

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA
AMBIENTAL**

**DETERMINAÇÃO DE FREQUÊNCIAS DOMINANTES
DE DADOS MICROMETEREOLÓGICOS
RELACIONADOS A FENÔMENOS NATURAIS EM
TRÊS ECOSSISTEMAS DE MATO GROSSO**

MARIELE REGINA PINHEIRO GONÇALVES

**Prof. Dr. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO
Orientador
Profa. Dra. IRAMAIA J. CABRAL DE PAULO
Co-orientadora**

**Cuiabá-MT
Outubro -2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA
AMBIENTAL**

**DETERMINAÇÃO DE FREQUÊNCIAS DOMINANTES
DE DADOS MICROMETEREOLÓGICOS
RELACIONADOS A FENÔMENOS NATURAIS EM
TRÊS ECOSISTEMAS DE MATO GROSSO**

MARIELE REGINA PINHEIRO GONÇALVES

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

**Prof. Dr. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO
Orientador
Prof. Dra. IRAMAIA J. CABRAL DE PAULO
Co-orientadora**

**Cuiabá-MT
Outubro - 2011**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte

G635d Gonçalves, Mariele Regina Pinheiro

Determinação de frequências dominantes de dados micrometeorológicos relacionados a fenômenos naturais em três ecossistemas de Mato Grosso/ Mariele Regina Pinheiro Gonçalves-2011

120 f. : Il. 30 cm.

Orientador: Sérgio Roberto de Paulo

Co-orientadora: Iramaia J. Cabral de Paulo

Tese (doutorado)- Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, 2011.

Bibliografia: f. 103-115.

1. Meteorologia – Mato Grosso 2. Ecossistemas – Mato Grosso. I. Título. II. Paulo, Sérgio Roberto de. III. Paulo, Iramaia J. Cabral de.

CDD 551.5098172

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF
Bibliotecário: Renato Marques Alves – CRB: 5/1458.

Permitida a reprodução parcial ou total desde que citada a fonte

DEDICATÓRIA

Ao meu esposo Marco pelo amor, compreensão e incentivo em todos os momentos.

Ao nosso filho Arthur que sirva de incentivo para seu futuro acadêmico.

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

Aos meus queridos, Vitor, Aline, Matheus, Leonardo, Felipe, Éttore, Murilo e Heitor, 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 apoia em todas as minhas decisões.
- Em especial à minha mãe, pelo apoio, compreensão e amor incondicional.
- A toda minha família por estarem sempre ao meu lado, apesar da distância.
- Ao meu orientador Professor Dr. Sérgio Roberto de Paulo, por ter acreditado em mim, pelas suas orientações e apoio nesta tese.
- Aos Professores Iramaia, Luciana, Aduino e Paulo por participar da banca de defesa.
- Agradeço também ao Coordenador do Programa de Pós Graduação em Física Ambiental Prof. Dr. José de Souza Nogueira (Paraná).
- Aos professores da pós-graduação em Física Ambiental pela atenção, disponibilidade e todo conhecimento passado a nós.
- Aos secretários do curso e amigos de todos, Soilce e Cesário, pela grande ajuda nas horas necessárias.
- Aos colegas de sala da turma 2008/1 do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental.
- Aos monitores Rafael e Suzy pelo auxílio.
- À CAPES pela bolsa de estudos tão providencial, no período necessitado.
- A todos que de alguma forma me ajudaram, agradeço de todo coração.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE ABREVIACÕES.....	xiii
RESUMO	xv
ABSTRACT.....	xvii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1 A ANÁLISE DE FOURIER EM ECOSSISTEMAS.....	4
2.1.1 Análise Espectral na Ecologia.....	4
2.1.2 Medição e Modelagem de fluxos de energia no dossel de Florestas de Coníferas homogêneas e heterogêneas	8
2.1.3 Análise espectral de fluxos de gases traços e variáveis meteorológicas na biosfera- atmosfera, em escala de horas a anos.....	10
2.1.4 FLUXNET: Uma nova ferramenta para estudar a variabilidade temporal e espacial do ecossistema, em relação ao Dióxido de Carbono, Vapor d'água e densidade dos fluxos de energia.....	25
2.1.5 Aplicações do espectro de potência utilizando o sensoriamento remoto.....	27
2.2 EXPLICAÇÕES POSSÍVEIS DAS FREQUÊNCIAS (PICOS) DOMINANTES.....	34
2.2.1 Radiação Solar e Movimentos Rotacionais da Terra.....	34
2.2.2 Fotossíntese e Dinâmica Estomatal.....	36
2.2.3 <i>Sunflecks</i>	42
2.3 SÉRIES TEMPORAIS.....	47
3 MATERIAL E METÓDOS.....	52
3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDOS.....	52
3.1.1 Área da Floresta de Transição Amazônica Cerrado.....	53
3.1.2 Área do Cambarazal.....	53
3.1.3 Área de Pastagem Mista.....	54
3.2 INSTRUMENTOS MICROMETEOROLÓGICOS.....	55
3.2.1 Área da Floresta de Transição Amazônica Cerrado.....	55
3.2.2 Área do Cambarazal.....	57

