calor latente em função do tempo no dia juliano 192 (julho) de 2002	48
FIGURA 34: Variação sazonal de A_n , para o Fluxo do Calor Sensível	49
FIGURA 35: Variação sazonal de A_n , para o Fluxo do Calor Latente	49
FIGURA 36: Variação sazonal de A_n , para o Fluxo da Temperatura	50
FIGURA 37: Variação sazonal de B_n , para o Fluxo do Calor Sensível	50
FIGURA 38: Variação sazonal de B_n , para o Fluxo do Calor Latente	51
FIGURA 39: Variação sazonal de B_n , para a Temperatura	51

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Tratamento de dados, do fluxo de Calor Sensível, em dezembro de 2005.....	23
TABELA 2: Valores dos períodos, para o fluxo de Calor Sensível, em relação ao An e Bn entre agosto de 1999 a dezembro de 2005.....	33
TABELA 3: Valores dos períodos, para o fluxo de Calor Latente, em relação ao An e Bn entre agosto de 1999 a dezembro de 2005.....	34
TABELA 4: Valores dos períodos, para a Temperatura, em relação ao An e Bn entre agosto de 1999 a dezembro de 2005	35

LISTA DE ABREVIACÕES

IPCC- Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima

IPAM- Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LBA- Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia

FFT- Transformadas rápidas de Fourier

CFC's- Clorofluorocarbonetos

Qp- Densidades do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa

Ta- Temperatura do ar

u- Velocidade do vento

P- Pressão atmosférica

LE- Fluxos de Calor Latente

H- Calor Sensível

a_0 Valor médio dos dados micro-meteorológicos

a_n e b_n -- Coeficientes que satisfazem as condições de Dirichlet

T- É o período

Δt -É a quantidade de dias e

n- O valor que se encontra o pico

h-Hora

d- Dia

RESUMO

PINHEIRO, M. R. - *Frequências dominantes de variáveis micrometeorológicas de uma floresta de transição do norte de Mato Grosso*, 2008. 66 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, MT.

Este trabalho foi realizado utilizando dados coletados em uma Floresta de Transição, em uma área pertencente à Fazenda Maracaí no noroeste de Sinop, MT, com dados micrometeorológicos obtidos com o sistema de correlação de vórtices turbulentos (Eddy Covariance) por equipamentos instalados numa torre de 42 metros. Teve como objetivo geral analisar os dados de fluxo de Calor Latente (LE), Calor Sensível (H) e Temperatura (T), realizando uma análise de séries temporais, a Série de Fourier, verificando quais as suas frequências dominantes. Para os cálculos foram efetuadas médias de 3 em 3 horas para cada mês, ao longo do período de 1999 a 2005, para todas as variáveis estudadas. Os períodos dominantes encontrados foram de 24; 12; 4 e 3,4 horas. Os dois primeiros se referem ao movimento de rotação da Terra, ou seja, à periodicidade dia/noite. Quanto aos dois períodos menores, os dados indicam que estão relacionados com a dinâmica de abertura dos estômatos. Assim sendo, os resultados deste trabalho indicam que os fatores que influenciam predominantemente as variáveis microclimatológicas durante o dia (frequências entre 10^{-5} a 10^{-4} Hz) são a radiação solar e a dinâmica de abertura dos estômatos.

Palavras-chave: Séries de Fourier, Frequência de Fenômenos Naturais, Radiação Solar, Dinâmica Estomatal.

ABSTRACT

PINHEIRO, M. R. – *Main frequencies for micrometeorological variables in a transition forest at the north of Mato Grosso.*, 2008. 66 f. Dissertation (Master's degree in Environmental Physics), Physics Department, Institute of Exact Science and Soil, University of Mato Grosso. Cuiabá, MT.

In this work, it was employed data collected in a transition forest, in the Maracaí farm, at the northwest of Sinop, MT, Brazil. The data was obtained by means of the method of eddy covariance, using equipment installed on a 42m high tower. Its main purpose was to analyze data of latent (H) and sensible (Le) heat flux and also the air temperature (T), by using a method of time series analysis: the Fourier series. It was investigated the main frequencies presented by the data. It was obtained mean values for the variables corresponding to each 3 hours, between 1999 and 2005. The main periods that was obtained with the Fourier method were 24; 12; 4 and 3,4 hours. The two first ones refer to the solar radiation and to the Earth rotation. The last two periods, as indicated by the data, are related with the stomata dynamics. In this way, the results of this work indicate that the main factors that influence predominantly the microclimatological variables, during the day (frequencies between 10^{-5} a 10^{-4} Hz), were the solar radiation and the stomata dynamics.

Keywords: Fourier Series, Frequencies of Natural Phenomena, Solar Radiation, Stomata Dynamics.

1 INTRODUÇÃO

O Homem ocupa a superfície terrestre do planeta, organizado em sociedades cada vez mais complexas, numa aparente harmonia com a natureza, mas sendo sujeito, e ao mesmo tempo objeto, de perturbações e fenômenos naturais intensos que comprometem, freqüentemente, o equilíbrio entre o ambiente social e o ambiente natural.

As emissões dos gases de efeito estufa vêm aumentando a cada ano, o relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) de 2007 diz que, até o fim deste século, a temperatura da Terra pode subir de 1,8°C a 4°C, e prevê o aumento na intensidade de tufões e secas, além de elevação no nível dos oceanos.

No Brasil, um dos maiores causadores das mudanças climáticas, pois emitem gases do efeito, é o desmatamento. As queimadas oriundas da destruição das florestas significam 75% das emissões brasileiras. De acordo com o documento do IPCC, 65% do potencial florestal de mitigação, isto é, o que pode ser feito nas florestas para reduzir o aquecimento global, está localizado nos trópicos e mais da metade pode ser resolvido apenas com o combate ao desmatamento ilegal.

A região da Amazônia consiste em uma área com uma alta biodiversidade de espécies florestais e vem atraindo a atenção para diversos estudos. O crescente desmatamento, principalmente nesta região, que deixa a floresta cada vez mais seca e com menor capacidade de evaporação, ocasiona a redução das chuvas em várias regiões, afetando o clima do norte até o sul do país. Com isso, grandes percentuais das emissões de gases do efeito estufa através das queimadas estão concentradas nessa região.

Diante desse quadro, a questão do aproveitamento sustentado dos recursos naturais da região, no entanto, permanece, ainda, envolta em incertezas, principalmente devido ao desconhecimento sobre a dinâmica dos processos naturais inerentes aos ecossistemas. Sem uma compreensão mínima, em nível científico, das

relações entre as variáveis físicas e biogeoquímicas envolvidas, torna-se difícil o estabelecimento de políticas de ocupação da terra e economia sustentável.

Uma etapa importante do processo de compreensão da dinâmica que governa as variáveis microclimatológicas de um ecossistema é a identificação das principais frequências (ou frequências dominantes) que caracterizam a periodicidade da variação temporal dessas variáveis.

Devido à importância de entender o ecossistema da Amazônia, este trabalho realizado em uma Floresta de Transição, no noroeste de Sinop, MT, tem como objetivo geral, analisar dados micrometeorológicos (calor latente, calor sensível e temperatura), realizando uma análise de séries temporais, a Série de Fourier. Tendo como objetivos específicos: verificar quais as suas frequências dominantes, fazer uma comparação entre a análise de Fourier Teórica e os dados experimentais, explicar o significado de cada coeficiente e analisar o efeito da sazonalidade sobre os valores dos coeficientes. A pesquisa foi realizada utilizando dados coletados nos períodos de 1999 a 2005, obtidos com o método dos vórtices turbulentos por equipamentos (anemômetro sônico e analisador de gases) instalados numa torre de 40 metros.

Encontrar as frequências dominantes das variáveis microclimatológicas de um ecossistema é de suma importância para entender o funcionamento dinâmico dessas variáveis, e encontrar fatores que influenciam o ecossistema da floresta de transição.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A AÇÃO ANTRÓPICA

As ações antrópicas estão provocando mudanças climáticas, devido ao aumento da concentração de gases de efeito estufa (dióxido de carbono, vapor d'água, metano, óxido nitroso, e ozônio, CFC's, entre outros) na atmosfera, conseqüentemente afetando todos os ecossistemas e a população. Exemplos disso são as tempestades que vem acontecendo neste ano de 2007 e se transformando em furacão, como o *Félix*, que chegou à costa nordeste da Nicarágua, provocando deslizamentos.

Em setembro ainda de 2007, o furacão "Humberto" perdeu intensidade e foi rebaixado à categoria de tempestade tropical em seu avanço em direção ao sudoeste do estado da Louisiana. O aquecimento do planeta também fez com que a cobertura de gelo do oceano Ártico atingisse seu recorde mínimo no verão do hemisfério Norte.

Estiagens prolongadas, vegetação seca e baixa umidade relativa do ar têm sido acentuadas por causa dos focos de incêndios. Em setembro, os satélites do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - registraram 11.672 focos de incêndio na América do Sul, no Brasil constatou-se 9631 focos.

No primeiro relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), publicado em fevereiro de 2007, afirma-se que a Terra aqueceu-se 0,7 °C em cem anos, metade da variação que o planeta registrou em 125 mil anos, e vai continuar esquentando. O nível do mar subiu 17 centímetros no século XX e subirá entre 30 cm e 40 cm neste século.

As emissões atuais de gases do efeito-estufa crescem a taxas anuais de 3%, e se alguns desses "vilões", como o metano, ficam em média 11 anos na atmosfera, o

dióxido de carbono, CO₂, permanece 140 anos, sendo que uma parte vira um milênio antes de desaparecer.

Os últimos resultados divulgados pelo IPCC indicam que, no decorrer deste século, aumentará a temperatura por todo o planeta, sendo este aumento mais severo sobre os continentes do que sobre os oceanos e aumento do nível dos oceanos, aumento de chuvas nas regiões que já são bem providas de chuvas e diminuição nas regiões que hoje sofrem com a escassez de água, além de aumentar a frequência e a intensidade dos eventos extremos, como furacões, inundações e secas prolongadas.

Os impactos das mudanças climáticas no Brasil segundo o 4º relatório do IPCC são: No nordeste do Brasil, as áreas semi-áridas e áridas vão sofrer uma redução dos recursos hídricos. A recarga estimada dos lençóis freáticos irá diminuir drasticamente em mais de 70% no nordeste brasileiro (comparado aos índices de 1961-1990 e da estimativa da década de 2050).

As chuvas irão aumentar no sudeste brasileiro com impacto direto na agricultura e no aumento da frequência e da intensidade das inundações nas grandes cidades como Rio de Janeiro e São Paulo; o nível do mar, a variabilidade climática e os desastres provocados pelas mudanças climáticas devem ter impactos nos mangues; de 38 a 45% das plantas no cerrado correm risco de extinção se a temperatura aumentar em 1,7 °C em relação aos níveis da era pré-industrial.

Na Amazônia, eventos climáticos extremos altamente inusitados, como a seca de 2005; aumento potencial da seca durante a fase crítica de crescimento da vegetação, por causa da elevação da temperatura e da diminuição das chuvas no verão; nas áreas não fragmentadas da floresta amazônica o efeito direto do CO₂ na fotossíntese, bem como uma regeneração florestal mais rápida, pode ter causado um aumento substancial na densidade de lianas – espécie de trepadeiras lenhosas.

Nas duas últimas décadas; a conversão dessa floresta em lavouras afeta o clima porque altera o albedo regional e o fluxo de calor latente, causando o aumento de temperatura adicional no verão; grandes perdas de biodiversidade ocorrerão com um aquecimento de 2,0°C a 3,0°C acima dos níveis pré-industriais; o aumento na temperatura e a diminuição de água no solo irão levar à savanização na região leste.

2.1.1 Floresta Amazônica

A variedade de vida atinge seu auge nas florestas tropicais úmidas latifoliadas e perenifólias que ocupam as zonas de baixas altitudes próximas ao equador. A precipitação supera os 2000 mm a 2500 mm por ano, ao longo do ano. A variação na temperatura entre inverno e verão é menor que a variação entre noite e dia (ODUM,1998).

Dentre essas florestas, está a Floresta Amazônica, que é constituída por uma área contínua de floresta tropical tendo elevados índices de precipitação e um ecossistema caracterizado por sustentar extensa biodiversidade. Com o avanço da agricultura, da pecuária, por causa do corte indiscriminado de árvores, e pelo fogo, tem-se uma ameaça ao equilíbrio do ecossistema Amazônico, também, aos serviços ambientais providos pelas florestas a outros locais, tanto próximo como longe das próprias florestas.

Emissões de gases do efeito estufa, provocadas pela mortalidade da floresta devido à mudança de clima, fazem parte de uma relação de retroalimentação positiva em potencial que conduz, cada vez mais, ao aquecimento e mais mortalidade (FEARNSIDE, 2003). O conhecimento das componentes envolvidas na interação entre a biosfera e a atmosfera é de extrema importância para a previsão da evolução do clima e da sustentabilidade do ecossistema como um todo e, devido a sua extensão, a Floresta Amazônica tem um importante papel no balanço global, de calor, umidade e de carbono (OLIVEIRA, et al. 2004 apud FITZJARRALD & MOORE, 1990).

Segundo Salati (2007) apud Candido, et al., o atual equilíbrio dinâmico da atmosfera Amazônica está sujeito a forças de transformação que levam às variações climáticas e podem ser estudadas sob três diferentes aspectos citados a seguir:

a. Variações climáticas na região podem ser devidas às variações climáticas globais, decorrentes de causas naturais. Essas mudanças estão relacionadas com variação da intensidade solar, variações da inclinação do eixo de rotação da Terra, variações da excentricidade da órbita terrestre, variações das atividades vulcânicas e variações da composição química da atmosfera, entre outras. Existem registros bem documentados sobre as oscilações climáticas na Amazônia ocorridas durante as glaciações e também de variações mais recentes da temperatura local. Os efeitos do

El Niño, que é um fenômeno natural, podem estar inclusos nessa categoria. O tempo de resposta às forças modificadoras pode ser em um período anual, de décadas e milênios.

b. Mudanças climáticas de origem antrópicas, decorrentes de alterações do uso da terra dentro da própria região Amazônica. Tais alterações estão ligadas diretamente ao desmatamento de sistemas florestais para transformação em sistemas agrícolas e/ou pastagem, o que implica em transferência de carbono (na forma de dióxido de carbono) da biosfera para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global, o qual por sua vez acaba atuando sobre a região Amazônica. Evidências de estudos observacionais e estudos de modelagem demonstraram que mudanças na cobertura superficial podem ter um impacto significativo no clima regional e global.

c. Variações climáticas decorrentes das mudanças climáticas globais provocadas por ações antrópicas. Se as tendências de crescimento das emissões se mantiverem, os modelos climáticos indicam que poderá ocorrer aquecimento até acima de 6°C em algumas regiões do globo até o final do século XXI. É provável que a temperatura média global durante o século XXI aumente entre 2,0°C a 4,5°C, com uma melhor estimativa de cerca de 3,0°C, e é muito improvável que seja inferior a 1,5°C. Valores substancialmente mais altos que 4,5°C não podem ser desconsiderados, mas a concordância dos modelos com as observações não são tão boas para esses valores (IPCC, 2007). Conclui-se que, mesmo no cenário de baixas emissões de gases do efeito estufa, as projeções dos diversos modelos do IPCC indicam aumento da temperatura, sobretudo no Hemisfério Norte.

2.1.2 Floresta de Transição

A Floresta de Transição (também conhecida como cerradão) está situada entre a floresta tropical da Amazônia Central e bacia das savanas tropicais do leste e sul da Amazônia, e é considerada uma variante do Cerrado (savana), vegetação da Amazônia Brasileira (VOURILITIS et al., 2002 apud EITEN 1972; RATTER 1992). A floresta tem uma fisionomia florestal composta de árvores mais espaçadas, com estrato arbustivo pouco denso e caracterizada pelas fanerófitas, e pelas lianas

lenhosas, com árvores perenes, de pálio alto (28-30 m, aproximadamente) e dossel fechado (VOURLITIS et al., 2001).

Pelo regime climático da região, com fortes secas sazonais, a vegetação não apresenta as características das florestas densas e úmidas que ocorrem mais ao norte. Nem tão úmida como uma floresta densa, nem tão seca como o cerrado, estas florestas de transição sofrem, contudo, a ação do fogo todo ano (IPAM, 2007).

2.2 APLICAÇÕES DE ANÁLISES DE FOURIER

As aplicações da análise de Fourier não são utilizadas apenas para encontrar frequências dominantes de fenômenos naturais, mas também são usadas em outras áreas. Por exemplo, Carvalho et. al. (2005), aplicam a análise na obtenção de um modelo de previsão de produtividade para a cultura do café, em sete municípios do Estado de Minas Gerais.

Na medicina há estudos para avaliar a utilidade da análise de Fourier como método para detecção de defeitos localizados na camada de fibras nervosas da retina, mostrado por MEDEIROS & REMO (2003). Já na psicologia, Santos & Simas (2002) discutem alguns aspectos conceituais básicos da análise de Fourier enquanto ferramenta que fundamenta a perspectiva de filtros ou canais múltiplos de frequências espaciais no estudo do processamento visual da forma.

Na Física, Carlin et al.(2004) estudam a capacidade de alunos em reconhecer padrões básicos de transformadas de Fourier para manipular filtros, com intuito de obter alguns efeitos desejados na imagem final do processamento de imagens. Já Lima, et al. (2007) caracterizam a composição das escamas de um fóssil de peixe originado de rocha sedimentar do Membro Romualdo, utilizando as técnicas de difração de raios-X em policristais e espectroscopia na região do infravermelho através das transformadas de Fourier.

A análise de Fourier é muito utilizada por serem séries temporais, envolvendo funções periódicas simples: seno e cosseno. Os fenômenos descritos acima vão ser traduzidos em forma de suas principais características temporais (tendência, ciclo, sazonalidade e variações aleatórias).

2.3 FENÔMENOS NATURAIS: OBEDECEM A VARIABILIDADES TRADUZIDAS EM FREQUÊNCIAS

A Teoria do Caos surgiu com o objetivo de encontrar respostas às irregularidades da natureza, tentando encontrar padrões cíclicos dentro de um sistema que, a primeira vista, pareça ser aleatório, mas na sua origem são compostos de padrões e leis muito simples. Os sistemas caóticos são caracterizados por uma extrema sensibilidade as condições iniciais, mudanças diminutas no estado inicial do sistema levarão, ao longo do tempo, a conseqüências em grande escala (CAPRA, 1996).

Pode-se dizer que os sistemas utilizados na Teoria do Caos são os dinâmicos não-lineares, são sistemas deterministas com sensibilidade às condições iniciais, que originam resultados aparentemente aleatórios. Um exemplo tradicional é o “Efeito Borboleta”, que diz essencialmente: “uma borboleta bate asas no Brasil e causa um furacão no Texas”, os fenômenos climáticos são de comportamento caótico e de difícil previsibilidade.

Segundo Capra (1996) o efeito borboleta foi descoberto pelo meteorologista Edward Lorenz em 1961, que desenhara um modelo simples de condições meteorológicas consistindo em três equações não-lineares acopladas. Ele contestou que as soluções das suas equações eram extremamente sensíveis às condições iniciais. Lorenz obteve uma curva desenhada, uma dupla espiral no espaço: não tinha um comportamento cíclico, porém estava restringida a um determinado volume. Essa figura ficou conhecida como “atrator de Lorenz”.

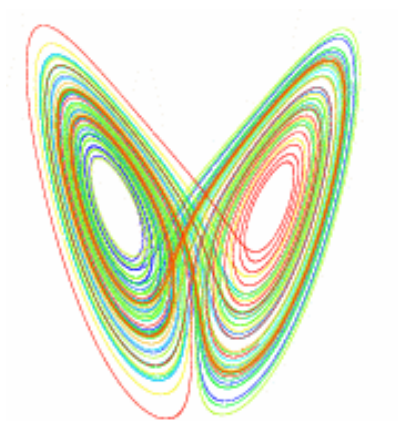


FIGURA 1: Atrator de Lorenz

Fonte: www.cires.colorado.edu

A geometria fractal permite irregularidades infinitésimas e mostra que uma perturbação numa escala microscópica, pode proporcionar uma perturbação em enormes proporções, como o exemplo da borboleta.

De acordo com Platt & Denman (1975), a característica de um sistema não linear é sua periodicidade, a tendência a um período (ciclo) em relação ao tempo, ao espaço, ou a ambos. De acordo com este ponto de vista, podemos considerar o ecossistema como um sistema não linear, acoplado por um conjunto de diferentes funções. O elemento básico das séries temporais é o ciclo: uma completa descrição do sistema que deve conter as frequências de todos os seus ciclos dominantes. Ou seja, uma maneira de especificar um sistema pode ser a constatação de possíveis frequências de um processo organizado de acordo com a sua relativa importância ou magnitude.

Dependendo das condições iniciais, qualquer instabilidade ocorrida implica em modificações nos sistemas vivos, característica esta de um sistema não linear.

2.4 RESULTADOS DA LITERATURA: BALDOCCHI, 2001

A utilização da análise de Fourier no estudo da interação biosfera-atmosfera pode ser encontrada em alguns trabalhos na literatura, contudo tradicionalmente não se utiliza a análise de Fourier em termos de séries de senos e cossenos, como a empregada neste trabalho, mas sim através do método do “espectro de potências” (power spectra), que se utiliza da chamada “transformada de Fourier rápida” (Fast

Fourier Transform, ou FFT), baseada, por sua vez, numa série de exponenciais imaginárias.

Por exemplo, Baldocchi (2001) descreve as variações temporais de CO₂ e fluxo de vapor de água entre uma floresta temperada (reserva de Oak Ridge, EUA) e a atmosfera, relacionando-as às variações temporais de outras variáveis meteorológicas, como o vento, a temperatura e a radiação solar, e a processos biológicos, tais como a fotossíntese, respiração e evaporação, em um intervalo de tempo de dois anos.