3.2.3	Área de Pastagem Mista.....	58
3.3	MÉTODOS	60
3.3.1	Análises de Séries de dados Temporais pelo Método Fourier	63
3.3.2	Análises de Erros em Séries de dados Temporais pelo Método Monte Carlo	63
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.1	COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS MICROMETEOROLÓGICAS.....	65
4.2	ANÁLISE DE FOURIER PARA CADA COEFICIENTE COM SEUS ERROS.....	67
4.2.1	Temperatura (T)	67
4.2.2	Umidade Relativa do Ar (UR)	70
4.2.3	Radiação Líquida (Rn)	73
4.2.4	Fluxo de Calor Sensível (H).....	76
4.2.5	Fluxo de Calor Latente (LE)	79
4.2.6	Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente (PARi)	82
4.2.7	Concentração de Dióxido de Carbono (CO ₂).....	85
4.2.8	Concentração de Água (H ₂ O).....	86
4.3	MÉDIA DAS FREQUÊNCIAS DOMINANTES DOS COEFICIENTES An E Bn	87
4.3.1	Temperatura (T)	88
4.3.2	Umidade Relativa do Ar (UR)	89
4.3.3	Radiação Líquida (Rn)	91
4.3.4	Fluxo de Calor Sensível (H).....	92
4.3.5	Fluxo do Calor Latente (LE)	93
4.3.6	Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente (PARi)	95
4.4	RELAÇÃO DE TODAS AS VARIÁVEIS EM CADA ECOSISTEMA.....	96
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	102
6	BIBLIOGRAFIA.....	103
6.1	BIBLIOGRAFIA CITADA	103
6.2	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	111

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Espectros de potência para temperatura (T), umidade (UR) e velocidade do vento vertical (w) a 2m acima do solo no sub-bosque de um stand:(a.) *Ponderosa Pine Stand*. Os dados foram obtidos às 11:00 horas no dia 197 de 1996 e em (b) *Jack Pine Stands*. Os dados foram obtidos às 10:00 horas no dia 151 de 1994. Para os dois casos a densidade espectral no eixo y é multiplicado pela frequência natural (n) esta é normalizada pela variância..... 10
- Figura 2:** Variação sazonal do índice de área foliar, durante os anos de 1995 a 1998, em *Oak Ridge, TN*..... 14
- Figura 3:** Espectro de potências do índice de área foliar durante o ano de 1996, em *Oak Ridge, TN*..... 15
- Figura 4:** Espectro de potências do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa, no período de 1995 a 1998, em *Oak Ridge, TN* 16
- Figura 5:** Espectro de potências da temperatura, no período de 1995 a 1998, em *Oak Ridge, TN* 17
- Figura 6:** Espectro da velocidade do vento, no período de 1995 a 1998, em *Oak Ridge, TN* 19
- Figura 7:** Espectro do fluxo de CO₂ , no período de 1995 a 1998, em *Oak Ridge, TN* 20
- Figura 8:** Espectro do fluxo de CO₂, aplicando a transformada de Fourier, entre 1995 a 1998, em *Oak Ridge, TN* 21
- Figura 9:** Espectro do fluxo de calor latente, no período de 1997 e 1998, em *Oak Ridge, TN* 22
- Figura 10:** No período de 1997, em *Oak Ridge, TN* (a) Co-espectro do fluxo de densidade de calor latente e CO₂. 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..... 23
- Figura 11:** Espectro de Potência do fluxo de CO₂, que foram medidos através do Eddy Covariance e comparado com o Modelo CANOAK. Um ano e meio de dados a partir de 1997, em *Oak Ridge, TN*. 24
- Figura 12:** Parte central da imagem (cobertura 1992-GUF-91/250; IGN, França) na área de estudo do projecto DIME, perto da barragem do reservatório de Petit Saut, na Guiana Francesa. (b) A mesma área com quadrados coloridos correspondente a 1 hectare da copa da Floresta codificado em cinco classes de textura do dossel: azul-escuro: T1 (textura de granulação grossa, para as janelas marcadas devido a discrepância de iluminação); vermelho: T2 (textura copa de granulação grossa); verde: T3 (textura copa de grossa a intermediária); amarelo: T4 (textura copa de intermediário a granulação fina); azul-claro: T5 (textura copa de granulação final). 28

Figura 13: Análise do perfil do espectro de potência dos valores pixel de X-band (imagens de radar). (a) perfil de amplitudes dos dados do radar com média removida, e com regressão suave; (b) estimação espectral do perfil para periodograma e modelo ARMA. Frequência máxima corresponde a dois pixels, ou seja, 5m por ciclo.	31
Figura 14: Efeito da resolução espacial de imagens de radar em estimativas espectrais. Espectros de potência de uma linha de pixel (comprimento 10.000 m) da mesma imagem em média para cinco tamanhos de pixel diferentes são exibidas. Períodos de diferentes espectros são desenhados para combinar com um mesmo período, os períodos abaixo de 15 e 12,5m são omitidos, e os picos são marcados por barras pretas.	32
Figura 15: Robustez das estimativas do espectro de potência pelo método ARMA. Indicados estão cinco espectros derivados de linhas paralelas a uma distância de 250m pixel de 10m entre si. Frequências abaixo de $\lambda=15m$ são omitidos. O principal pico é marcado por uma barra preta.	33
Figura 16: Espectro eletromagnético	34
Figura 17: Rotação da Terra	35
Figura 18: Esquema da Fotossíntese.....	36
Figura 19: Seção transversal de uma folha, mostrando as características importantes para a fotossíntese.	37
Figura 20: Células Guardas.....	38
Figura 21: Resistência estomática foliar plantas de <i>Eucalyptus urograndis</i> , ao longo do dia, submetidas a dois manejos hídricos e diferentes materiais genéticos, na UNESP-Botucatu	39
Figura 22: Comportamento da fotossíntese e condutância estomática do umbuzeiro às 9h (a) e às 13h (b). As barras representam o desvio-padrão para cada época de avaliação Petrolina-PE, 1998.	40
Figura 23: Espectro de absorção de clorofila isolado e espécies carotenóides. A cor associada com diferentes comprimentos de onda é indicado acima do gráfico.	41
Figura 24: Série temporal da PAR, em três níveis diferentes, com um dossel de 60 cm.....	44
Figura 25: Espectro de potências da PAR, com LAI=1,7, com velocidades do vento diferentes: em (a) $1,1 \text{ ms}^{-1}$, (b) $2,5 \text{ ms}^{-1}$, (c) $4,9 \text{ ms}^{-1}$ e (d) $6,9 \text{ ms}^{-1}$	45
Figura 26: Comparação do espectro vertical da velocidade do vento e do espectro da PAR, na Figura acima: espectro da velocidade do vento vertical a 1,5 m acima do dossel e na Figura abaixo: espectro luz medida a 45 cm do dossel	46
Figura 27: Localização de uma área de Floresta de Transição Amazônia- Cerrado, da reserva particular do Sesc Pantanal e da área de Pastagem Mista situada na fazenda experimental da UFMT em Santo Antonio do Lerverger.....	52
Figura 28: Torre micrometeorológica na Floresta de Transição Amazônia-Cerrado	56
Figura 29: Torre micrometeorológica no Cambarazal.....	58
Figura 30: Torre micrometeorológica na Pastagem Mista	59