A análise de Fourier transforma uma série temporal estocástica em uma soma de frequência de senos e cossenos. Esta análise é capaz de quantificar as variáveis associadas a uma determinada frequência ou períodos. O método tem sido utilizado inúmeras vezes para examinar espectros característicos da turbulência atmosférica e registros do clima.

Para compreender o espectro de CO₂ e a troca de vapores de água, ao longo do ano, Baldocchi (2001) analisou alguns espectros e a influência de algumas variáveis.

As figuras 2 a 5 mostram os espectros de densidades do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa (Q_p), temperatura do ar (T_a), velocidade do vento (u) e fluxo de gás carbônico (CO₂), respectivamente, para as séries temporais adquiridas em 1998. O eixo vertical dos gráficos representa a intensidade (normalizada) com que a série temporal correspondente aos dados varia em cada frequência específica. Através dos espectros, pode-se perceber características tanto comuns como distintas, em relação à posição dos picos espectrais e das lacunas no espectro de cada variável.

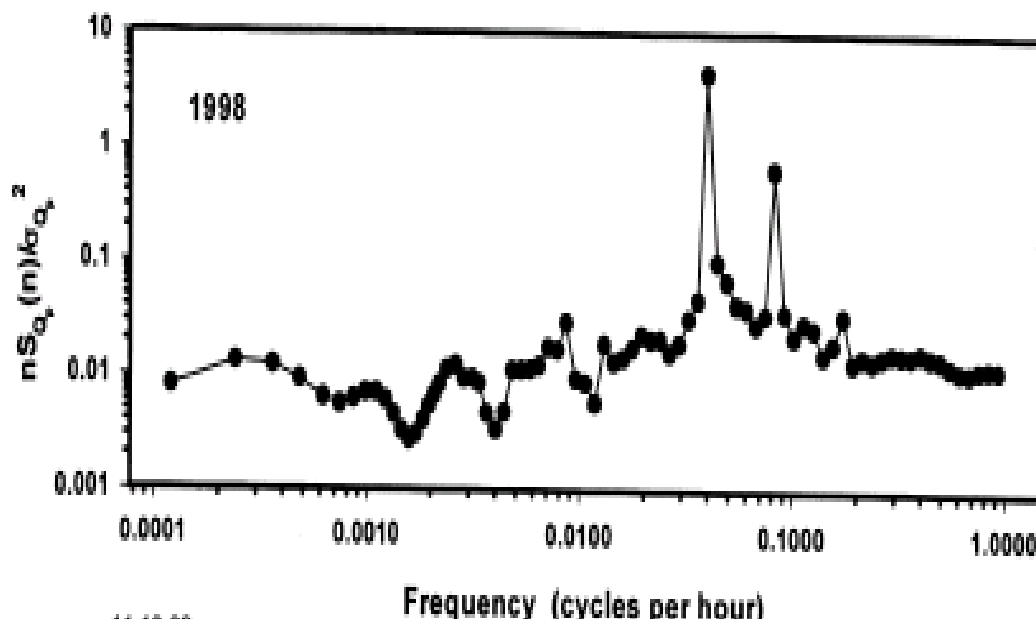


FIGURA 2: Espectro do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa, no período de um ano (1998)

Fonte: BALDOCCHI (2001)

As características dos espectros de fluxo de radiação fotossinteticamente ativa (Q_p) e temperatura do ar (Figs. 2 e 3, respectivamente) mostram picos pronunciados para as frequências $0,041 \text{ h}^{-1}$ e $0,083 \text{ h}^{-1}$. Como o período é o inverso da frequência, tais valores correspondem à 24 h e 12 h, respectivamente, ou seja, o período diário e semi-diário.

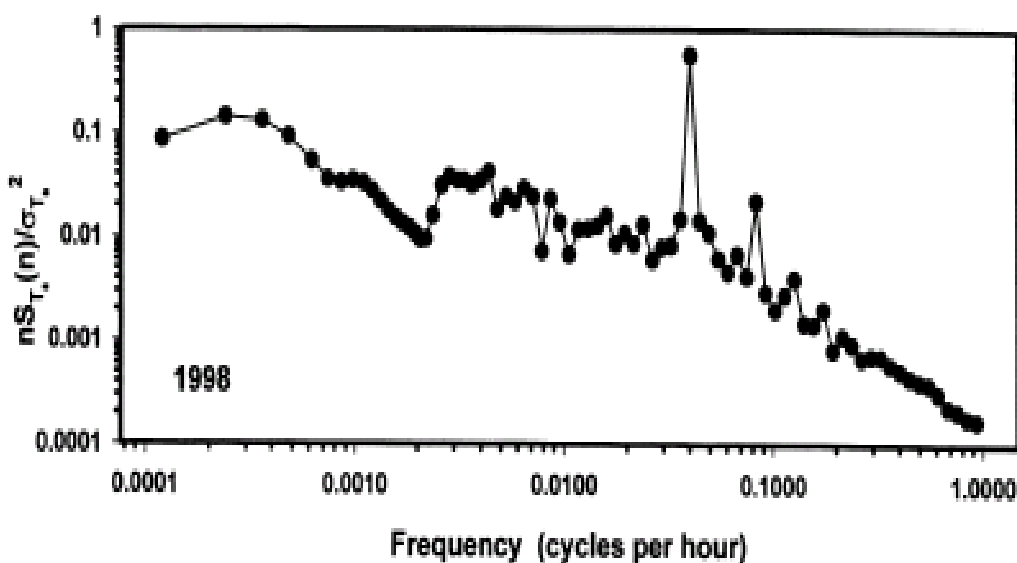


FIGURA 3: Espectro da temperatura, no período de um ano (1998)

Fonte: BALDOCCHI (2001)

O fator de alternância entre dia e noite devido ao movimento de rotação da Terra deve ser o principal responsável pelos picos de maiores frequências nos espectros da luz, do sol e temperatura do ar.

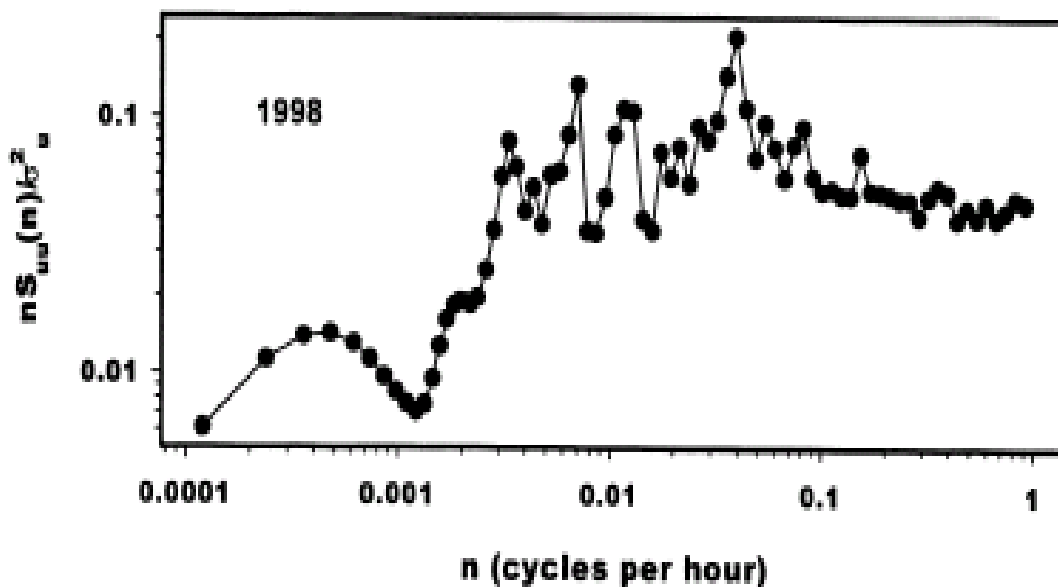


FIGURA 4: Espectro da velocidade do vento, no período de um ano (1998)
Fonte: BALDOCCHI (2001)

O espectro de potências da velocidade do vento (Fig. 4) possui muitos contrastes, em comparação com os espectros da luz solar e temperatura. Por exemplo, o espectro da velocidade do vento não mostra um pico tão facilmente identificável com a periodicidade de 12 horas.

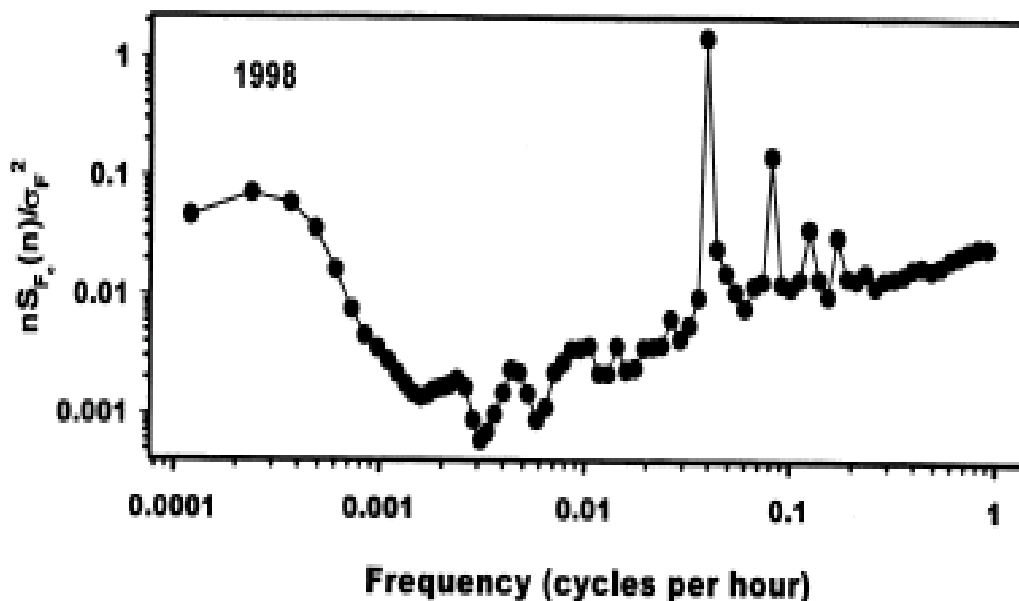


FIGURA 5: Espectro do fluxo de CO₂, no período de um ano (1998)
Fonte: BALDOCCHI (2001)

O fluxo de CO₂, apresentado na figura 5, tem picos em baixa frequência, que correspondem aos picos obtidos para a área foliar, radiação solar e temperatura, sugerindo que essas variáveis estão fortemente acopladas no ecossistema estudado. Os períodos do fluxo de CO₂ apresentam também os ciclos de 24 horas e 12 horas, o que já era esperado, visto que, há uma troca mais elevada de fluxo de CO₂ durante o dia.

Quantificou-se a variabilidade do dossel em relação ao fluxo de CO₂ em quatro anos, de 1995 a 1998, através da Transformada de Fourier.

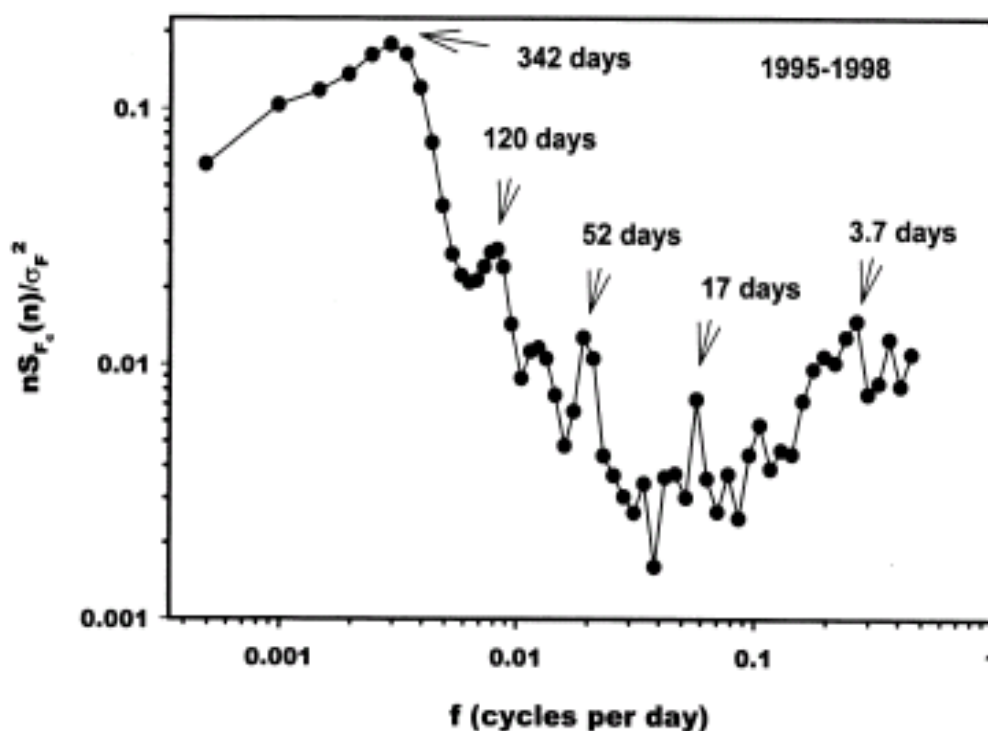


FIGURA 6: Espectro do fluxo de CO₂, aplicando a transformada de Fourier, entre 1995 a 1998.

Fonte: BALDOCCHI (2001)

Na figura 6, podem ser observados os picos ocorridos em períodos de 342 dias, 52 dias, 17 dias e 3,7 dias. O período mais longo e o seguinte correspondem aos ciclos anuais e à sazonalidade das estações do ano. No espectro entre os quatros anos, não é perceptível a existência dos ciclos semestrais e trimestrais (encontrados nos espectros anuais), mas encontrou-se ciclos em períodos mais curtos, de 120 e 52 dias, que não correspondem a qualquer periodicidade biológica ou meteorológica.

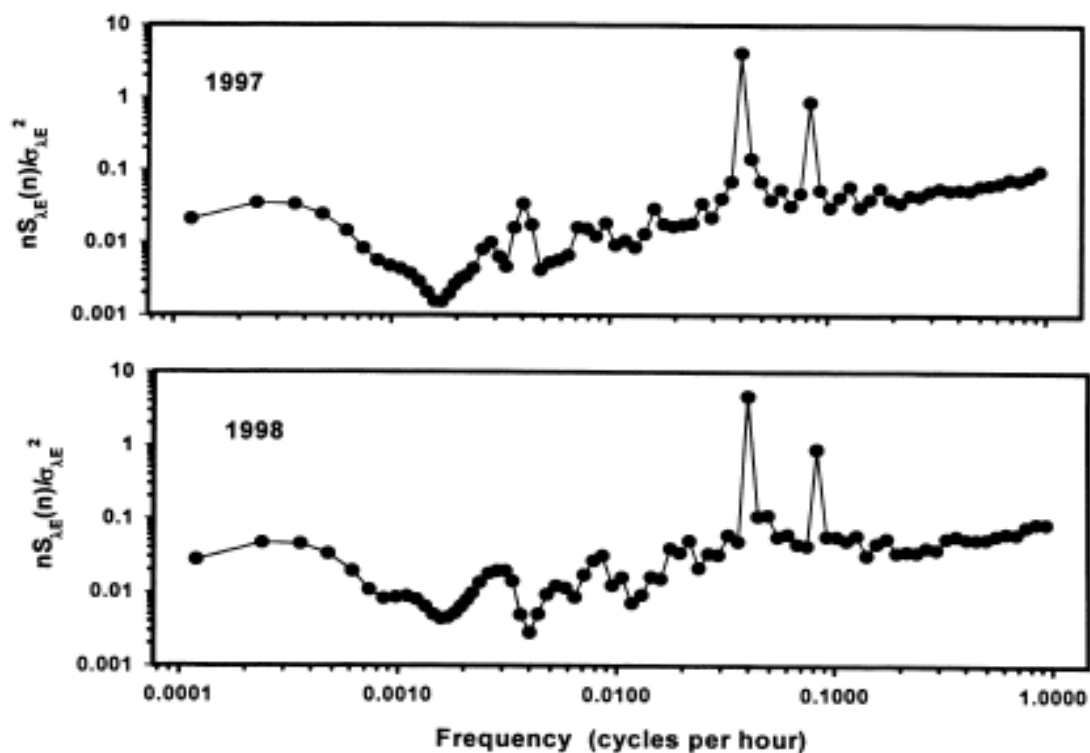


FIGURA 7: Espectro do fluxo de calor latente, no período de 1997 e 1998.
Fonte: BALDOCCHI (2001)

A escala anual aplicada ao espectro de fluxo de calor latente, mostrado na figura 7, faz-se uma superposição dos espectros de densidades do fluxo de calor latente e CO₂, encontra-se o mesmo padrão espectral, porém os picos e lacunas não se têm uma correspondência perfeita.

Há evidências que mostram a relação da assimilação de carbono com a evaporação, em horas e dias, Baldocchi demonstrou como esses processos acontecem ao longo do tempo.

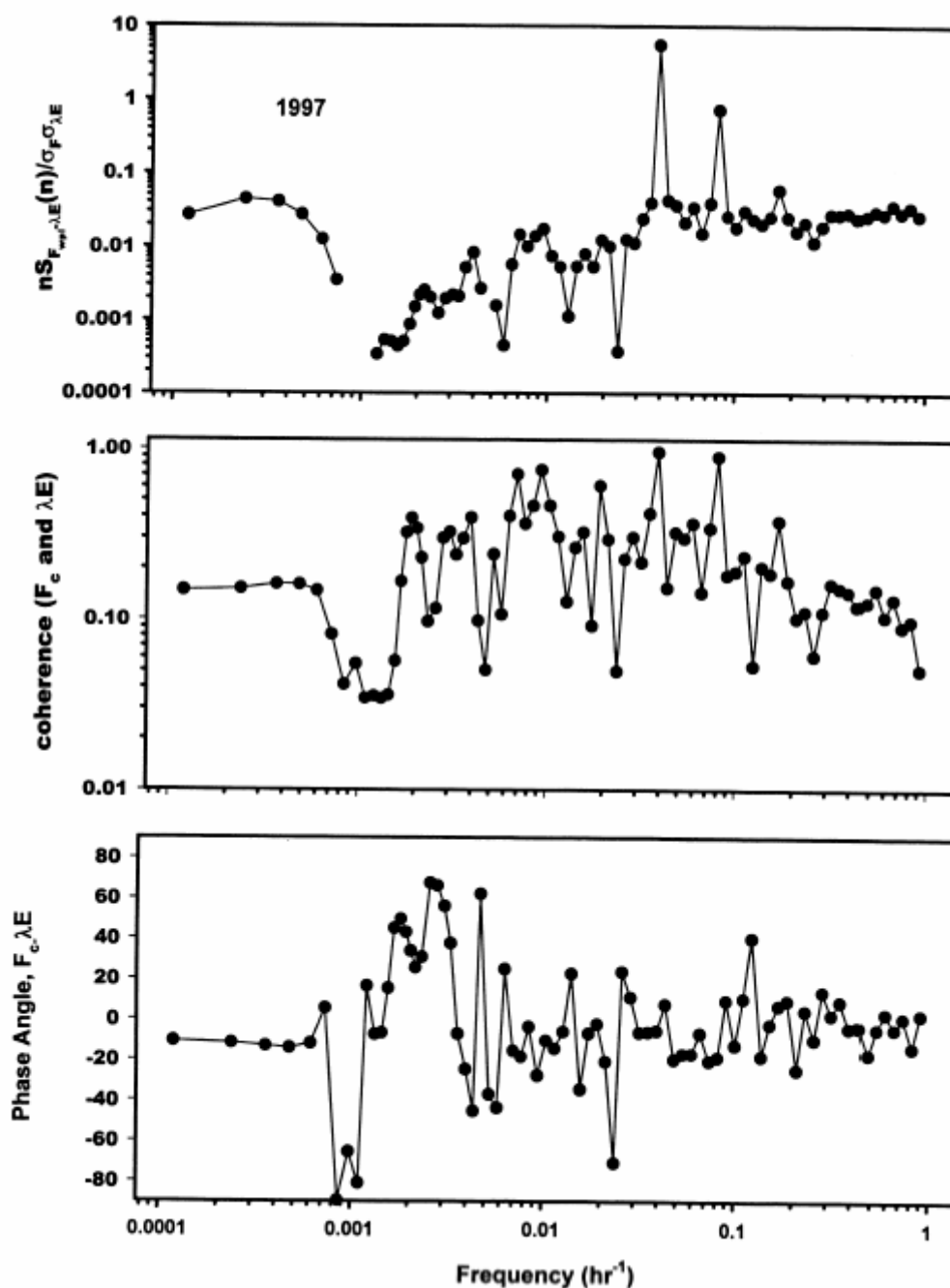


FIGURA 8:(a) Co-espectro do fluxo de densidade de calor latente e CO₂, no período de 1997. O espectro de densidade é normalizado pela média da covariância das duas séries temporais. (b) Coerência do espectro de covariância entre densidade dos fluxos de calor latente e CO₂. (c) Espectro do ângulo de covariância entre densidade dos fluxos de calor latente e CO₂

Fonte: BALDOCCHI (2001)

Na figura 8a mostra um co-espectro entre os fluxos de densidade de calor latente e CO₂, na figura 8b mostra a coerência do espectro entre os fluxos, e na figura 8c mostra as fases dos ângulos do espectro. A coerência e os picos das fases dos espectros relacionados ocorrem em escalas anual, sazonal e diária. Ao passar a escala

temporal de mensal para semanal, a coerência entre fluxo de calor latente e CO₂ não diminuiu, mantendo-se mais alta que a relação luz solar e temperatura do ar. Em alguns momentos o fluxo CO₂ afasta por até 90° do fluxo de densidade do calor latente em alguns casos, em outros se tem uma diferença de 60°. Esse comportamento reflete o impacto do inverno, quando evaporação é baixa durante o dormite florestal, mas a floresta não pára de respirar. Durante um período de 12 horas o fluxo de CO₂ eleva a densidade do fluxo de calor latente, indicado no espectro pelo pico, esta fase tem um ângulo de 40°. Esta característica reflete o impacto do fluxo de calor latente indo a zero durante a noite, enquanto o fluxo de CO₂ aumenta com o ecossistema respirando.

Constatou-se, no artigo de Baldocchi (2001), que a análise temporal feita pela série de Fourier em períodos mais longos, examinando os fluxos de dióxido de carbono e vapor de água, obteve informações sobre os ciclos destas trocas. Detectou-se períodos significativos em escalas de um dia e em cada estação do ano. Destaca-se a capacidade da análise de Fourier de inspecionar modelos de cálculo de CO₂ e vapor da água, localizando seus vários picos espectrais e as lacunas que estão identificadas no registro experimental.

3 MATERIAIS E METÓDOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Foram utilizados os dados coletados na Amazônia Legal, em uma área pertencente à Fazenda Maracaí, com cerca de 20 km², localizada na Região Centro-Oeste, a aproximadamente 50 km a noroeste de Sinop, Mato Grosso, Brasil (11°24.75'S; 55°19.50'O), acerca de 500 km de Cuiabá, em uma Floresta de Transição onde está instalada uma torre metálica, de 42 metros, com equipamentos de coletas de dados micrometeorológicos, pertencente ao projeto Experimento de Grande Escala da Biosfera Atmosfera na Amazônia (LBA).

Nesta torre funciona o sistema de correlação de vórtices turbulentos (Eddy Covariance), cujos dados foram utilizados neste estudo para analisar os Fluxos de Calor Latente (*LE*), Calor Sensível (*H*) e Temperatura (*T*) com dados dos anos de 1999 a 2005.

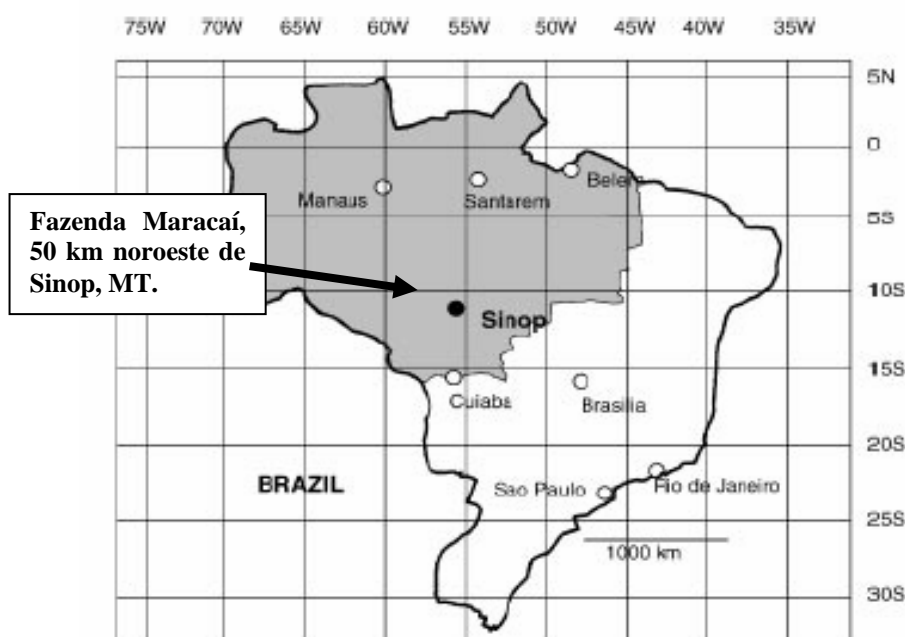


FIGURA 9: Local do estudo
Fonte: VOURLITIS (2001)



FIGURA 10: Foto de Sinop-MT

Fonte: Google Earth (08/01/2007)

3.1.1 Vegetação e Clima

A área de estudo é constituída por uma Floresta Tropical de Transição, com um dossel contínuo, composto de árvores de 28 a 30 m de altura, a 423 metros do nível do mar (VOURLITIS et al. 2005). O solo tem alta porosidade com isso drena rapidamente a água da chuva. A temperatura média anual na área de Sinop é de 24 °C com pequena variação nas estações, e uma precipitação média anual de 2000 mm com quatro meses de estação seca entre os meses de junho a setembro (VOURLITIS et al., 2002).

3.1.2 Instrumentos Micrometeorológicos

Os dados micrometeorológicos foram adquiridos através do sistema de correlação de vórtices turbulentos (*eddy covariance*). Os sensores de correlação de

vórtices turbulentos foram montados na torre conforme figura 11 a uma altura de 42 m acima do nível do solo, usado para medir o Fluxo de Calor Latente (LE), Calor Sensível (H) e a temperatura da Floresta Tropical de Transição, na Fazenda Maracaí.

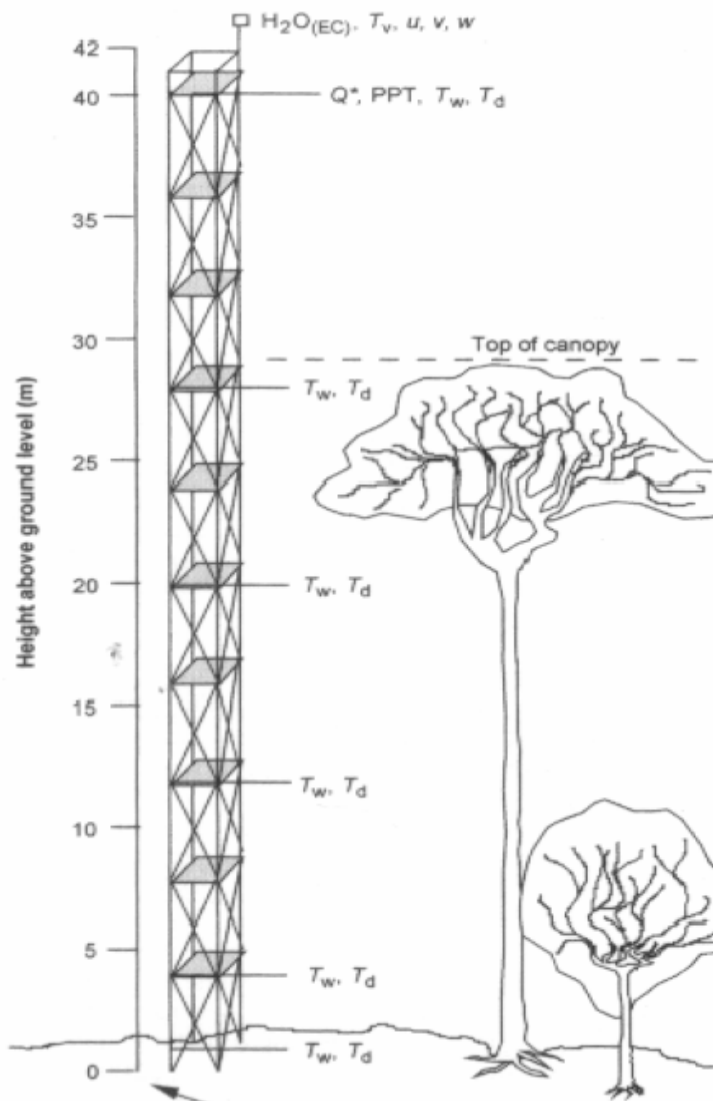


FIGURA 11: Torre, na qual funciona o sistema de correlação de vórtices turbulentos
Fonte: VOURLITIS et al. (2002).

Os valores medidos dos fluxos de Calor Latente (LE), Calor Sensível (H) e temperatura foram determinados usando o método de correlação de vórtices turbulentos, que este determina diretamente os fluxos, calculando a correlação entre os desvios temporais de alta frequência da temperatura do ar (fluxo de calor sensível) e da umidade do ar (fluxo de calor latente). Os sensores de correlação de vórtice turbulento foram montados a uma altura de 12-14 m acima do topo da floresta.

De 1999 a 2005, o sistema de correlação de vórtice turbulento era constituído por um anemômetro-termômetro sônico tridimensional (SWS-211/3K, Applied Technologies, Inc., Boulder, Colorado, E.U.A.) e por um conversor analógico/digital (datapacker).

O sistema de aquisição de dados era composto por um datalogger (CR 10X, Campbell Scientific, Inc., Ogden, Utah), e um laptop no qual manipulava os dados com um fluxo de respostas rápidas de 10 Hz (0,1 em 0,1 segundos), utilizando a técnica de médias de 200s com filtragem digital recursiva, esta utilizada para os fluxos de energia (calor sensível e calor latente), armazenava as variáveis com médias de 30 minutos.

Após a reforma realizada na torre em 2005, foi modificado o sistema de correlação de vórtices turbulentos, o anemômetro sônico tridimensional foi substituído por outro (CSAT3: 3-D anemometer sonic, Campbell, USA). Depois da reforma, o sistema de aquisição prescinde da utilização de um computador portátil, pois passou a ser constituído por um datalogger (CR-5000: Campbell, USA). Os dados são analisados em planilhas do software Microsoft Excel.

3.2 MÉTODOS

Nesse estudo foram utilizadas as variáveis: Fluxos Calor Latente (LE) e Calor Sensível (H), e temperatura (T) com dados dos anos de 1999 a 2005. Optou-se por esses dados, pois eles, em geral, têm comportamento mais regular que o fluxo de CO_2 e velocidade do vento, o que significa que se deve esperar que LE , H e T apresentem frequências dominantes mais definidas. Para análise dos dados será utilizado um método de análise de séries temporais, a Série de Fourier.

A técnica de correlação de vórtices turbulentos é uma técnica micrometeorológica que quantifica diretamente as trocas de massa e energia da superfície-atmosfera, pela medida do transporte turbulento de vapor d'água e calor (VOURLITIS et al., 2002; VOURLITIS et al., 2001; VERMA, 1990; BALDOCCHI et al., 1988).

Os dados brutos foram coletados na torre micrometeorológica na Floresta de Transição. Os dados diários foram acumulados a cada 30 minutos em um datalogger, sendo registrados em arquivos eletrônicos. Calculando-se médias de 3 em 3 horas começando de 0:00 hora a 23:30 horas, foram trabalhados em planilhas do software Microsoft Excel, sendo separados por variável. Cada variável foi organizada em uma planilha por mês. Exemplo visto na tabela 1, onde foi calculado a média, de 3 em 3 horas, do Fluxo de Calor Sensível na coluna D, no mês de dezembro de 2005. Na coluna F são os valores de n , que neste caso variou de 1 a 228, tendo sido coletados 28,45 dias. As colunas G e H representam os valores de A_n e B_n , que foram calculados através das equações 9 e 10 (ver adiante) respectivamente, para cada n .

TABELA 1: Tratamento de dados, do fluxo de Calor Sensível, em dezembro de 2005

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Day	Time	1472	Média	Média			
2			Hs					
3			W/m ²			n	A_n	B_n
4			Smp					
5	335	0	0,649947		-0,74566	1	5,971772	-8,07571
6	335	30	-0,53712		-15,5343	2	-10,2007	0,439657
7	335	100	-0,66686		40,80573	3	2,176514	1,459429
8	335	130	-2,68832		135,0575	4	-5,71198	-1,19343
9	335	200			106,2776	5	-4,19415	-1,81914
10	335	230	-0,48596	-0,74566	-8,57957	6	6,640877	4,393746
11	335	300	-1,92472		2,054332	7	3,641593	2,117477
12	335	330	-2,10678		-6,21307	8	4,085482	-1,9227
13	335	400	6,09814		-15,341	9	0,028782	0,142681
14	335	430	-103,384		-10,456	10	-3,81045	5,326857
15	335	500	6,58111		-3,64639	11	-1,76276	0,928794
16	335	530	1,53028	-15,5343	9,383822	12	2,422429	-3,79023
17	335	600	-28,8977		87,76087	13	-1,75906	-2,77163
18	335	630	0,13984		14,50686	14	-0,69618	7,334737
19	335	700	28,6409		1,712289	15	-5,59875	-1,4196
20	335	730			-3,09048	16	-1,66087	1,531413
21	335	800	96,6756		1,426849	17	1,058129	4,521863
22	335	830	107,47	40,80573	-0,93708	18	2,618239	4,857655
23	335	900	90,2238		20,22676	19	-4,94705	5,855973
24	335	930	138,702		18,27932	20	-4,00718	6,015264
25	335	1000	206,803		19,64148	21	0,296794	0,40948
26	335	1030	173,601		4,847913	22	-2,61748	4,222036
27	335	1100	134,069		-0,12118	23	-3,52077	-3,55428
28	335	1130	66,9462	135,0575	2,702395	24	-1,87052	-1,3349
29	335	1200	191,142		-3,74991	25	-1,62353	5,947219
30	335	1230	103,388		-3,04193	26	-1,89426	-0,22513
31	335	1300			3,295462	27	-10,6201	13,46545
32	335	1330	96,0131		150,2813	28	-5,07732	25,3436
33	335	1400	19,91		117,1376	29	14,20143	-20,9431
34	335	1430	120,935	106,2776	17,24367	30	1,895148	-18,3071
35	335	1500	43,8341		-9,37154	31	-2,22746	-2,18684
36	335	1530	-4,03768		-5,8873	32	2,524726	-6,32797
37	335	1600	-1,74168		-4,29943	33	-1,75688	0,820974
38	335	1630	-5,87784		-2,86966	34	-5,21794	3,67748
39	335	1700	-123,062		26,7432	35	0,217269	-1,31091
40	335	1730	39,4077	-8,57957	142,2932	36	1,236737	-1,40859

No tempo em que foi realizado o estudo, houve falhas nos equipamentos, assim alguns dias ou meses tiveram ausência de dados, com isso os meses com maior ausência de dados foram descartados.

3.2.1 Séries de Fourier

Uma série temporal pode ser definida como um conjunto de observações de uma variável dispostas sequencialmente no tempo. Normalmente as séries temporais

são analisadas a partir de seus principais movimentos descritos como: tendência, ciclo, sazonalidade e variações aleatórias (OLIVEIRA & FAVERO, 2003).

A série de Fourier envolve representações de funções periódicas mais ou menos complexas em termos de funções simples, como $\sin x$ e $\cos x$. A análise de Fourier é uma das formas mais tradicionais para tratamento de sinais e séries temporais. Esta técnica foi criada por Jean Baptiste Joseph Fourier e publicada em 1822 no seu trabalho intitulado *Thèorie Analitique de la Chaleur*. Fourier dedicou-se na resolução das equações diferenciais que regem a transferência de calor utilizando uma técnica de séries de senos e cossenos (Série de Fourier) para resolver seus problemas (ARFKEN, 1977). A Série de Fourier é definida pela seguinte expressão:

$$f(x) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos nx + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \operatorname{sen} nx \dots\dots\dots \text{Equação 1}$$

Os coeficientes a_0 , a_n e b_n estão relacionados com as propriedades periódicas da função $f(x)$. A priori, não temos o interesse em aprofundar nas deduções de séries de Fourier, assim apresentaremos os coeficientes da função acima.

- a. A_0 corresponde ao valor médio dos dados micro-meteorológicos;
- b. A_n e B_n são coeficientes que satisfazem as seguintes relações:

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

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \operatorname{sen}(nt) dt \dots\dots\dots \text{Equação 3}$$

A condição imposta para a função $f(x)$, para a validade da equação 1, é que a função $f(x)$ deve ser contínua, embora seja possível obter representações satisfatórias no caso de funções descontínuas.

3.2.1.1 Vantagens da Utilização da Série de Fourier

- a. Função Descontínua:

A Série de Fourier tem a possibilidade de representação de uma série descontínua, na qual não precisa ter todos os dados da pesquisa para obter um resultado real.

b. Função Periódica

Há algumas propriedades de simetria importantes relacionadas à série de Fourier. Usando o intervalo $[-\pi, \pi]$, $\sin x$ é ímpar e $\cos x$ é uma função par de x . Pelas eq. 2 e 3, se $f(x)$ é constante, a_n será 0 se $f(x)$ for ímpar, todo $b_n = 0$. Ou seja

$$f(x) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos nx, \text{ par} \dots\dots\dots \text{Equação 4}$$

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin nx, \text{ ímpar} \dots\dots\dots \text{Equação 5}$$

Estas propriedades podem ser expandidas em uma dada função.

c. Mudança de intervalo

Nas equações acima, o intervalo de validade da função é de 0 a 2π . No caso deste trabalho, a variável x seria o tempo, assim 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, portanto, $2L$ corresponderia ao número de dados disponíveis), pode-se escrever:

$$f(x) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[A_n \cos \frac{n\pi x}{L} + B_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right] \dots\dots\dots \text{Equação 6}$$

com

$$A_n = \frac{1}{L} \int_0^{2L} f(t) \cos \frac{n\pi t}{L} dt, \quad n = 0,1,2,3 \dots\dots\dots \text{Equação 7}$$

$$B_n = \frac{1}{L} \int_0^{2L} f(t) \sin \frac{n\pi t}{L} dt, \quad n = 0,1,2,3 \dots\dots\dots \text{Equação 8}$$

substituindo a variável x das Eqs. 1, 2 e 3 pelo tempo. As equações 7 e 8 valem quando temos a expressão analítica de $f(t)$. No caso de dados experimentais, que são discretos, ou seja, temos um dado em cada tempo, os coeficientes A_n e B_n podem ser calculados por:

$$A_n = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^{2L} f_j \cos \frac{n\pi j}{L}, \dots\dots\dots \text{Equação 9}$$

$$B_n = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^{2L} f_j \text{sen} \frac{n\pi j}{L}, \dots\dots\dots \text{Equação 10}$$

Onde:

$n = 0, 1, 2, 3, \dots$

f_j = dados experimentais

L = metade da largura do intervalo de dados

O cálculo dos coeficientes A_n e B_n neste trabalho foi feito utilizando-se as equações 9 e 10. A análise feita através da Série de Fourier é um instrumento de investigação capaz de fornecer importantes informações sobre as dinâmicas das variáveis microclimatológicas desta pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da Série de Fourier foi realizada para cada mês de cada variável (Calor Sensível, Calor Latente e Temperatura), entre agosto de 1999 e dezembro de 2005. Primeiramente foram obtidos os valores de A_n e B_n conforme as equações 9 e 10 em seguida os gráficos das médias mensal (A_n e B_n), através dos gráficos foram achados os períodos principais.

O eixo vertical nos gráficos a seguir (fig. 12 a 17), representa os coeficientes A_n e B_n com que a série temporal correspondente aos dados que variam em cada frequência específica, dependendo do valor de n , no eixo horizontal dessas mesmas figuras, se n igual a 1 teremos os coeficientes A_1 e B_1 . Através dos gráficos, podem-se perceber características tanto comuns como distintas, em relação à posição dos picos e das lacunas de cada variável.

Os períodos foram calculados depois de encontrados os picos nos gráficos das médias mensais, exemplos destes picos estão encontrados nas figuras de 12 a 17. Foram calculados através da equação 11:

$$T = \frac{\Delta t}{n} \dots\dots\dots \text{Equação 11}$$

onde:

T = o período (em dias);

Δt = a quantidade de dias correspondente a cada série temporal analisada (como foram analisadas séries de um mês, Δt corresponde a aproximadamente 30);

n = a ordem do coeficiente correspondente ao pico.

Um exemplo do cálculo do período em relação ao Fluxo de Calor Latente, mostrado na figura 12, no qual se tem 4 picos (31;62;186;217) em 31 dias, para os seguintes A_{31} , A_{62} , A_{186} , A_{217} , obteve-se os valores -67,5; 28,3; 28,3 e -67,5. Para o

primeiro pico encontra-se o período de 1 dia pela equação 11, e os três próximos períodos têm o valor de 12 horas, 4 horas e 3,4 horas, respectivamente. Os valores destes períodos são encontrados para o A_n e B_n , conforme as tabelas 2, 3 e 4 apresentadas a seguir; sendo cada tabela para uma variável Calor Sensível, Calor Latente e Temperatura respectivamente.

Nas figuras 12, 14 e 16, pode perceber-se que cada pico tem um outro correspondente com o mesmo valor, para o coeficiente relacionado ao cosseno (A_n) os picos estão na mesma direção.