Figura 31: Tratamento de dados, do fluxo de Calor Sensível, em junho de 2007, para a Floresta de Transição Amazônia-Cerrado	62
Figura 32: Perfil da Temperatura e da Umidade Relativa do ar, em a e b, respectivamente, para a Floresta de Transição Cerrado-Amazônia, Cambarazal e Pastagem Mista, no período estudado em cada ecossistema.	65
Figura 33: Fluxos de Calor Sensível (H), em a, e Latente (Le), em b, Radiação Líquida (Rn), em c, e por último a Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente (PARi), em d, para Floresta de Transição, Cambarazal e Pastagem, no período estudado em cada ecossistema.	66
Figura 34: Valores dos coeficientes An e Bn da Temperatura, entre os dias julianos de 19 e 63 em 2001, na Floresta de Transição Amazônia – Cerrado.....	68
Figura 35: Valores dos coeficientes An e Bn da Temperatura, no mês de novembro de 2009, no Cambarazal.....	69
Figura 36: Valores dos coeficientes An e Bn da Temperatura, no mês de abril de 2007, na Pastagem Mista.....	70
Figura 37: Valores dos coeficientes An e Bn da Umidade Relativa do ar, no mês de abril de 2004, na Floresta de Transição Amazônia - Cerrado.....	71
Figura 38: Valores dos coeficientes An e Bn da Umidade Relativa do Ar, no mês de abril de 2007, no Cambarazal.....	72
Figura 39: Valores dos coeficientes An e Bn do da Umidade Relativa do Ar, no mês de setembro de 2007, na Pastagem Mista	73
Figura 40: Valores dos coeficientes An e Bn da Radiação Líquida, no mês de março do ano de 2004, na Floresta de Transição Amazônia - Cerrado	74
Figura 41: Valores dos coeficientes An e Bn da Radiação Líquida, no mês de novembro de 2007, no Cambarazal.....	75
Figura 42: Valores dos coeficientes An e Bn da Radiação Líquida, no mês de agosto de 2007, na Pastagem Mista	76
Figura 43: Valores dos coeficientes An e Bn do Fluxo de Calor Sensível, entre os dias julianos 73 e 124 do ano de 2001, na Floresta de Transição Amazônia–Cerrado	77
Figura 44: Valores dos coeficientes An e Bn do Fluxo de Calor Sensível, no mês de fevereiro de 2007, no Cambarazal	78
Figura 45: Valores dos coeficientes An e Bn do Fluxo de Calor Sensível, no mês de agosto de 2007, na Pastagem Mista	79
Figura 46: Valores dos coeficientes An e Bn do Fluxo do Calor Latente, entre os dias julianos 128 e 164 de 2001, na Floresta de Transição Amazônia - Cerrado	80
Figura 47: Valores dos coeficientes An e Bn do Fluxo do Calor Latente, no mês de março de 2007, no Cambarazal.....	81
Figura 48: Valores dos coeficientes An e Bn do Fluxo do Calor Latente, no mês de março de 2007, na Pastagem Mista.....	82