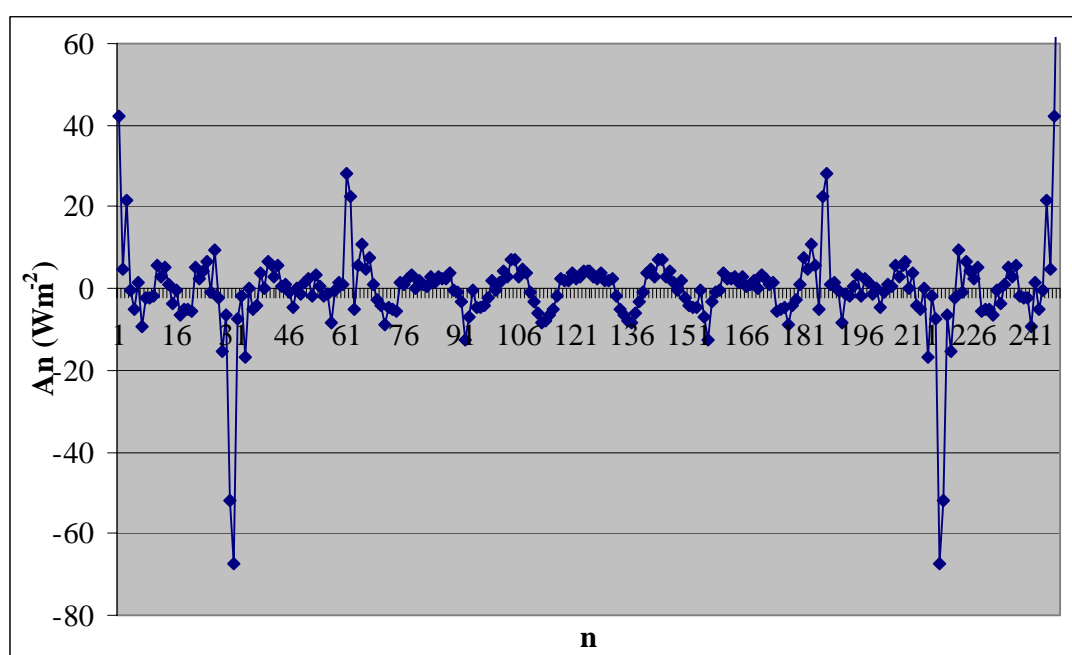


FIGURA 12: Valores de A_n , para o Fluxo do Calor Latente, em julho de 2002

Os picos do Fluxo de Calor Latente para os coeficientes A_n mostrados na figura 12, têm períodos de 1 dia, 12 horas, 4 horas e 3,4 horas, respectivamente.

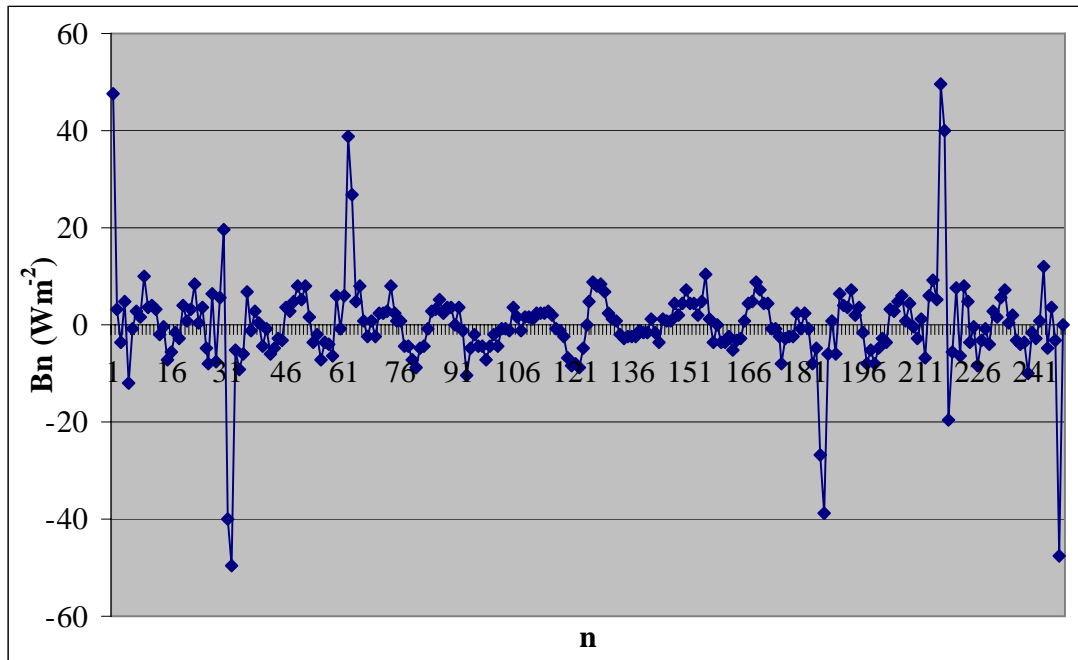


FIGURA 13: Valores de B_n , para o Fluxo do Calor Latente, em julho de 2002

Nas figuras 13, 15 e 17, cada pico tem um outro correspondente com o mesmo valor, porém em direções contrárias, haja vista que o coeficiente B_n , calcula-se através do seno.

Os picos do Fluxo de Calor Latente para o B_n , fig. 13, têm períodos de 1 dia, 12 horas, 4 horas e 3,4 horas, respectivamente.

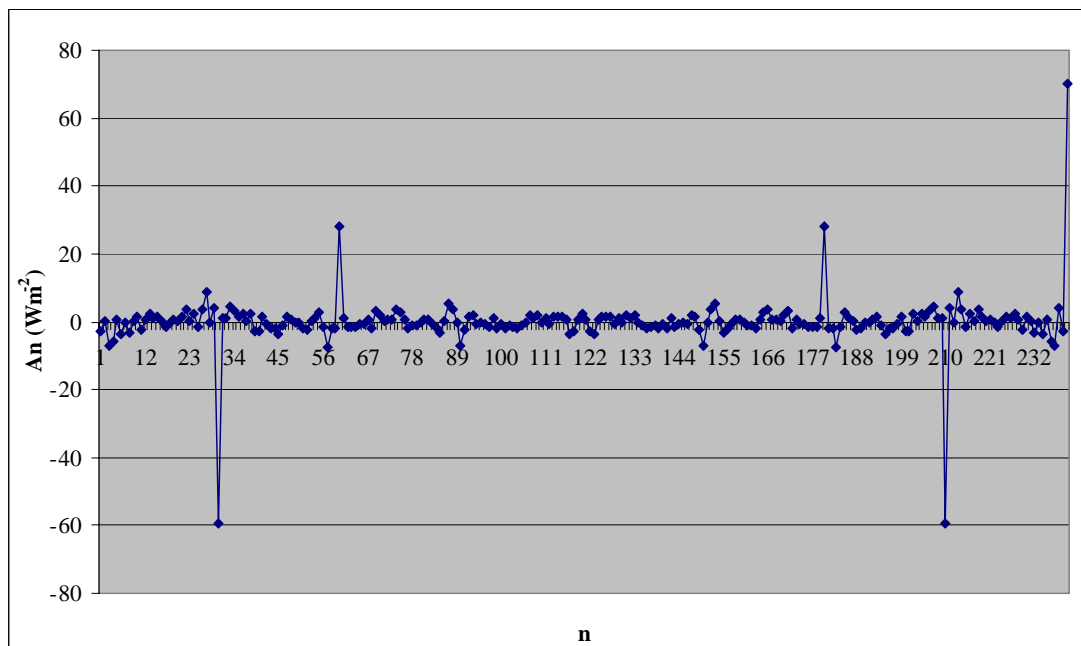


FIGURA 14: Valores de A_n , para o Fluxo do Calor Sensível, em abril de 2001

Os picos do Fluxo de Calor Sensível, encontrados para o coeficiente An , fig. 14, têm períodos de 1 dia, 12 horas, 4 horas e 3,4 horas, respectivamente.

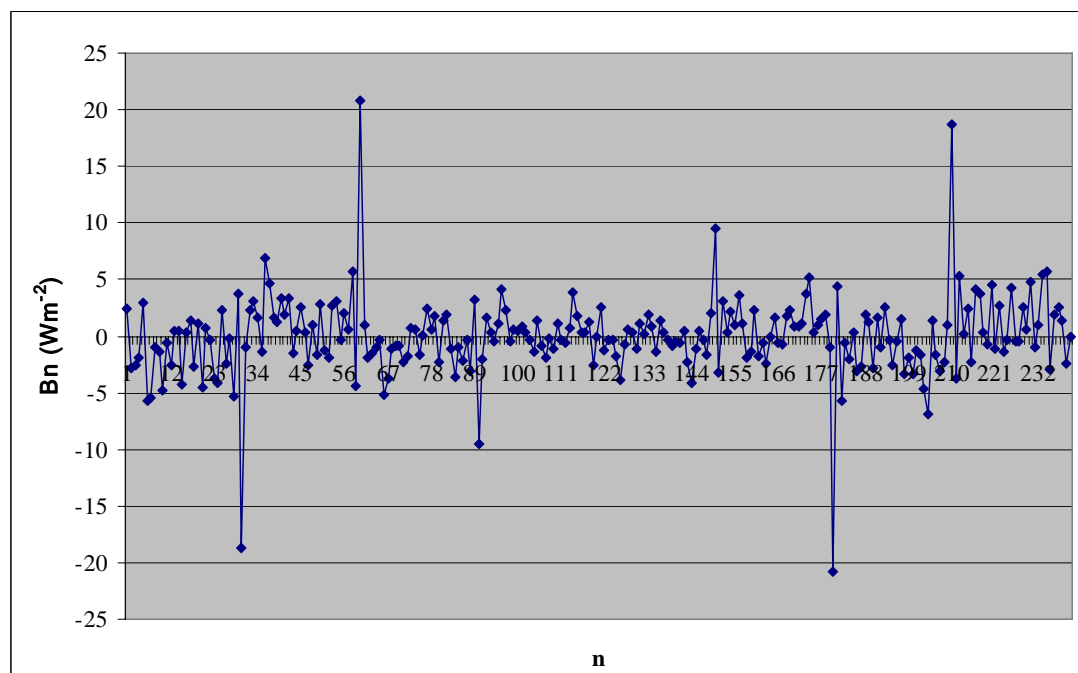


FIGURA 15: Valores de B_n , para o Fluxo do Calor Sensível, em abril de 2001

Na figura 15 referente ao fluxo de calor sensível, aparece mais dois picos 8 h e 4,96 h (os dois picos menores no centro do gráfico), além dos picos encontrados de 1 dia, 12 horas, 4 horas e 3,4 horas, causados por alguma influência que não afeta a temperatura e o fluxo de calor latente.

Numa análise de Fourier, cada pico deve representar um fenômeno diferente. Adiante será analisado o significado de cada um deles, mas fica mais ou menos evidente que o pico relacionado a 1 dia se refere ao ciclo diário com alternância de dias e noites, conseqüentemente fazendo com que os fluxos de calor tenham máximos que se repetem em ciclos de um dia.

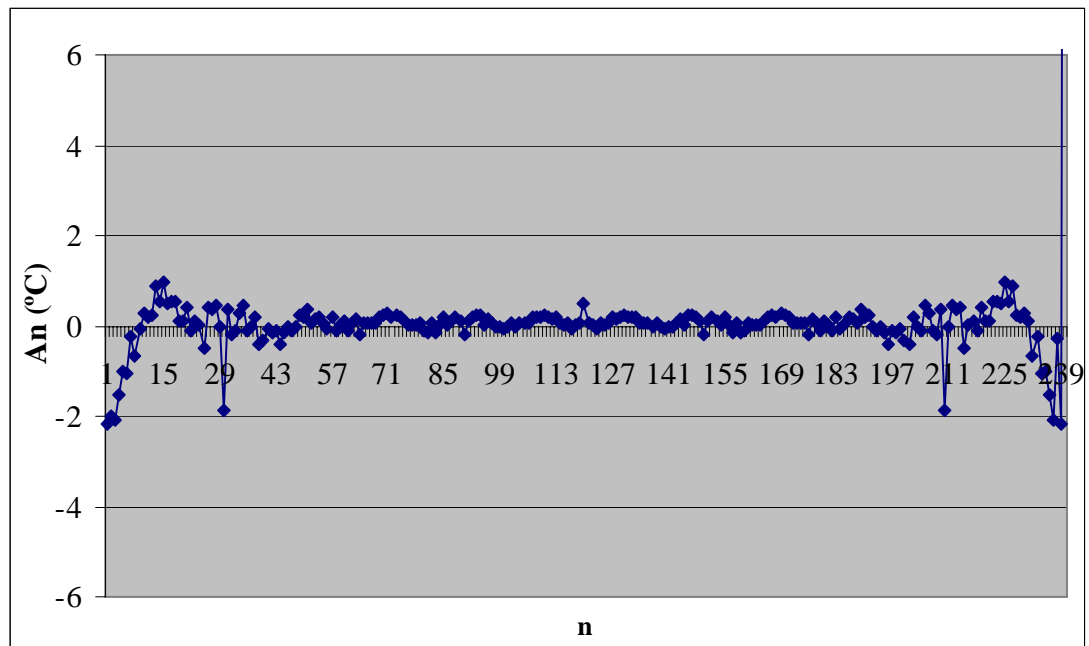


FIGURA 16: Valores de A_n , para a Temperatura, em abril de 2001

As características dos gráficos para temperatura (fig. 16 e 17) mostram 2 picos mais pronunciados para A_n e B_n com $n = 30$ e 210 . Calculando o período, se tem os valores correspondentes a 1 d e 3,4 h, respectivamente.

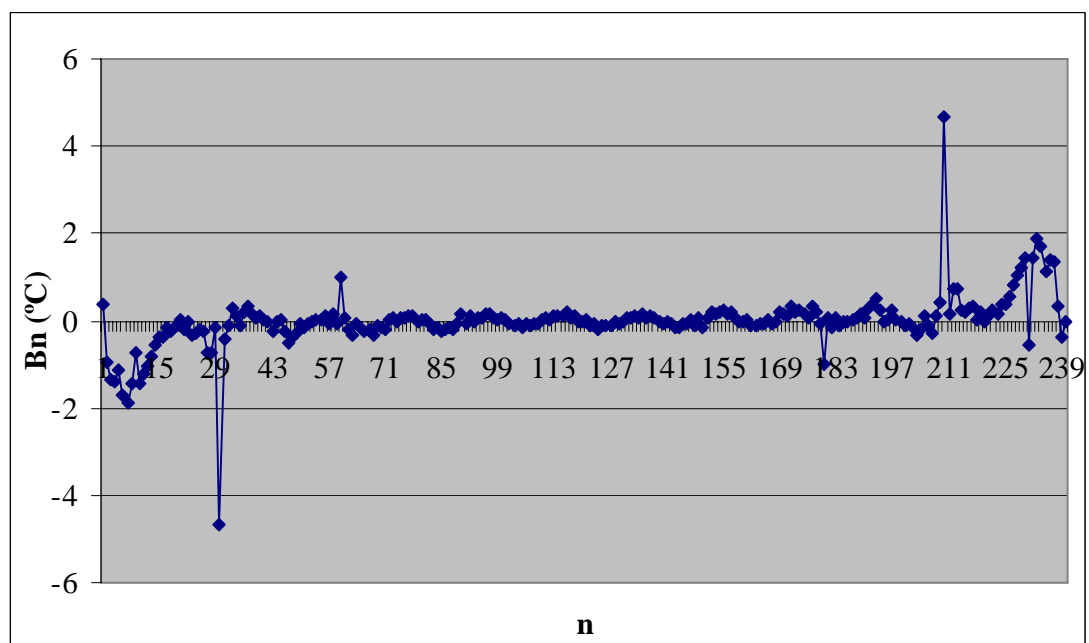


FIGURA 17: Valores de B_n , para a Temperatura, em abril de 2001

Para B_n , fig. 17 tem-se outros dois picos em $n = 60$ e 180 correspondendo a 12h e 4h, além dos picos encontrados para o A_n de 1 d e 3,4 h.

Os picos encontrados foram demonstrados através das tabelas de 2 a 4, Para o Calor Sensível (tab.2) obteve-se em torno de 4 picos para o An, sendo nos períodos de 1 d, 12 h , 4 h e 3,4 h. Já para o Bn aparecem dois novos picos, no período de 9,8 h e 4,96 h.

TABELA 2: Valores dos períodos, para o fluxo de Calor Sensível, em relação ao An e Bn entre agosto de 1999 a dezembro de 2005

CALOR SENSÍVEL												
Mês	t (d)	n° dados	An / Período	An / Período	An / Período	An / Período	Bn / Período	Bn / Período	Bn / Período	Bn / Período	Bn / Período	Bn / Período
ago/99	18,25	132	-46,6/ 1,12d	23,9/12h	27,6/ 4,38h	-48,6/3,4h	-55,6/ 1,12d	28,6/12h			-28,6/ 4h	55,6/3,4h
set/99	30	240	-34,3/ 1d	13,6/12h	13,6/ 4h	-34,3/3,4h	-18,9/ 1 d	16,7/12h			-16,7/ 4h	18,9/3,4h
out/99	31	248	-51,1/1d			-51,1/3,4d	-39,6/ 1d	46,8/ 12h			-46,8 /4h	39,6/ 3,4h
jan/01	31	248	-42,3/ 1d	13,96/ 12h	13,96 /4h	-42,3/ 3,4h	-15,01/ 1d	14,9/ 12h			-14,9 /4h	15,01/ 3,4h
fev/01	29	232	-69,2/ 1d	29,44/ 12h	29,44 /4h	-69,2/ 3,4h	-27,19/ 1d	25,15/ 12h			-25,15 /4h	27,19/ 3,4h
mar/01	30	240	-60/ 1d	24,8/ 12h	24,8 /4h	60/ 3,4h	-24,7/ 1d	26,6/ 12h	-10,9/8h	10,9 /4,96h	-26,6 /4h	24,7/ 3,4h
abr/01	30	240	-59,3/ 1d	26,4/ 12h	26,4 /4h	-59,3/ 3,4h	-18,6/ 1d	20,7/ 12h	-9,55/8h	9,55 /4,96h	-20,7 /4h	18,6/ 3,4h
mai/01	31	248	-50,2/ 1d	26,4/ 12h	26,4 /4h	-50,2/ 3,4h	-14,9/ 1d	16,4/ 12h	-8,6/8h	8,6/4,96h	-16,4 /4h	14,9/ 3,4h
jun/02	30	240	-29,2/ 1d	15,11/ 12h	15,11 /4h	-29,2/ 3,4h	-13,06/ 1d	16,5/ 12h	-9,8/8h	9,8 /4,96h	-16,5 /4h	13,06/ 3,4h
jul/02	31	248	-24,2/ 1d	13/ 12h	13 /4h	-24,2/ 3,4h	-15,3/ 1d	10,5/ 12h	-6,3/8h	6,3 /4,96h	-10,5 /4h	-15,3/ 3,4h
ago/02	29,7	238	-18,8/ 1d	16,4/ 12h	16,4 /4h	-18,8/ 3,4h	-30,8/ 1d	12,9/ 12h	-6,6/8h	6,6 /4,96h	-12,9 /4h	30,8/ 3,4h
fev/03	20,5	164	-22,7/ 1d	27,7/ 12h	27,7 /4h	22,7/ 3,4h	-38,3/ 1d	21,3/ 12h	-7,8/8h	7,8 /4,96h	-21,3 /4h	38,3/ 3,4h
abr/05	29,5	238	-20,1/ 1d			-20,1/ 3,4h	-21,7/ 1d	22,7/ 12h			-22,7 /4h	21,7/ 3,4h
mai/05	25,5	204	-12,9/ 1d	22,3/ 12h	-12,9 /4h	22,3/ 3,4h	-32,3/ 1d	19,6/ 12h	-6,9/8h	6,9 /4,96h	-19,6/4h	32,3/ 3,4h
jul/05	22,05	176	53/ 1d	24/ 12h	53 /4,8h	24/ 4h	27,1/ 1d	29,4/ 12h	14,6/8h	-14,6 /4,81h	-29,4 /4 h	-27,1/ 4h
out/05	31	248	-54,12/ 1d	28,15/ 12h	28,15 /4h	-54,12/ 3,4h	-15,3/ 1d	17,3/ 12h	-10,9/8h	10,9 /4,96h	-17,3 /4h	15,3/ 3,4h
nov/05	30	240	-44,3/ 1d	17,6/ 12h	17,6 /4h	-44,3/ 3,4h	-12,9/ 1d	13,7/ 12h			-13,7 /4h	12,9/ 3,4h
dez/05	28,45	228	14,2/ 1d	16/ 12h	16 /4h	14,2/ 3,4h	-20,9/ 1d	13,6/ 12h			-13,6 /4h	20,9/ 3,4h

TABELA 3: Valores dos períodos, para o fluxo de Calor Latente, em relação ao An e Bn entre agosto de 1999 a dezembro de 2005

CALOR LATENTE												
Mês	t (d)	n° dados	An / Período	An / Período	An / Período	An / Período	Bn / Período	Bn / Período	Bn / Período	Bn / Período	Bn / Período	Bn / Período
ago/99	18,25	132	52,01/1,12d	-21,9/12h	99/ 4,38h	52,01/ 4h	28,3/1,12d	-13,4/12h		13,4/ 4,38h	-28,3/ 4h	
set/99	30	240	-41,3/ 1d	22,4/ 12h	22,4/4h	-41,3/3,4h	28,3/ 1d	-15,3/ 12h			15,3/ 4h	28,3/ 3,4h
out/99	31	248	-82,4/ 1d	62/ 12h	186 /4h	-82,4/3,4h	-40,2/ 1d	30,2/ 12h			-30,2 /4h	40,2/ 3,4h
jan/01	31	248	-81,4/ 1d			-81,4/3,4h	-52,9/ 1d	35,4/ 12h			-35,4/4h	52,9/ 3,4h
fev/01	29	232	-132,4/ 1d	35/ 12h	35 /4h	-132,4/3,4h	-81,2/ 1d	63/ 12h			-63 /4h	81,2/ 3,4h
mar/01	30	240	-126/ 1d	35,8/ 12h	35,8 /4h	-126/ 3,4h	-78,6/ 1d	61,5/ 12h	-15,3/8h	15,3 /4,96h	-61,5 /4h	78,6/ 3,4h
abr/01	30	240	-161,8/ 1d	49,9/ 12h	49,9 /4h	-161,8/3,4h	-13,3/ 1d	13,7/ 12h			-13,7 /4h	13,3/ 3,4h
mai/01	31	248	-101,8/ 1d	37,4/ 12h	37,4 /4h	-101,8/3,4h	-52,2/ 1d	50,5/ 12h	-19,7/8h	19,7 /4,96h	-50,5 /4h	52,2/ 3,4h
jun/02	30	240	-93,2/ 1d	26,4/ 12h	26,4 /4h	-93,2/3,4h	-59,8/ 1d	55,6/ 12h	-18,2/8h	18,2 /4,96h	-55,6 /4h	59,8/ 3,4h
jul/02	31	248	-67,5/ 1d	28,3/ 12h	28,3 /4h	-67,5/ 3,4h	-49,6/ 1d	38,6/ 12h			-38,6 /4h	49,6/ 3,4h
ago/02	29,7	238	-47,9/ 1d	45,8/ 12h	45,8 /4h	-47,9/3,4h	-104,4/ 1d	42,8/ 12h			-42,8 /4h	104,4/ 3,4h
abr/05	29,5	238	-72,2/ 1d	-26,4/12h	-26,4/3,93h	-72,2/ 3,35h	-41,4/ 1d	40,4/ 12h	15,7/8h	-15,7/4,96h	-40,4 /4h	41,4/ 3,4h
mai/05	25,5	204	-67,9/ 1d	18,9/ 12h	18,9 /4h	-67,9/ 3,4h	-78,9/ 1d	66,6/ 12h			-66,6 /4h	78,9/ 3,4h
out/05	31	248	-104,7/ 1d	38,8/ 12h	38,8 /4h	104,7/ 3,4h	-15,3/ 1d	17,3/ 12h	-10,9/8h	10,9/4,96h	-17,3 /4h	15,3/ 3,4h
nov/05	30	240	-79,5/ 1d	29,4/ 12h	29,4 /4h	-79,5/ 3,4h	-54,3/ 1d	28,8/ 12h			-28,8 /4h	54,3/ 3,4h
dez/05	28,45	228	52/ 1d	-21,9/12h	-21,9 /4h	52/ 3,4h	55,3/ 1d	41,8/ 12h			-41,8 /4h	55,3/ 3,4h

TABELA 4: Valores dos períodos, para a Temperatura, em relação ao An e Bn entre agosto de 1999 a dezembro de 2005

TEMPERATURA										
Mês	t (d)	n° dados	An / Período	An / Período	An / Período	An / Período	Bn / Período	Bn / Período	Bn / Período	Bn / Período
ago/99	18,25	132					-29,9/ 1,12d	-26,6/ 12h	26,6/ 4,38h	29,9 /4h
set/99	30	240	-1,35/ 1d			-1,35/ 3,4h	-2,01/ 1d			2,01/ 3,4h
out/99	31	248	-82,4/ 1d	30,9/ 12h	30,9/4h	-40,2/ 3,4h	-40,3/ 1d	30,2/ 12h	-30,2 /4h	40,3/ 3,4h
jan/01	31	248	-2,16/ 1d			-2,16/ 3,4h	-2,7/ 1d			2,7/ 3,4h
fev/01	29	232	-1,67/ 1d			-1,67/ 3,4h	-3,4/ 1d	1,02/ 12h	-1,02 /4h	3,4/ 3,4h
mar/01	30	240					-4,7/ 1d			4,7/ 3,4h
abr/01	30	240	-1,9/ 1d			-1,9/ 3,4h	-4,7/ 1d	1,01/ 12h	-1,01/4h	4,7/ 3,4h
mai/01	31	248	-2,06/ 1d			-2,06/ 3,4h	-4,1/ 1d	1,24/ 12h	-1,24 /4h	4,1/ 3,4h
jun/02	30	240	-1,37/ 1d			-1,37/ 3,4h	-5,5/ 1d	1,09/ 12h	-1,09 /4h	5,5/ 3,4h
jul/02	31	248	-2,8/ 1d			-2,8/ 3,4h	-4,3/ 1d			4,3/ 3,4h
ago/02	29,7	238	3,6/ 1d	1,45/ 12h	1,45 /4h	3,6/ 3,4h	-7,23/ 1d			-7,23/ 3,4h
dez/02	31	248					-3,4/ 1d	2,06/ 12h	-2,06 /4h	3,4/ 3,4h
fev/03	20,5	164	-2,8/ 1d			-2,8/3,4h	-1,95/ 1d	1,4/1d	-1,4/4h	1,95/ 3,4h
set/03	30	240	-1,6/ 1d			-1,6/ 3,4h	-5,3/ 1d	1,06/ 12h	-1,06 /4h	5,3/ 3,4h
abr/05	29,5	238	-1,7/ 1d			-1,7/ 3,4h	-1,09/ 1d			1,09/ 3,4h
mai/05	25,5	204	-2,8/ 1d			-2,8/3,4h	1,06/ 1d	1,03/ 12h	-1,03/4h	-1,06/ 3,4h
set/05	15,5	124	-3,06/ 1d	-1,12/ 12h	-1,12 /4h	-3,06/ 3,4h	2,4/ 1d			-2,4/ 4h
out/05	31	248	-1,7/ 1d			-1,7/ 3,4h	-4,15/ 1d	-1/ 12h	1 /4h	4,15/ 3,4h
nov/05	30	240	-2,5/ 1d			-2,5/ 3,4h	-1,5/ 1d			1,5/ 3,4h
dez/05	28,45	228	1,4/ 1d			1,4/ 3,4h	-0,7/ 1d	0,6/ 12h	-0,6 /4h	0,7/ 3,4h

Na tabela 3, correspondente ao fluxo de calor latente, os períodos predominantes correspondem a 1 d, 12 h, 4 h e 3,4 h, tanto para o An como para o Bn. Em cinco meses apareceram picos para Bn correspondentes a 8h e 4,96h.

Para a temperatura, tabela 4, encontraram-se menos períodos, no An a incidência maior de picos foi nos períodos de 1 d e 3,4 h. No Bn existem também períodos de 12h e 4h.

Alguns meses não foram possíveis a sua utilização devido à ausência de freqüências dominantes conforme figuras 20 e 21 a seguir, referentes a setembro de 2003. Em outros meses apesar de conter oscilações, foi possível observar picos, exemplo figuras 18 e 19, referentes ao mês de setembro para o fluxo de calor latente.

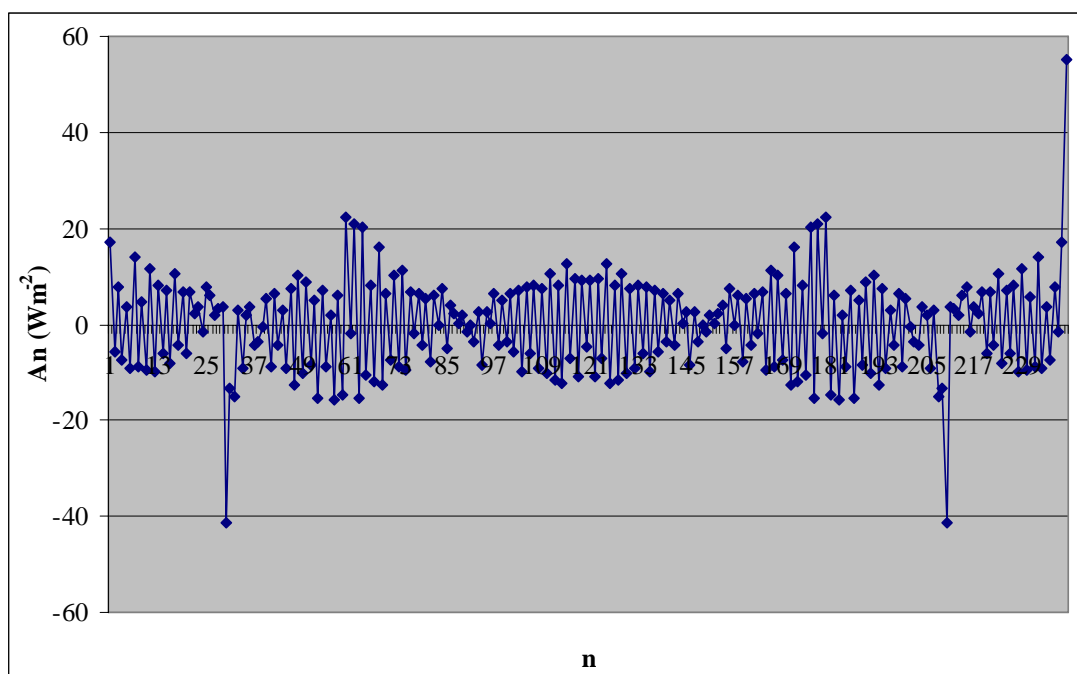


FIGURA 18: Ruídos encontrados para o fluxo de Calor Latente, em setembro de 1999

Em alguns casos, como nas figuras 18 e 19, tem-se ruído, oscilações constantes, porém consegue-se visualizar alguns picos. Na figura 18 encontram-se os períodos determinantes em 1 d, 12 h, 4 h e 3,4 h para o coeficiente An, do fluxo de calor latente para o mês de setembro de 1999.

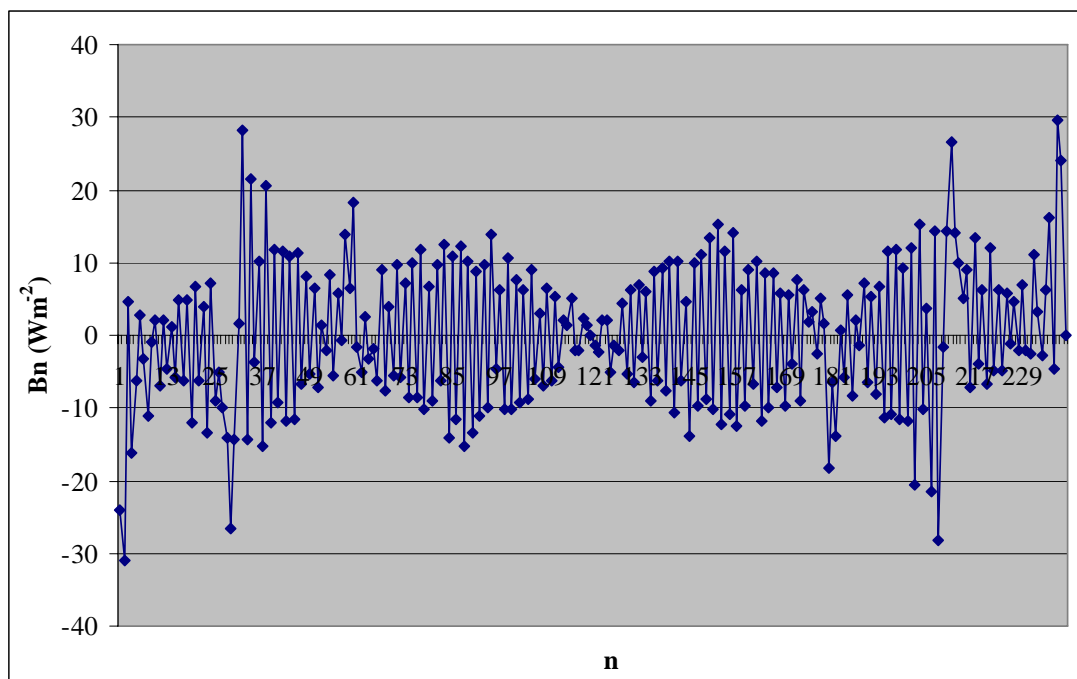


FIGURA 19: Ruídos encontrados para o fluxo de Calor Latente, em setembro de 1999

O coeficiente B_n , figura 19, tem mais ruído que o A_n , figura 18, mesmo assim foram encontrados os mesmos períodos dominantes que A_n . Neste caso o mês de setembro de 1999 contém todos os dados, os ruídos podem ter acontecido por alguma falha durante horas ou dias no equipamento.

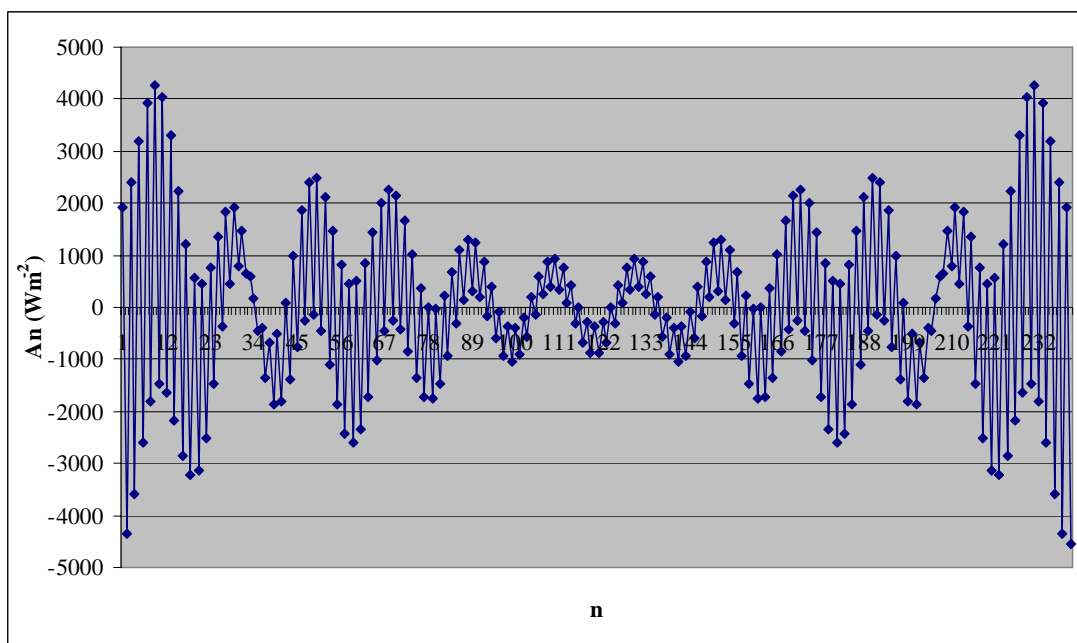


FIGURA 20: Ruídos encontrados para o fluxo de Calor Sensível, em setembro de 2003

Nas figuras 20 e 21 os valores dos coeficientes estão muito altos, acima de 500 Wm^{-2} , pode ser um defeito nos aparelhos durante todo o mês, pois nos meses de agosto e setembro de 2003 apesar de ter todos os dados, os valores encontrados foram muito altos tanto para o fluxo de Calor Sensível quanto para o fluxo de Calor Latente.

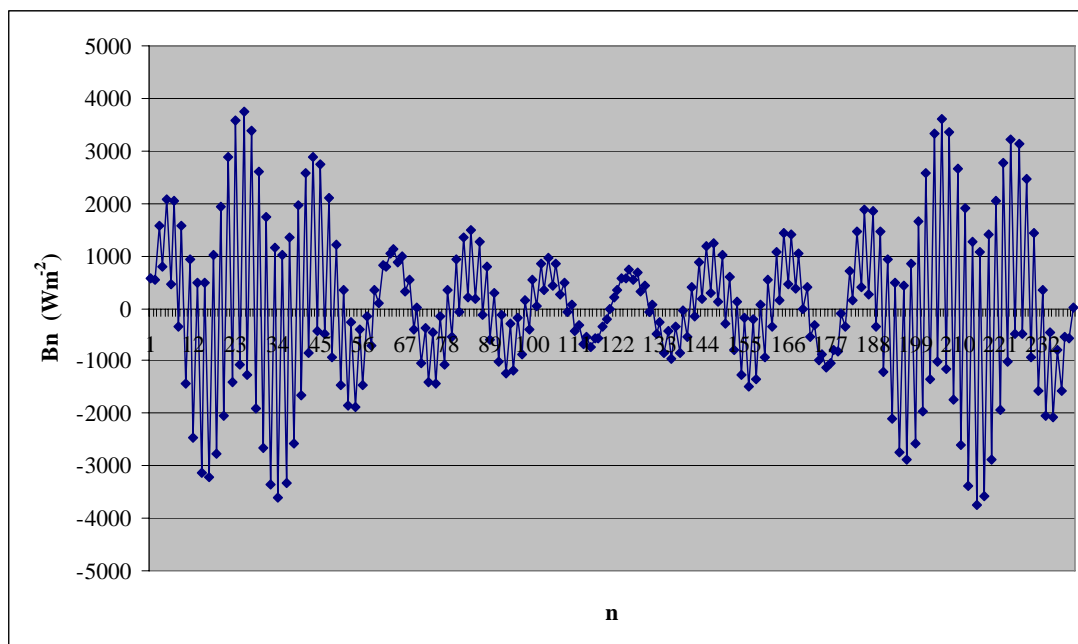


FIGURA 21: Ruídos encontrados para o fluxo de Calor Sensível, em setembro de 2003

Nas figuras 22 a 24 fez-se uma comparação entre a análise de Fourier Teórica e os dados experimentais. A análise de Fourier teórica foi encontrada a partir da equação 6, considerando-se apenas os termos correspondentes aos coeficientes presentes nas tabelas 2 a 4. Os dados experimentais foram reproduzidos através das médias das variáveis.

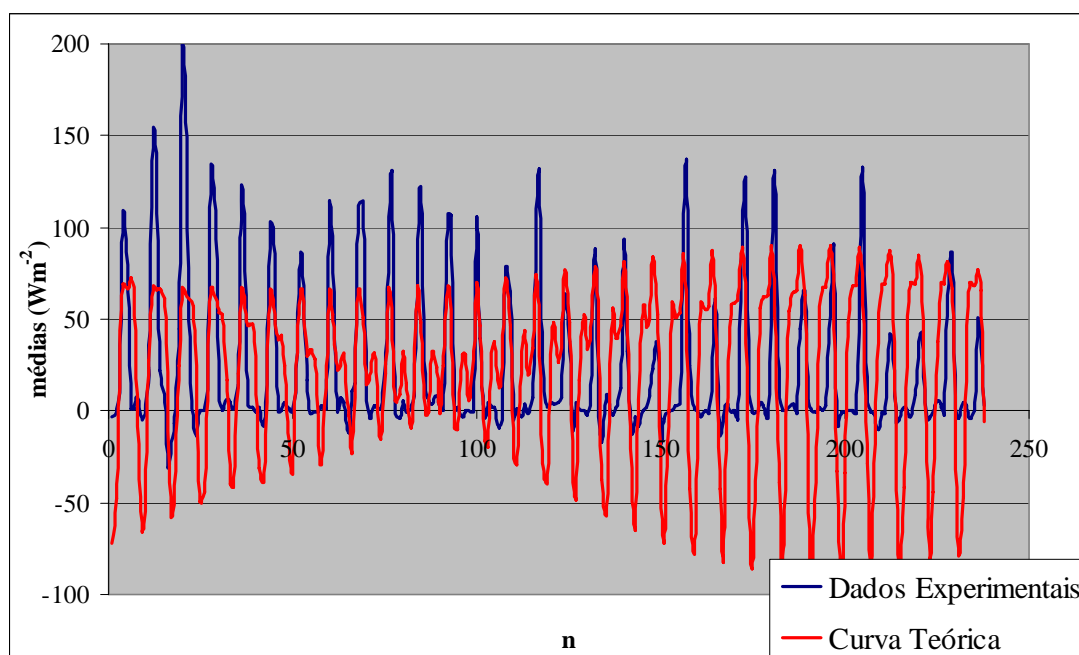


FIGURA 22: Comparação entre Análise de Fourier dos dados Experimentais e a Curva Teórica para o Fluxo de Calor Sensível em agosto de 2002

Pode-se observar que, apesar de não haver uma coincidência exata entre a série de Fourier considerada e os dados experimentais, há uma reprodução dos períodos envolvidos, pois as variações entre as duas curvas da figura 22 (bem como das 23 e 24) são coincidentes.

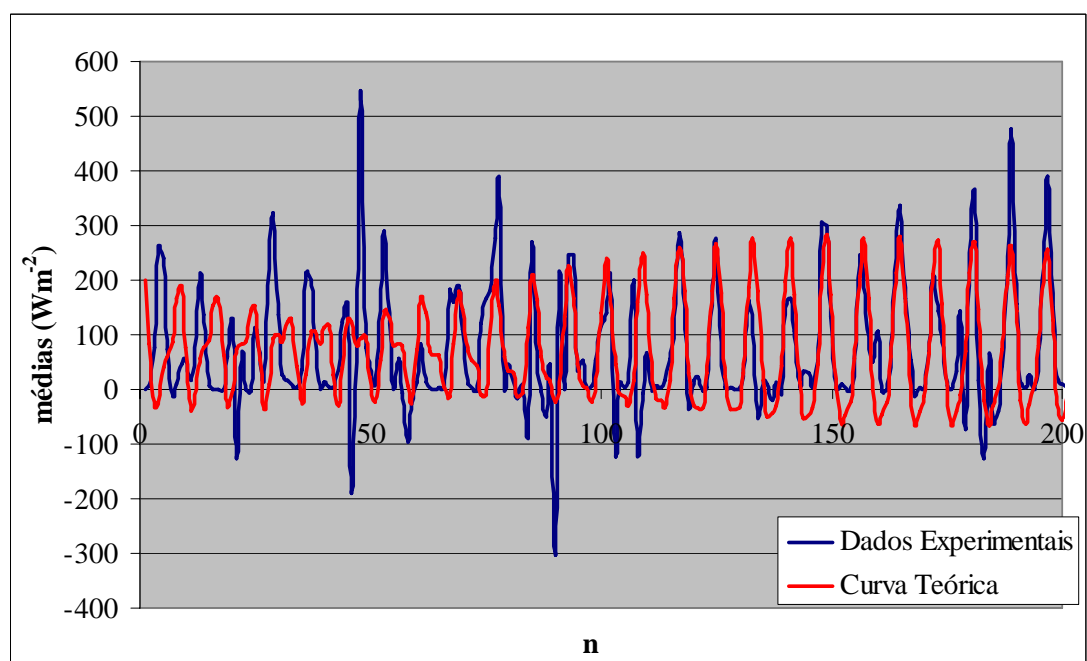


FIGURA 23: Comparação entre Análise de Fourier dos dados Experimentais e a Curva Teórica para o Fluxo de Calor Latente em dezembro de 2005

Na figura 23 pode-se notar uma reprodução dos períodos envolvidos entre a série de Fourier considerada e os dados experimentais.