Figura 49: Valores dos coeficientes A_n e B_n da PAR_i , em outubro de 2002, na Floresta de Transição Amazônia - Cerrado.....	83
Figura 50: Valores dos coeficientes A_n e B_n do PAR_i , no mês de agosto de 2007, no Cambarazal.....	84
Figura 51: Valores dos coeficientes A_n e B_n da PAR_i , no mês de abril de 2007, na Pastagem Mista	85
Figura 52: Valores dos coeficientes A_n e B_n da Concentração de Gás Carbônico, no mês de maio de 2005, na Floresta de Transição Amazônia - Cerrado.....	86
Figura 53: Valores dos coeficientes A_n e B_n da Concentração de Água, no mês de setembro de 2005, na Floresta de Transição Amazônia - Cerrado	87
Figura 54: Comparação da média da variação da Temperatura das frequências dominantes em três ecossistemas, em a) para o Coeficiente A_n , em b) para o Coeficiente B_n ; a incidência dos picos em relação a frequência relativa (<i>frel</i>), em c) para o Coeficiente A_n , em d) para o Coeficiente B_n	89
Figura 55: Comparação da média da variação da Umidade Relativa do Ar das frequências dominantes em três ecossistemas, em a) para o Coeficiente A_n , em b) para o Coeficiente B_n ; a incidência dos picos em relação a frequência relativa (<i>frel</i>), em c) para o Coeficiente A_n , em d) para o Coeficiente B_n	90
Figura 56: Comparação da média da variação da Radiação Líquida das frequências dominantes em três ecossistemas, em a) para o Coeficiente A_n , em b) para o Coeficiente B_n ; a incidência dos picos em relação a frequência relativa (<i>frel</i>), em c) para o Coeficiente A_n , em d) para o Coeficiente B_n	92
Figura 57: Comparação da média da variação do Fluxo do Calor Sensível das frequências dominantes em três ecossistemas, em a) para o Coeficiente A_n , em b) para o Coeficiente B_n ; a incidência dos picos em relação a frequência relativa (<i>frel</i>), em c) para o Coeficiente A_n , em d) para o Coeficiente B_n	93
Figura 58: Comparação da média da variação do Fluxo do Calor Latente das frequências dominantes em três ecossistemas, em a) para o Coeficiente A_n , em b) para o Coeficiente B_n ; a incidência dos picos em relação a frequência relativa (<i>frel</i>), em c) para o Coeficiente A_n , em d) para o Coeficiente B_n	94
Figura 59: Comparação da média da variação da Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente das frequências dominantes em três ecossistemas, em a) para o Coeficiente A_n , em b) para o Coeficiente B_n ; a incidência dos picos em relação à frequência relativa (<i>frel</i>), em c) para o Coeficiente A_n , em d) para o Coeficiente B_n	95
Figura 60: Comparação da média horária dos coeficientes A_n e B_n , respectivamente Figuras a e b, das variáveis estudadas na Floresta de Transição Amazônia-Cerrado	97
Figura 61: Comparação da média horária dos coeficientes A_n e B_n , respectivamente Figuras a e b, das variáveis estudadas no Cambarazal.....	98
Figura 62: Comparação da média horária dos coeficientes A_n e B_n , respectivamente Figuras a e b, das variáveis estudadas na Pastagem Mista.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características dos três ecossistemas estudados	55
Tabela 2: Equipamentos ou métodos utilizados para medir as variáveis nas áreas estudadas	60