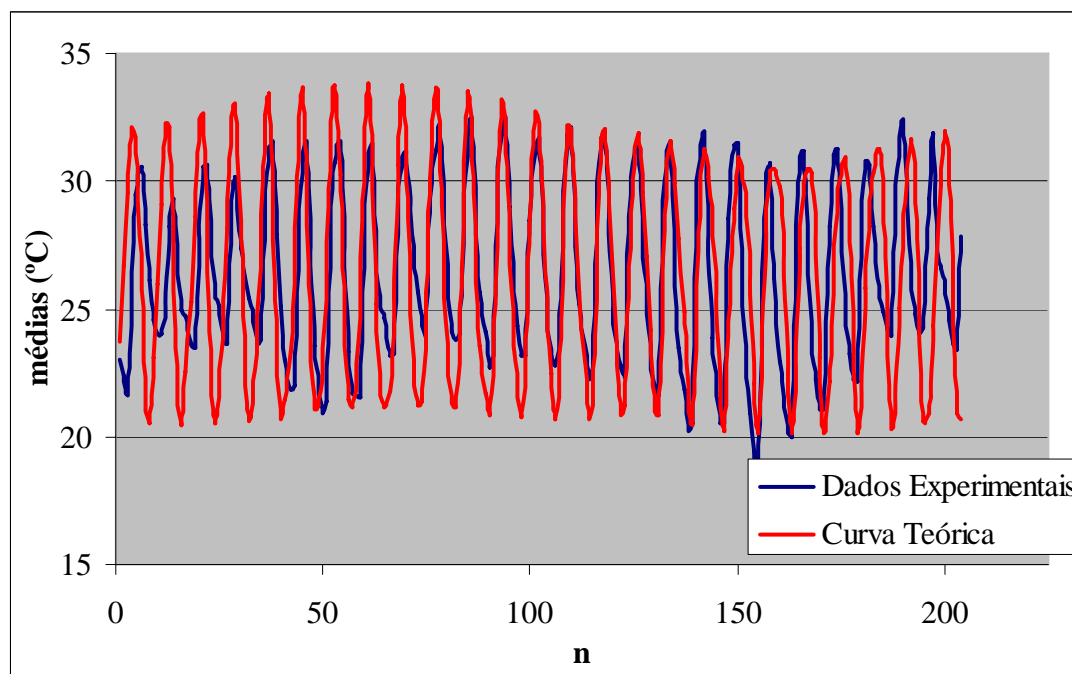


FIGURA 24: Comparação entre Análise de Fourier dos dados Experimentais e a Curva Teórica para a Temperatura em maio de 2005

A reprodução dos períodos envolvidos observados nas figs. 22, 23 e 24, na comparação entre a análise de Fourier Teórica e os dados experimentais significam que os valores obtidos para A_n e B_n são representativos dos valores reais das variáveis.

4.1 EXPLICAÇÃO TEÓRICA DE CADA COEFICIENTE

Para formular uma explicação física para cada frequência dominante encontrada, nas figuras 25 a 27 são mostrados os comportamentos de alguns dos termos da série de Fourier correspondente aos dados no período de um dia (24 horas), utilizando-se os valores dos coeficientes relativos ao fluxo de calor latente para julho de 2002. Os termos são os picos determinantes, demonstrados na tabela 3 os seus períodos correspondentes, calculados pela equação 9.

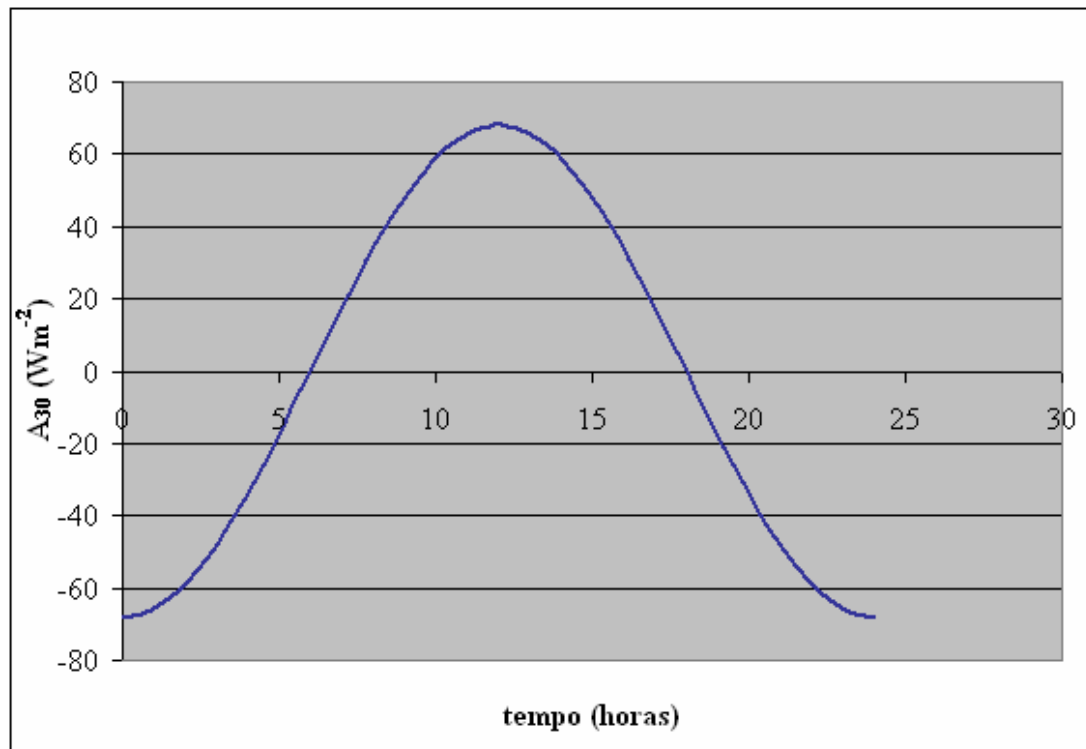


FIGURA 25: Comportamento do termo A_{30} da Série de Fourier

A figura 25, referente ao termo correspondente a $A_{30} \left(A_{30} \cos\left(\frac{30\pi t}{L}\right) \right)$ - este termo se refere a ordem de A_n é 30 que equivale ao período de 24 h, mostra que o valor das variáveis microclimatológicas têm maior valor na metade do dia. Como é conhecido que os valores de temperatura e fluxos de calor são máximos (genericamente falando) quando a radiação líquida incidente é máxima, segue-se que o comportamento desse termo deve-se ao ciclo diário da incidência de radiação solar, ou seja, o período de 24 horas deve-se à radiação solar.

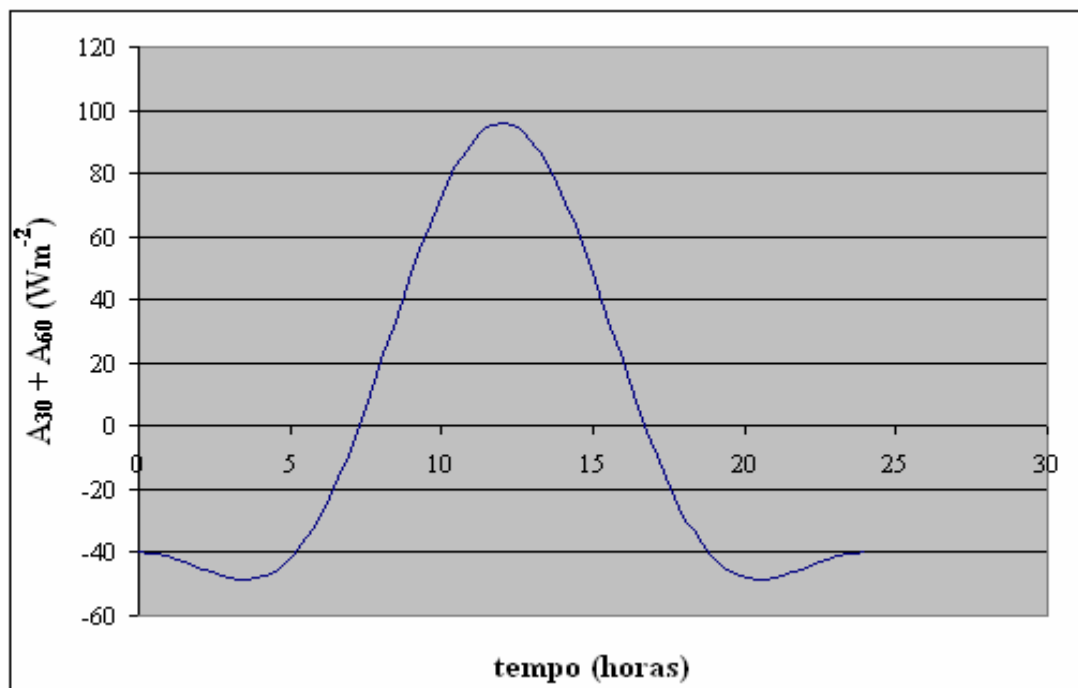


FIGURA 26: Comportamento da soma dos termos A_{30} e A_{60} da Série de Fourier

Já na figura 26 é mostrada a soma dos termos correspondentes a A_{30} e A_{60} $\left(A_{30} \cos\left(\frac{30\pi t}{L}\right) + A_{60} \cos\left(\frac{60\pi t}{L}\right) \right)$ - períodos de 24 e 12 horas, picos dominantes.

Pode-se notar que, com a introdução do termo A_{60} , o valor da curva fica ainda mais pronunciado durante o meio do dia e mais próximo de zero à noite. Assim sendo, o período de 12 h, na análise de Fourier, pode ser atribuído à tendência da série em reproduzir o fato de que os fluxos de calor são próximos de zero à noite (ou a temperatura menor à noite que ao dia), ou seja, existe uma assimetria nos valores das variáveis com a relação simétrica dos senos e cossenos (os dados apresentam um pico positivo durante o dia, mas não apresentam um pico negativo acentuado durante a noite).

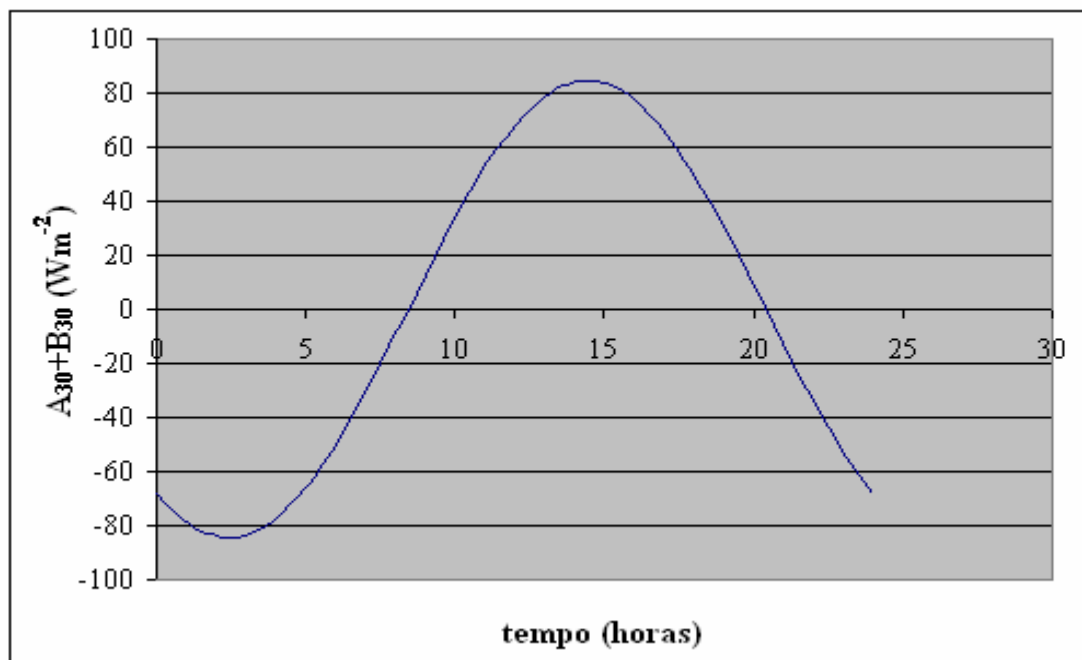


FIGURA 27: Comportamento das somas dos termos A_{30} e B_{30} da Série de Fourier

Já uma explicação física para os coeficientes B_n pode ser obtida se somarmos os termos correspondentes aos coeficientes A_{30} e B_{30}

$\left(A_{30} \cos\left(\frac{30\pi t}{L}\right) + B_{30} \sin\left(\frac{30\pi t}{L}\right) \right)$ - soma dos coeficientes de A_n e B_n para o pico de

24 h, como na figura 27. Pode-se observar um deslocamento para a direita em relação à figura 25. Com isso, no caso de L_e , por exemplo, pode-se afirmar que existe uma tendência de que o fluxo do calor latente na segunda metade do dia (das 12 às 18h) seja um pouco maior que na primeira metade do dia (das 7 às 12h). Possivelmente, isso se deve à dinâmica de abertura dos estômatos. Vários fatores como água, luz, CO_2 e temperatura influenciam o mecanismo estomático de abertura e fechamento. As plantas precisam abrir os estômatos para absorção de CO_2 para a realização da fotossíntese, mas também necessitam fechá-los para evitar a perda de água. A regulação temporal da abertura estomática funciona da seguinte maneira, à noite quando não há fotossíntese a abertura estomática fica pequena, nas manhãs ensolaradas com água abundante e quando a radiação solar incidente na folha favorecendo altas taxas de fotossíntese, a demanda por CO_2 dentro da folha é alta e por isso o poro estomático permanece amplamente aberto. Por volta do meio-dia os

estômatos diminuem sua abertura pelas células guardas, por causa do aumento de radiação líquida incidente.

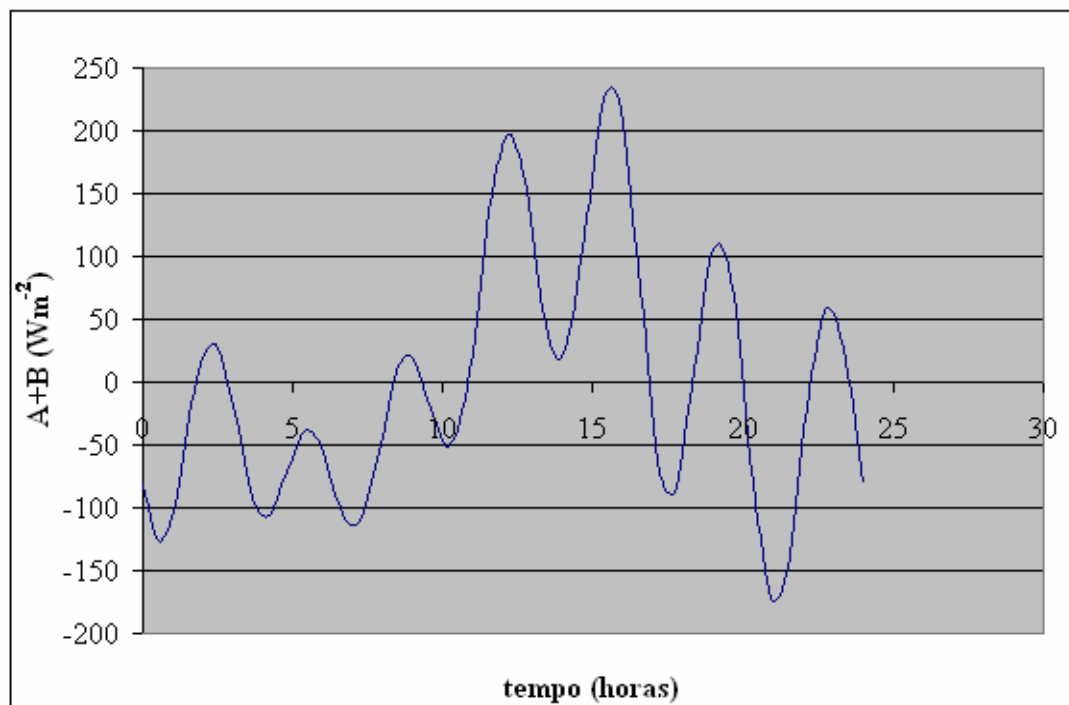


FIGURA 28: Comportamento da soma de todos os termos significativos da Série de Fourier

A figura 28, por sua vez, foi produzida através da soma de todos os termos significativos da série de Fourier (correspondente aos coeficientes A_n e B_n com períodos de 24; 12; 4 e 3,4 horas), durante um dia. De acordo com o perfil do gráfico, o fluxo do calor latente durante a noite tende a ser próximo de zero e diferente de zero durante o dia. Os “zig-zags” do gráfico devem-se ao fato de que a série de Fourier, conforme já comentado, por se basear em senos e cossenos, não consegue reproduzir, com um pequeno número de termos, a constância do valor de L_e durante a noite (L_e , à noite, seria representado por uma função constante e nula). Ainda segundo o perfil do gráfico, durante o dia, entre os horários das 10h00 às 17h00, há dois picos para o valor do fluxo de calor latente, separados por um período de menor valor por volta das 14h00. Tal comportamento pode ser também atribuído à dinâmica de abertura e fechamento dos estômatos. Os estômatos das plantas tendem a se abrir, para absorver o CO_2 , mas, justamente por estarem abertos, fazem com que as folhas tendam a perder água. Quando a atmosfera contém pequena quantidade de vapor

d'água (baixa umidade), pode haver alta taxa de perda de água (o que pode acontecer no meio do dia). Nessas condições, os estômatos tendem a se fechar para evitar a desidratação da folha. Como esse perfil do gráfico se deve à adição dos termos correspondentes a 4 e 3,4 horas, pode-se explicar esses períodos como decorrência da dinâmica estomatal. Caso isso se confirme, com resultados adicionais de outras pesquisas, a dinâmica estomatal se coloca como o segundo fator mais importante (após a radiação solar) no comportamento das variáveis microclimáticas numa escala de tempo de um dia.

A influência da dinâmica estomatal sobre o fluxo de calor latente (e sua relação com as frequências correspondentes a períodos em torno de 3 e 4 horas) pode ser compreendida se o perfil de Le ao longo do dia é analisado.

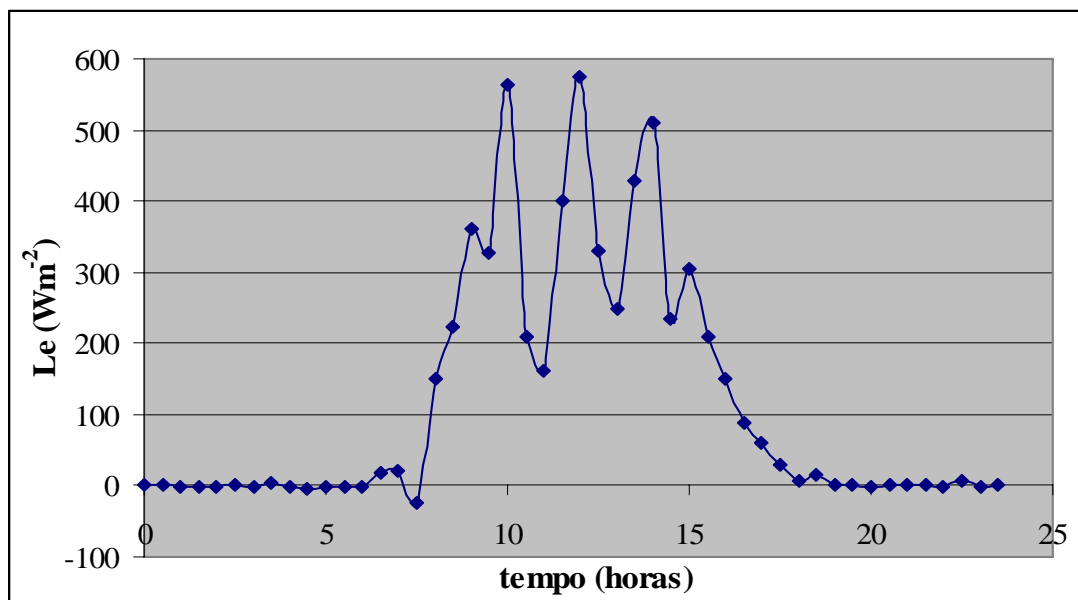


FIGURA 29: Fluxo de calor latente em função do tempo no dia juliano 94 (abril) de 2001

Conforme as figuras 29, 30 e 31, correspondentes a dados experimentais do fluxo de calor latente nos dias 4 de abril de 2001, 05 de junho de 2002 e 2 de julho de 2002, respectivamente, o perfil de Le durante o dia apresenta variações com subidas e descidas compatíveis com os períodos entre 3 e 4 horas (7 a 9×10^{-5} Hz), ou seja, a variação temporal de Le durante o dia não é suave.

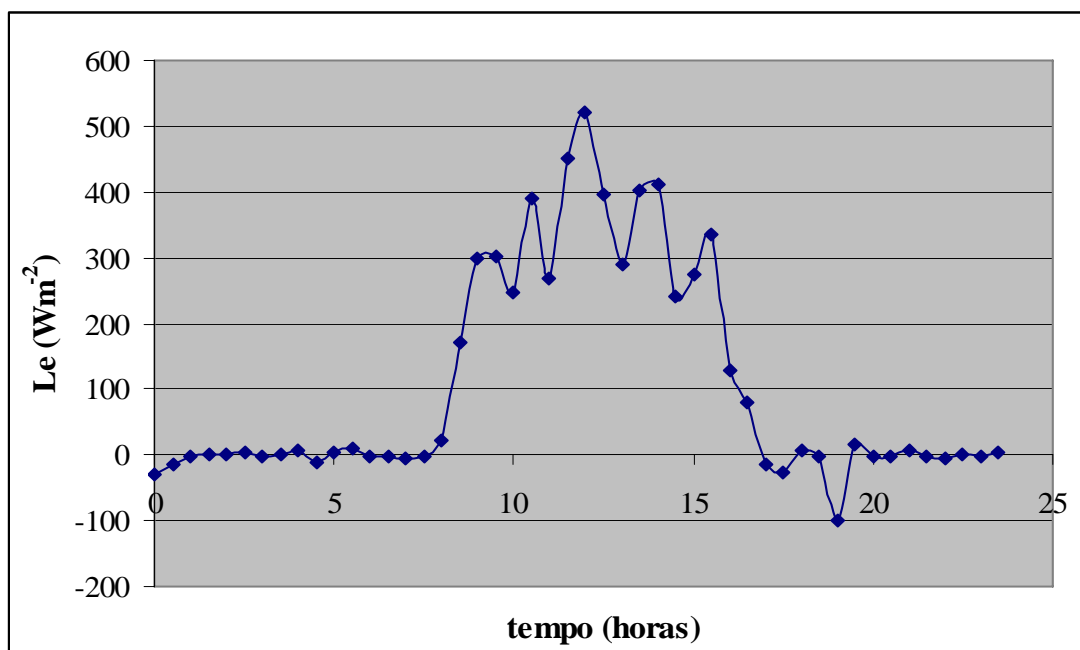


FIGURA 30: Fluxo de calor latente em função do tempo no dia juliano 156 (junho) de 2002

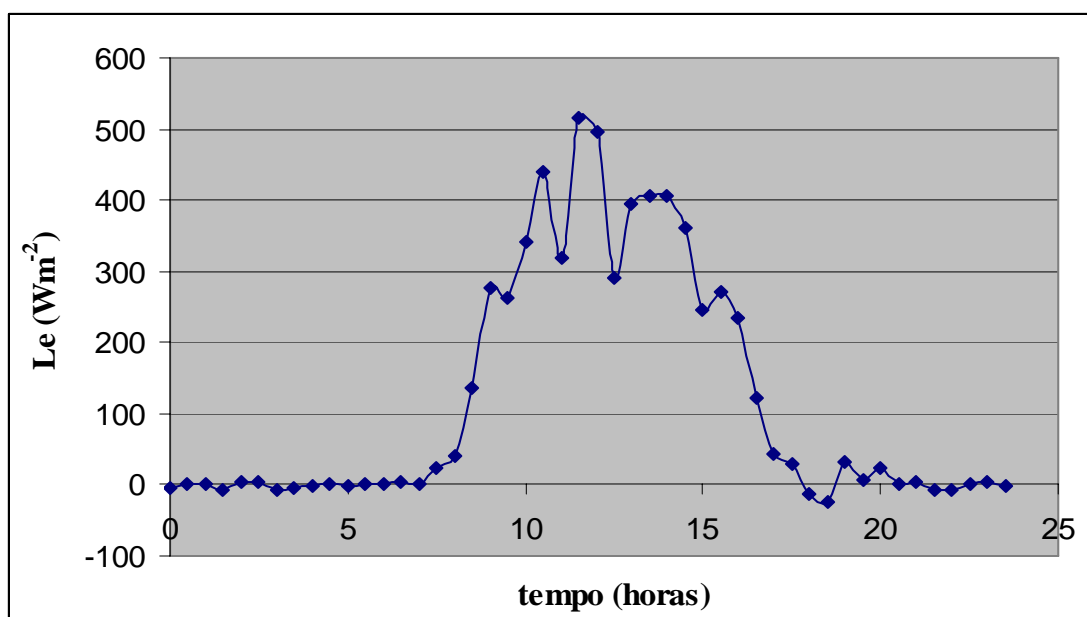


FIGURA 31: Fluxo de calor latente em função do tempo no dia juliano 182 (julho) de 2002

Tal comportamento se deve ao fato de que, ao se abrirem para absorver gás carbônico, os estômatos tendem a perder água para o meio ambiente na forma de vapor. Tal efeito é particularmente crítico nas estações de seca, período em que a biosfera tem que se resguardar da perda de água para a atmosfera. Assim sendo, os

estômatos, após se abrirem por um determinado tempo para absorver carbono, fecham-se novamente para estabelecer um controle sobre a perda de água. Desta forma, estabelece-se uma dinâmica intermitente controlada pela entrada de CO_2 e saída de H_2O .

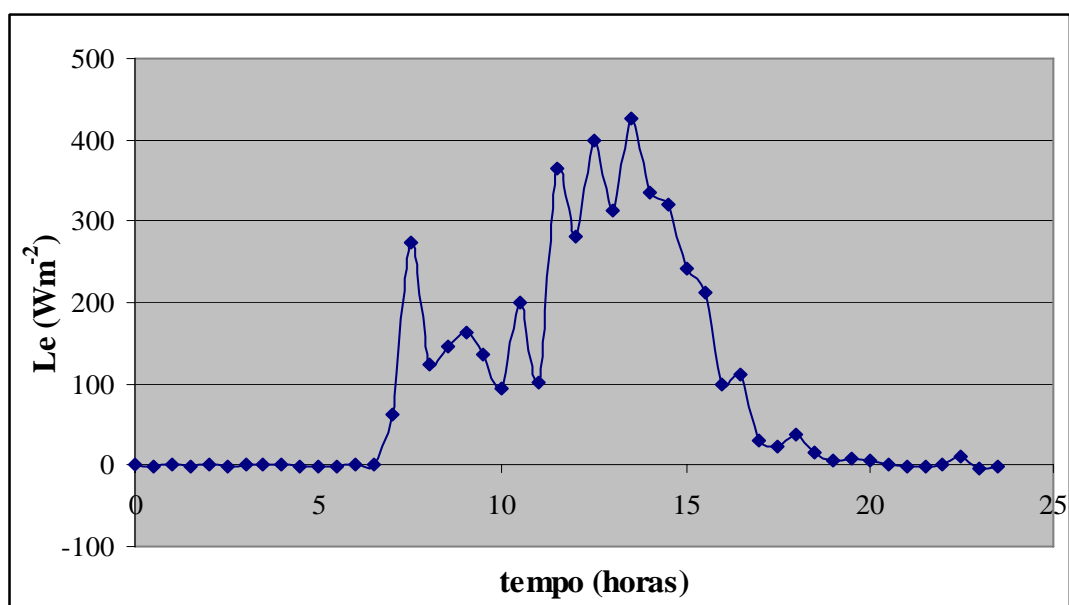


FIGURA 32: Fluxo de calor latente em função do tempo no dia juliano 109 (abril) de 2001

O aparecimento de coeficientes B_i significativos – os quais estabelecem uma assimetria no comportamento das variáveis microclimatológicas – também pode estar relacionado com a dinâmica estomatal, como é indicado pelo comportamento temporal de Le em alguns dias específicos, como aqueles correspondentes às figuras 32 e 33.

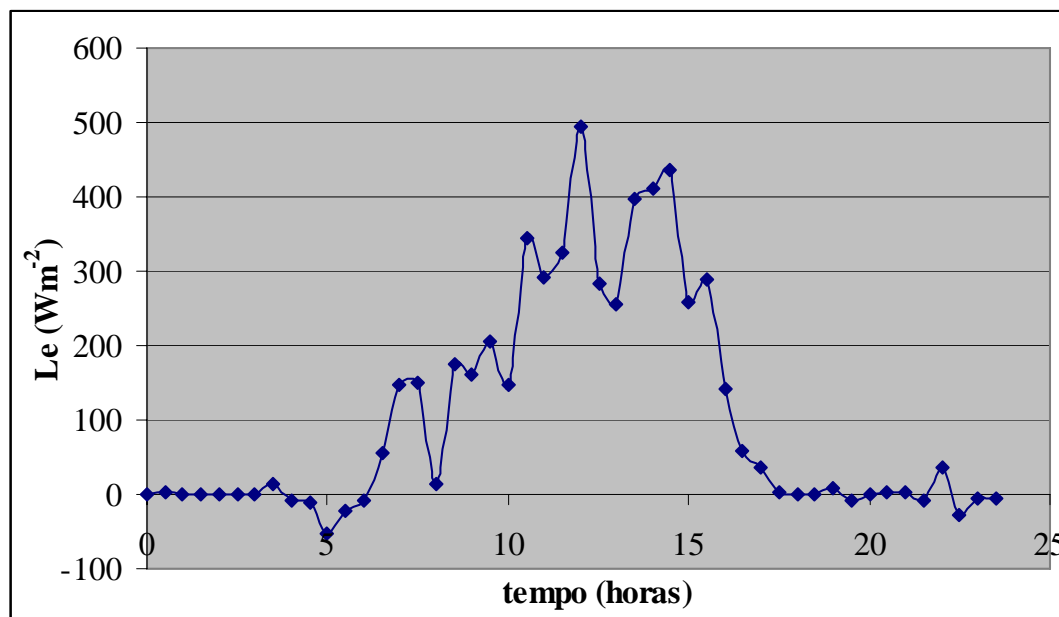


FIGURA 33: Fluxo de calor latente em função do tempo no dia juliano 192 (julho) de 2002

É possível notar, nos dois últimos gráficos, figs. 32 e 33, uma tendência para um maior valor de Le na segunda metade do dia (após o meio-dia) do que na primeira metade. Tal efeito pode estar relacionado a uma maior tendência dos estômatos se manterem mais abertos na segunda metade do dia, por haver condições menos propícias para a perda de água.

4.2 EFEITO DA SAZONALIDADE SOBRE OS VALORES DOS COEFICIENTES

Para estudar um possível efeito de sazonalidade sobre os valores dos coeficientes, foi observado (figuras de 34 a 39) que dependência teria os valores de A_n e B_n de cada variável com o mês do ano. No eixo vertical é o valor dos coeficientes para cada período, de acordo com a legenda, já no eixo horizontal para os mesmos gráficos foi distribuído o valor em relação aos meses sem levar em consideração o ano de cada dado.

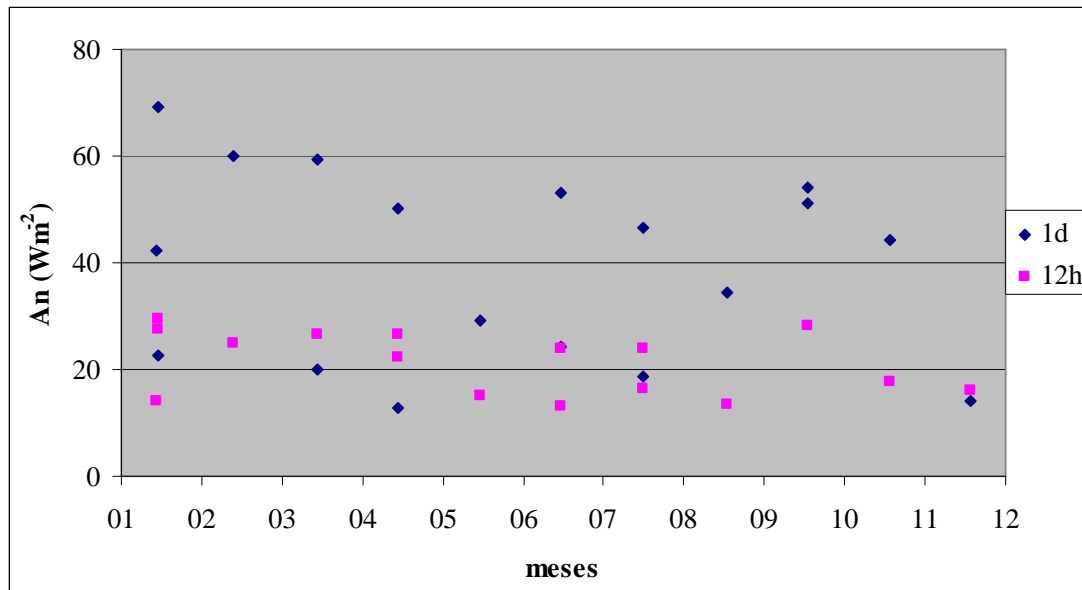


FIGURA 34: Variação sazonal de An, para o Fluxo do Calor Sensível

Para os coeficientes de An do fluxo de calor Sensível, fig. 34, tem-se uma tendência de valores de An menores no período de seca, entre os meses de junho a agosto.

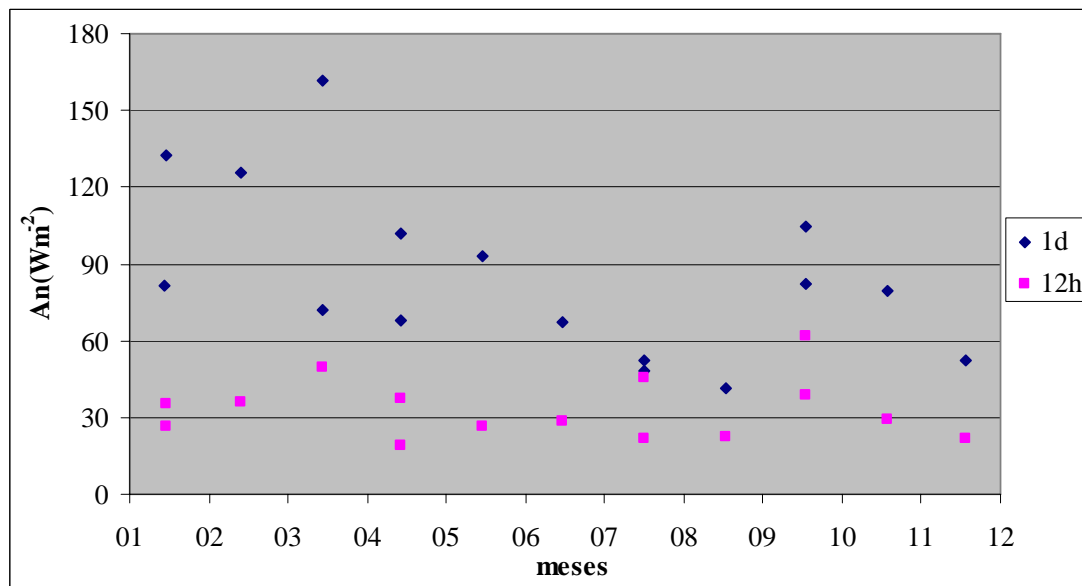


FIGURA 35: Variação sazonal de An, para o Fluxo do Calor Latente

Na figura 35, pode também observar uma tendência menor nos meses de seca em relação aos valores do An para o fluxo de calor latente.

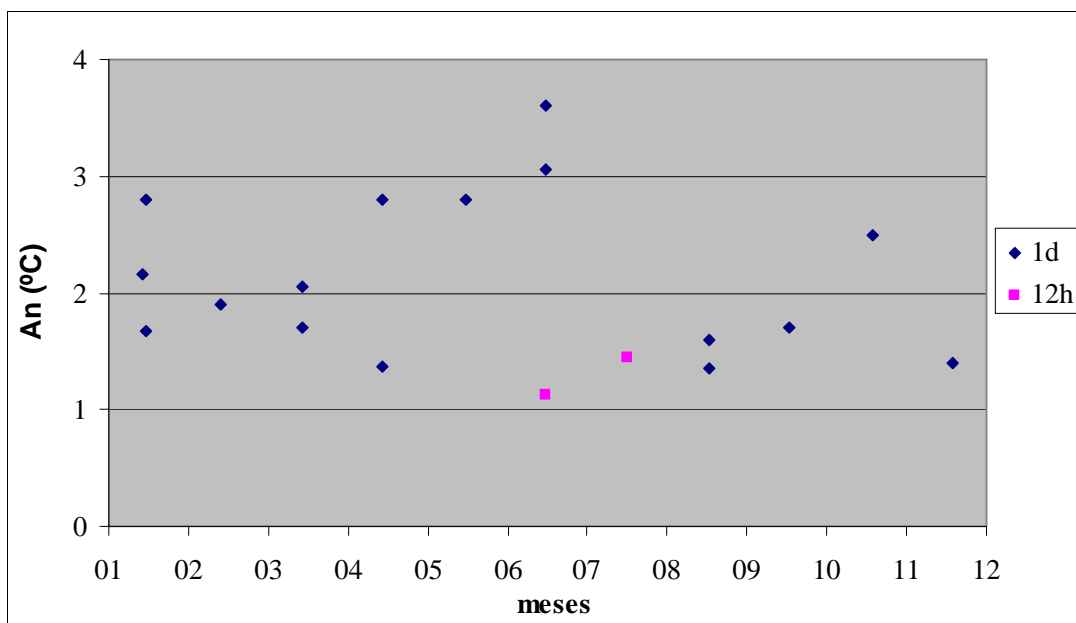


FIGURA 36: Variação sazonal de A_n , para o Fluxo da Temperatura

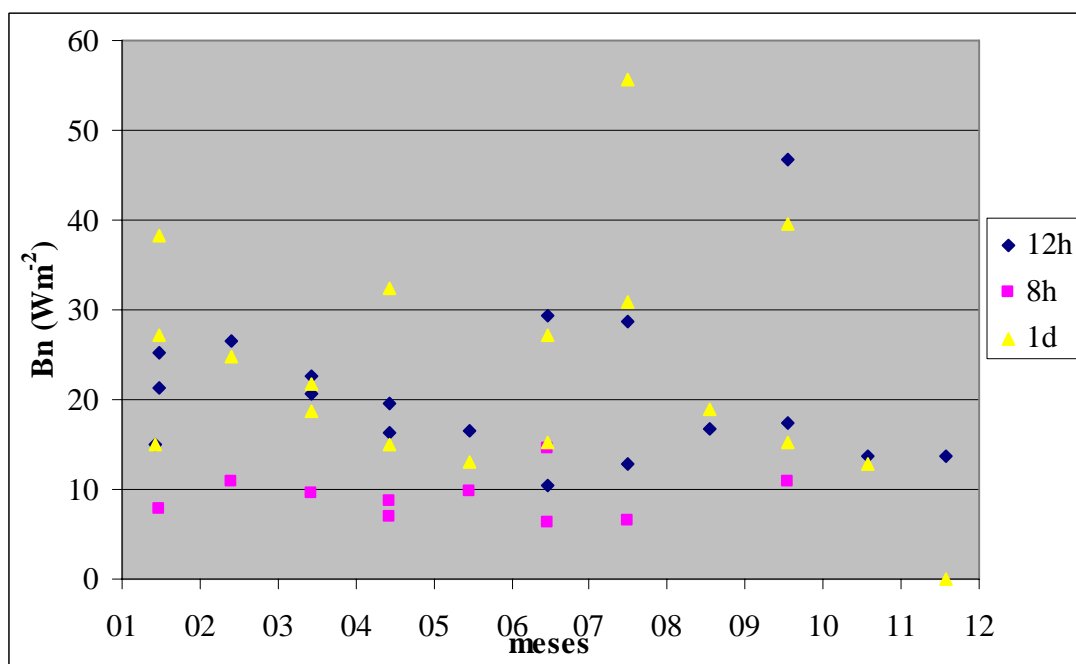


FIGURA 37: Variação sazonal de B_n , para o Fluxo do Calor Sensível

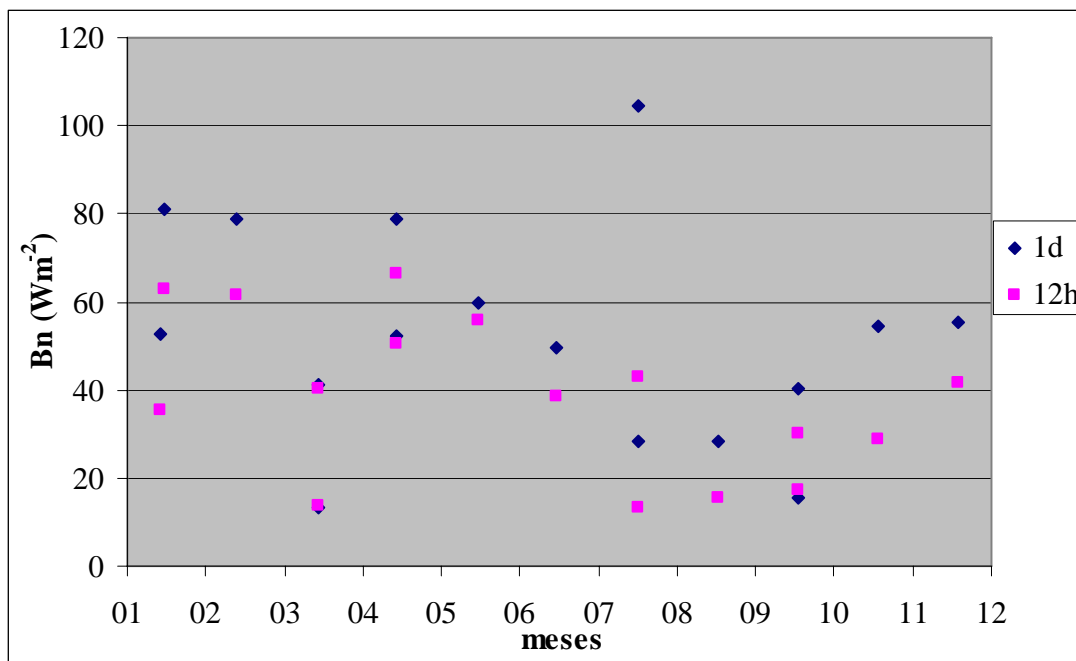


FIGURA 38: Variação sazonal de Bn, para o Fluxo do Calor Latente

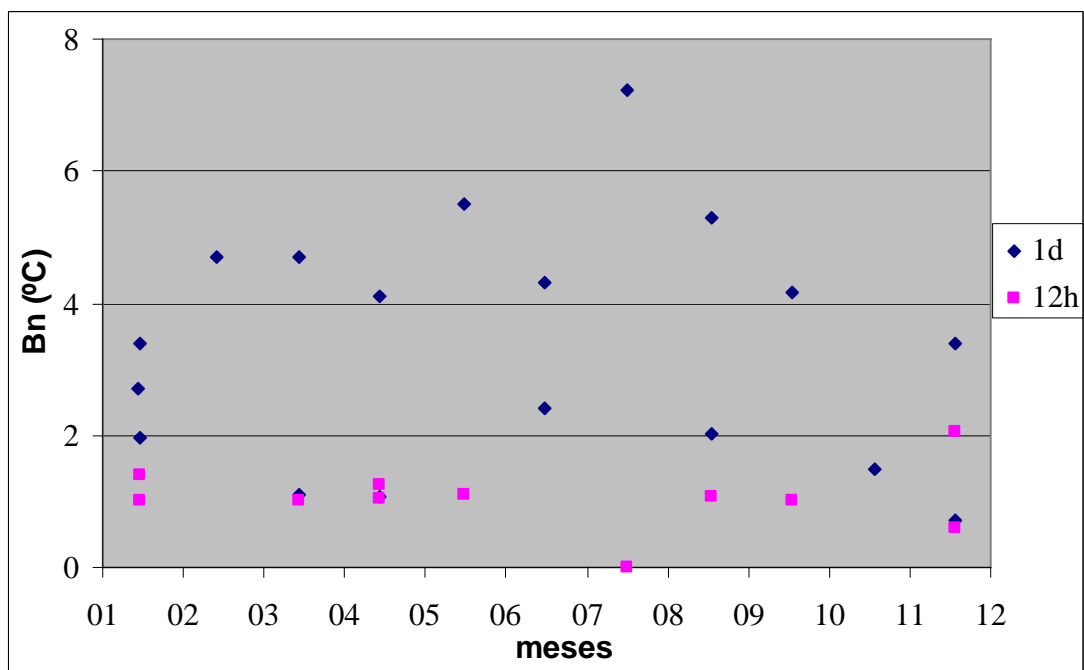


FIGURA 39: Variação sazonal de Bn, para a Temperatura

É possível observar que não existe uma clara dependência dos valores dos coeficientes com a época do ano. Contudo, pode-se observar também uma tendência geral (com exceções – por exemplo, o Bn para o fluxo de calor latente) dos valores

serem menores no período de seca, indicando uma menor variabilidade dos valores das variáveis microclimáticas nesse período.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os resultados obtidos pela análise de Fourier dos dados sobre o Fluxo de Calor Latente, Fluxo de Calor Sensível e Temperatura, pode-se concluir que esse instrumento de investigação é capaz de fornecer informações importantes sobre a dinâmica das variáveis microclimatológicas.