LISTA DE ABREVIÇÕES

- a_0 - Valor médio dos dados micrometeorológicos
- σ -Constante de Stefan-Boltzman
- $\{(\text{CH}_2\text{O})_n\}$ - Compostos orgânicos
- Am**- Clima tropical de moção
- Aw**- Clima tropical com chuvas de verão
- CO₂**- Gás carbônico
- d**- Dia
- a_n e b_n - Coeficientes que satisfazem as condições de Dirichlet
- $F(k)$ - Domínio da frequência
- f_1 - Frequência fundamental
- Fc**- Fluxo vertical de CO₂
- FFT**- Transformada Rápida de Fourier
- H**- Fluxo de Calor Sensível
- H₂O** - Concentração de Água
- h**-Hora
- I**- Energia emitida por um corpo
- k**- Números de onda
- LAI** - Índice de área foliar
- LE**- Fluxo de Calor Latente
- n**- Valor que se encontra o pico
- O₂**- Gás oxigênio
- PAR** - Radiação Fotossinteticamente Ativa
- PARi**- Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente
- PFFD**- Densidades de fluxos fotossinteticamente ativo
- PSD** - Densidade do espectro de potência
- Qp** - Densidades do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa
- Qp**- Fluxo de radiação fotossinteticamente ativa
- Δt -Quantidade de dias
- Rn**- Radiação Líquida

RPPN -Reserva Particular do Patrimônio Nacional

T- Período

T- Temperatura

t- Ttempo

UR- Umidade Relativa

w- Velocidade do vento

w'- Velocidade Vertical do Vento

ω -Frequência angular

RESUMO

GONÇALVES, M. R. P. - *Determinação de frequências dominantes de dados micrometeorológicos relacionados a fenômenos naturais em três ecossistemas de Mato Grosso*, 2011. 120 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, MT.

Nesse estudo foram utilizadas variáveis micrometeorológicas (Temperatura, Umidade Relativa do Ar, Radiação Líquida, Fluxo de Calor Sensível, Fluxo de Calor Latente, Radiação Fotossinteticamente Ativa, Concentração de Dióxido de Carbono e Concentração de Água) para três ecossistemas típicos do estado de Mato Grosso: Floresta de Transição Amazônia-Cerrado, Cambarazal e Pastagem Mista, obtendo em torno de 110 séries de dados de um mês. Com os objetivos de analisar os dados utilizando um método de análise de séries temporais, a Série de Fourier e Método de Monte Carlo foram usados para o cálculo de erro e correlacionar as frequências dominantes com fenômenos naturais que influenciam o ecossistema. Com os resultados obtidos pela análise de Fourier pode-se concluir que esse instrumento de investigação é capaz de fornecer informações importantes sobre a dinâmica das variáveis microclimáticas. As frequências dominantes com maior incidência e maior amplitude de variação nos parâmetros estudados em escala de tempo foram: 24, 12, 8 e 6 horas. Apareceram maiores frequências dominantes, porém com menor incidência e variabilidade, principalmente, em períodos de 5, 4 e 2 horas. Devido à Radiação Líquida ter os gráficos das médias com comportamentos semelhantes ao restante das variáveis, pode-se dizer que todos os picos estão relacionados com a radiação solar. As maiores frequências (5 a 2 horas) podem ser por possíveis influências das nuvens e aerossóis. Ainda as possíveis diferenças na cobertura por nuvens podem ser a causa da maior amplitude de variação no Cambarazal pela radiação incidente, nos períodos estudados e menor variação na Floresta de

Transição. A conclusão geral mais forte do trabalho é que, em todos os três ecossistemas estudados, a radiação solar incidente é o fenômeno que mais influencia o comportamento de todas as outras variáveis estudadas.

Palavras-chave: Floresta de Transição Amazônia-Cerrado, Pastagem, Cambarazal, Séries de Fourier, Frequências dominantes, Radiação Solar.

ABSTRACT

GONÇALVES, M. R. P. – *Determination of dominant frequencies micrometeorological data related to natural phenomena in three ecosystems of Mato Grosso*, 2011. 120 f. Thesis (Doctorate in Environmental Physic); Institute of Physic, Federal University of Mato Grosso.