Foram encontradas quatro frequências dominantes para as variáveis estudadas numa escala de tempo de um dia: 24; 12; 4 e 3,4 horas. As frequências dominantes encontradas para o fluxo de Calor Sensível, fluxo de Calor Latente e Temperatura correspondente aos períodos de 1 dia e 12 horas podem ser atribuídos à variação diária da radiação solar, devido ao movimento de rotação da Terra. Já os valores correspondentes a 4 e 3,4 horas podem ser explicados em função da dinâmica dos estômatos.

Ao se confirmarem tais resultados por outras pesquisas, a dinâmica estomatal se coloca como o segundo fator mais importante para a compreensão do comportamento das variáveis microclimatológicas durante o dia. Isso não quer dizer que não existam outros fatores igualmente importantes correspondentes a frequências mais baixas, como por exemplo, os ciclos anuais e o efeito *El Niño*. Entretanto, os resultados da análise de Fourier indicam que considerar a dinâmica estomatal é essencial em qualquer modelo de descrição das variáveis microclimatológicas, pelo menos na floresta de transição estudada.

Em relação à sazonalidade, não foi possível observar uma dependência dos valores dos coeficientes com os meses do ano, porém no período de seca os valores tendem a ser menores do que nos outros períodos, isso indica uma menor amplitude de variação dos valores das variáveis microclimáticas desse período.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- a) Fazer uso da mesma ferramenta, a Série de Fourier, para cada variável (Fluxo de Calor Latente e Sensível e Temperatura), verificando os seus períodos em um tempo maior, anos, verificando assim a influência de alguns fenômenos naturais na Floresta de Transição, no noroeste de Sinop, MT; tendo a análise de um período maior, em busca de explicar teoricamente os períodos encontrados nesta dissertação.
- b) Fazer um gráfico da umidade relativa e temperatura para os mesmos dias e verificar se o horário de menor umidade relativa e maior temperatura coincide-se com o fechamento dos estômatos.
- c) Comparar os resultados da estação chuvosa com os resultados obtidos na estação seca.
- d) Fazer uma análise das séries temporais, usando o método wavelet (ondeletas), e comparar os resultados com a Série de Fourier.

6 BIBLIOGRAFIAS

6.1 BIBLIOGRAFIAS CITADAS

ARFKEN, G. **Mathematical methods for physicists**. Academic Press. 1977.

BALDOCCHI, D.D.; FALGE, E.; WILSON, K **A spectral analysis of biosphere-atmosphere trace gas flux densities and meteorological variables across hour to multi-year time scales**. Agricultural and Forest Meteorology. Vol.107, p.1-27. 2001.

CANDIDO, L. A.; MANZI, A. O., TOTA, J., SILVA, P. R. T.; SILVA, F.S.M.; SANTOS, R. M. N.; CORREIA, F. W. S. **O clima atual e futuro da Amazônia nos cenários do IPCC: a questão da savanização**. Cienc. Cult., jul./set. 2007, vol.59, n.3, p.44-47. ISSN 0009-6725.

CARLIN, N.; SANTO, E. M.; JORGE, F. O.; SOUZA, F. A.; BECHTOLD, I. H; GUASQUES, L. R. **Processamento de imagens: conceitos básicos relacionados com o fenômeno de difração e uso de um computador óptico**. Rev. Bras. Ens. Fis., São Paulo, vol. 26, nº. 3, 2004. Disponível em: www.scielo.br. Acesso em: 06 Nov 2007.

CAPRA, F. **A Teia da Vida - Uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. Ed. Cultrix. São Paulo-SP. 256p. 1996.

FEARNSIDE, P.M. **A Floresta Amazônica nas Mudanças Globais**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, Manaus, AM. 134p. 2003. (ISBN 85 211 0019-1).

LIMA, R. J. C.; SARAIVA, A. A. F.; LANFREDI, S.; NOBRE, M. A. L.; FREIRE, P. T. C.; SASAKI, J. M. **Caracterização espectroscópica de peixe do período cretáceo (Bacia do Araripe)**. Quím. Nova, São Paulo, vol. 30, nº. 1. 2007. Disponível em: www.scielo.br. Acesso em: 06 /11 /2007.

MANTILLA, R. **Unstable Periodic Orbits Search Project - Chaos Building Blocks**. Universidade de Colorado. New Mexico Tech. Disponível em: <http://cires.colorado.edu/~ricardo/upos/advances.html>. Acesso em: 17/11/07

MEDEIROS, F. A.; SUSANNA, Jr., R. **Análise de Fourier para detecção de defeitos localizados na camada de fibras nervosas da retina com a polarimetria a laser.** Arquivos Brasileiros de Oftalmologia, vol.66, n. 6.2003. ISSN 0004-2749.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE. **Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima 2007- IPCC.** Disponível em: http://www6.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas/pdfs. Acesso em 28/10/2007

ODUM, E. P. **Ecologia.** Ed. Guanabara. Rio de Janeiro - RJ.1998

OLIVERA, M. A. & FAVERO, L.P.L. **Uma breve descrição de algumas técnicas para análise de séries temporais: Séries de Fourier, Wavelets, Arima, Modelos Estruturais para séries de tempos e redes neurais.** VI SEMEAD Ensaio mqj.USP. São Paulo. 2002

PLATT,T. & DENMAM, K. L.. **Spectral Analysis in Ecology.** Annual Review of Ecology and Systematics, Vol. 6, p. 189-210. 1975.

SANTOS, N. A. dos; SIMAS, M. L. de B.. **Processamento visual da forma: análise de sistema linear e alguns paradigmas psicofísicos.** Psicol. Reflex. Crit. , Porto Alegre, Vol. 15, nº. 3. 2002 . Disponível em: www.scielo.br. Acesso em: 06 Nov 2007.

VERMA, S. B. **Micrometeorological methods for measuring surface fluxes of mass and energy.** Remote Sensing Reviews, Vol. 5, p. 99-115. 1990.

VOURLITIS, G.L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M.; NOGUEIRA, J. S. de; CASEIRO, F.; CAMPELO JR., J. H. **Seasonal variations in evapotranspiration of a transitional tropical Forest of Mato Grosso, Brazil.** Water Resources Research.v.38, n.6. 2002.

VOURLITIS, G.L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M.; NOGUEIRA, J. S. de; CASEIRO, F.; CAMPELO JR., J. H. **Seasonal variations in the net ecosystem CO₂ exchange of a mature Amazonian transitional tropical forest (cerradão).** Functional Ecology. V.15, p. 388-395. 2001.

VOURLITIS, G. L.; NOGUEIRA, J. de S., PRIANTE FILHO, N.; HOEGER, W.; RAITER,F.; BIUDES, M. S.; ARRUDA, J. C.; CAPISTRANO, V. B.; de FARIA, J. L. B.; LOBO, F.de A. **The sensitivity of diel CO₂ and H₂O vapor exchange of a tropical transitional forest to seasonal variation in meteorology and water availability.** Earth Interactions, Vol. 9, n. 27.2005.

6.2 BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

ANDRAE, M. O.; CRUTZEN, P. J. **Atmospheric aerosols: biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry.** Science, Vol. 276, p. 1.052-1.058. 1997

BALDOCCHI, D.D.; VERMA, S.B. e ROSENBERG, N.J. Mass and energy exchanges of a soybean under various environmental regimes. **Agron. J.**, 73, p. 706-710.1981. In: VERMA, S. B. **Micrometeorological Methods for Measuring Surface Fluxes of Mass and Energy.** Remote Sensing Reviews, vol. 5, p.99-115. 1990.

BEEK, P. J., TURVEY, M.T., SCHMIDT, R.C. **Autonomous and Nonautonomous Dynamics of Coordinated Rhythmic Movements.** Ecological Psychology, Vol. 4:2, p. 65-95. 1992.

CARVALHO, L.G; SEDYAMA, G. C; CECOP, R.; ALVES, H. M. R. **Aplicação da análise harmônica por séries de Fourier para a previsão de produtividade da cultura do café no Estado de Minas Gerais.** Eng Agrícola. Jaboticabal, vol.25 n°3 p. 732-741, set a dez 2005.

GALLON, M. M. P. **Um estudo sobre a dinâmica de sistemas complexos a partir de séries temporais de dados microclimatológicos para uma floresta de Transição no Noroeste de Mato Grosso.** Cuiabá, 2005. 115p. Dissertação (Mestrado) - Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso.

MARENGO, J A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI.** Série Biodiversidade, v. 26, 2ª edição, 2007.

MIRANDA, E. J.; PRIANTE FILHO, N.; PRIANTE, P.C.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; SULI, G.S.; FRITZEN, C.L.; NOGUEIRA, J. de S. e VOURLITIS, G.L. **Maximum leaf photosynthetic light response for three species in a transitional tropical Forest in Southern Amazonia.** Revista Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 8, n° 1, p. 164-167. 2004.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE. Disponível em: www.inpe.br . Acesso em 30/10/2007

NEPSTAD, D.. **Projeto de savanização.** Disponível em: www.ipam.org.br/web/programas/cenarios/savanizacao.php Acesso em 30/10/2007

NOBRE, C. A. **Modelos e cenários para a Amazônia: o papel da ciência. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país.** Parcerias estratégicas, n° 12. p. 239-258. 2001.

OLIVEIRA, P. J. de, ROCHA, E. J. P. da, FISCH, G.; KRUIJT, B.; RIBEIRO, J. B. M. **Meteorological effects of a cold spell event over Amazonia: a case study**. Acta Amaz. , Manaus, Vol. 34, nº. 4, 2004 . Disponível em: www.scielo.br. Acesso em: 30 Out 2007.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia Vegetal**. 1ª ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 1981. 440p.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia**. Fundamentos e Aplicações Práticas. 1ª ed. Guaíba-RS: Livraria e Editora

SILVA DIAS, M. A. F. da; COHEN, J. C. P.; GANDU, A. W. **Interações entre nuvens, chuvas e a biosfera na Amazônia**. Acta Amaz., Manaus, vol. 35, n. 2. 2005.

VOURLITIS, G.L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M.; NOGUEIRA, J. S. de; HOEGER, W.; RAITER, F.; CAMPELO JR., J. H. **The role of seasonal variations in meteorology on the net CO₂ exchange of a Brazilian transitional tropical forest** - 2002

YATES, F. E., MARSH, D. J., IBERALL, A. S. **Integration of the whole organism- A foundation for a theoretical biology**. In *Challenging Biological Problems: Directions Towards Their Solutions*. The American Institute of Biological Sciences, 110-32. New York: Oxford Univ. Press, p. 502. 1972.

7 BIBLIOGRAFIAS

7.1 BIBLIOGRAFIAS CITADAS

ARFKEN, G. **Mathematical methods for physicists**. Academic Press.1977.

BALDOCCHI, D.D.; VERMA, S.B. e ROSENBERG, N.J. Mass and energy exchanges of a soybean under various environmental regimes. **Agron. J.**, 73, p. 706-710.1981. In: VERMA, S. B. **Micrometeorological Methods for Measuring Surface Fluxes of Mass and Energy**. Remote Sensing Reviews, vol. 5, p.99-115. 1990.

CANDIDO, L. A.; MANZI; A. O., TOTA, J., SILVA, P. R. T.; SILVA, F.S.M.; SANTOS, R. M. N.; CORREIA, F. W. S. **O clima atual e futuro da Amazônia nos cenários do IPCC: a questão da savanização**. Cienc. Cult., jul./set. 2007, vol.59, n.3, p.44-47. ISSN 0009-6725.

CARLIN, N.; SANTO, E. M.; JORGE, F. O.; SOUZA, F. A.; BECHTOLD, I. H; GUASQUES, L. R. **Processamento de imagens: conceitos básicos relacionados com o fenômeno de difração e uso de um computador óptico**. Rev. Bras. Ens. Fis., São Paulo, vol. 26, nº. 3, 2004. Disponível em: www.scielo.br. Acesso em: 06 Nov 2007.

CAPRA, F. **A Teia da Vida - Uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. Ed. Cultrix. São Paulo-SP. 256p. 1996.

FEARNSIDE, P.M. **A Floresta Amazônica nas Mudanças Globais**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, Manaus, AM. 134p. 2003. (ISBN 85 211 0019-1).

LIMA, R. J. C.; SARAIVA, A. A. F.; LANFREDI, S.; NOBRE, M. A. L.; FREIRE, P. T. C.; SASAKI, J. M. **Caracterização espectroscópica de peixe do período cretáceo (Bacia do Araripe)**. Quím. Nova, São Paulo, vol. 30, nº. 1. 2007. Disponível em: www.scielo.br. Acesso em: 06 /11 /2007.

MANTILLA, R. **Unstable Periodic Orbits Search Project - Chaos Building Blocks**. Universidade de Colorado. New Mexico Tech. Disponível em: <http://cires.colorado.edu/~ricardo/upos/advances.html>. Acesso em: 17/11/07

MEDEIROS, F. A.; SUSANNA, Jr., R. **Análise de Fourier para detecção de defeitos localizados na camada de fibras nervosas da retina com a polarimetria a laser.** Arquivos Brasileiros de Oftalmologia, vol.66, n. 6.2003. ISSN 0004-2749.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE. **Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima 2007- IPCC.** Disponível em: http://www6.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas/pdfs. Acesso em 28/10/2007

ODUM, E. P. **Ecologia.** Ed. Guanabara. Rio de Janeiro - RJ.1998

OLIVERA, M. A. & FAVERO, L.P.L. **Uma breve descrição de algumas técnicas para análise de séries temporais: Séries de Fourier, Wavelets, Arima, Modelos Estruturais para séries de tempos e redes neurais.** VI SEMEAD Ensaio mqj.USP. São Paulo. 2002

PLATT,T. & DENMAM, K. L.. **Spectral Analysis in Ecology.** Annual Review of Ecology and Systematics, Vol. 6, p. 189-210. 1975.

SANTOS, N. A. dos; SIMAS, M. L. de B.. **Processamento visual da forma: análise de sistema linear e alguns paradigmas psicofísicos.** Psicol. Reflex. Crit. , Porto Alegre, Vol. 15, nº. 3. 2002 . Disponível em: www.scielo.br. Acesso em: 06 Nov 2007.

VERMA, S. B. **Micrometeorological methods for measuring surface fluxes of mass and energy.** Remote Sensing Reviews, Vol. 5, p. 99-115. 1990.

VOURLITIS, G.L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M.; NOGUEIRA, J. S. de; CASEIRO, F.; CAMPELO JR., J. H. **Seasonal variations in evapotranspiration of a transitional tropical Forest of Mato Grosso, Brazil.** Water Resources Research.v.38, n.6. 2002.

VOURLITIS, G.L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M.; NOGUEIRA, J. S. de; CASEIRO, F.; CAMPELO JR., J. H. **Seasonal variations in the net ecosystem CO₂ exchange of a mature Amazonian transitional tropical forest (cerradão).** Functional Ecology. V.15, p. 388-395. 2001.

VOURLITIS, G. L.; NOGUEIRA, J. de S., PRIANTE FILHO, N.; HOEGER, W.; RAITER,F.; BIUDES, M. S.; ARRUDA, J. C.; CAPISTRANO, V. B.; de FARIA, J. L. B.; LOBO, F.de A. **The sensitivity of diel CO₂ and H₂O vapor exchange of a tropical transitional forest to seasonal variation in meteorology and water availability.** Earth Interactions, Vol. 9, n. 27.2005.

7.2 BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

ANDRAE, M. O.; CRUTZEN, P. J. **Atmospheric aerosols: biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry.** Science, Vol. 276, p. 1.052-1.058. 1997

BALDOCCHI, D.D.; FALGE, E.; WILSON, K **A spectral analysis of biosphere-atmosphere trace gas flux densities and meteorological variables across hour to multi-year time scales.** Agricultural and Forest Meteorology. Vol.107, p.1-27. 2001.

BEEK, P. J., TURVEY, M.T., SCHMIDT, R.C. **Autonomous and Nonautonomous Dynamics of Coordinated Rhythmic Movements.** Ecological Psychology, Vol. 4:2, p. 65-95. 1992.

CARVALHO, L.G; SEDYAMA G. C; CECOP R. R.; ALVES, H. M. R. **Aplicação da análise harmônica por séries de Fourier para a previsão de produtividade da cultura do café no Estado de Minas Gerais.** Eng Agrícola. Jaboticabal, vol.25 nº.3 p. 732-741, set a dez 2005.

GALLON, M. M. P. **Um estudo sobre a dinâmica de sistemas complexos a partir de séries temporais de dados microclimatológicos para uma floresta de Transição no Noroeste de Mato Grosso.** Cuiabá, 2005. 115p. Dissertação (Mestrado) - Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso.

MARENGO, J A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI.** Série Biodiversidade, v. 26, 2ª edição, 2007.

MIRANDA, E. J.; PRIANTE FILHO, N.; PRIANTE, P.C.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; SULI, G.S.; FRITZEN, C.L.; NOGUEIRA, J. de S. e VOURLITIS, G.L. **Maximum leaf photosynthetic light response for three species in a transitional tropical Forest in Southern Amazonia.** Revista Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 8, nº 1, p. 164-167. 2004.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE. Disponível em: www.inpe.br . Acesso em 30/10/2007

NEPSTAD, D.. **Projeto de savanização.** Disponível em: www.ipam.org.br/web/programas/cenarios/savanizacao.php Acesso em 30/10/2007

NOBRE, C. A. **Modelos e cenários para a Amazônia: o papel da ciência. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país.** Parcerias estratégicas, nº 12. p. 239-258. 2001.

OLIVEIRA, P. J. de, ROCHA, E. J. P. da, FISCH, G.; KRUIJT, B.; RIBEIRO, J. B. M. **Meteorological effects of a cold spell event over Amazonia: a case study**. Acta Amaz. , Manaus, Vol. 34, nº. 4, 2004 . Disponível em: www.scielo.br. Acesso em: 30 Out 2007.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia Vegetal**. 1ª ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 1981. 440p.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia**. Fundamentos e Aplicações Práticas. 1ª ed. Guaíba-RS: Livraria e Editora

SILVA DIAS, M. A. F. da; COHEN, J. C. P.; GANDU, A. W. **Interações entre nuvens, chuvas e a biosfera na Amazônia**. Acta Amaz., Manaus, vol. 35, n. 2. 2005.

VOURLITIS, G.L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M.; NOGUEIRA, J. S. de; HOEGER, W.; RAITER, F.; CAMPELO JR., J. H. **The role of seasonal variations in meteorology on the net CO₂ exchange of a Brazilian transitional tropical forest** - 2002

YATES, F. E., MARSH, D. J., IBERALL, A. S. **Integration of the whole organism- A foundation for a theoretical biology**. In *Challenging Biological Problems: Directions Towards Their Solutions*. The American Institute of Biological Sciences, 110-32. New York: Oxford Univ. Press, p. 502. 1972.