In this study we used micrometeorological variables (temperature, relative humidity, net radiation, sensible heat flux, latent heat flux, photosynthetic active radiation, carbon concentration and water concentration) for three ecosystems: the Amazon transition forest, *Vochysia divergens* (Cambarazal) and Mixed Pasture (Cerrado), by getting around 110 sets of data a month. Aiming to analyze the data, it was employed a method of time series analysis: Fourier series and the Monte Carlo method for calculating error frequencies and correlate with dominant natural phenomena that influence the ecosystem. With the results obtained by Fourier analysis we can conclude that this research tool can provide important information on the dynamics of microclimatic variables. The dominant periods with higher incidence and greater range of variation in the parameters studied in the time scale were 24, 12, 8 and 6 hours. Higher frequencies appeared dominant, but with lower incidence and variability, especially in periods of 5, 4 and 2 hours. As Net Radiation presented averages with similar behavior to the rest of the variables, we can say that all the peaks are related to solar radiation. The higher frequencies (5-2 hours) may be due to the influence of clouds and aerosols. Although possible differences in cloud cover can be the cause of the greater range of variation in the wetland by the incident radiation, in the studied periods, and less variation in the transition forest. The general conclusion of the work is that in all the three ecosystems studied the

incoming solar radiation is the main phenomenon influencing the behavior of all other variables.

Keywords: Amazon Transition Forest, Mixed Pastured (Cerrado), *Vochysia divergens*, Fourier series, Dominant frequency, Solar Radiation.

1 INTRODUÇÃO

A sociedade vive em um contexto em que, desde o século XX, estão sendo verificadas mudanças globais climáticas, devido às ações antropogênicas ou mesmo naturais, que estão sendo pesquisadas para entender e prever o futuro do Planeta.

De acordo com IPCC (2007) as projeções sobre os principais impactos do aquecimento global indicam um cenário devastador, tanto no que tange ao meio ambiente quanto à economia, caso não existam medidas concretas para diminuir o aumento da temperatura do planeta.

Existem evidências de que eventos extremos como enchentes, ondas de calor e de frio, secas, furacões e tempestades afetam todo planeta. No Brasil, exemplos como o furacão Catarina em 2004, a seca da Amazônia em 2005 etc, indicam a vulnerabilidade do Brasil em relação às mudanças climáticas.

As áreas mais vulneráveis compreendem a Amazônia e o Nordeste do Brasil, conforme estudos recentes (Ambrizzi et al., 2007; Marengo, 2007; Marengo et al., 2007). A situação preocupante na Amazônia está relacionada com a bacia hidrográfica do Rio Amazonas, o qual contem cerca de 70% da disponibilidade de água doce mundial. As chances de ocorrerem períodos de intensa seca na região da Amazônia podem aumentar dos atuais 5% (uma forte estiagem a cada vinte anos) para 50% em 2030, e até 90% em 2100 (Cox et al., 2008; Marengo, 2008).

O Pantanal é a maior planície úmida continental do planeta e o berço de uma rica biodiversidade, e por causa das alterações climáticas e do desenvolvimento descontrolado da região, está sendo ameaçado. Pode-se afirmar que o clima será mais quente e possivelmente com chuvas mais irregulares concentradas em poucos dias nesta região (Marengo & Valverde, 2007).

A mudança climática no Cerrado pode ocasionar diminuição da sua biodiversidade e de seus recursos naturais, tudo isso é piorado pelas alterações da cobertura de vegetação, ocasionados pelo desmatamento desordenado. Além disso,

pode ocorrer um aumento de 2°C a 3°C na temperatura e o desaparecimento de até 25% das árvores do cerrado (MMA, 2007).

A modelagem representa o funcionamento de um ecossistema. Quanto mais se conhece sobre as variáveis que influenciam o ecossistema, mais próximo da realidade se tornará o modelo, por conseguinte este será um instrumento eficaz de previsões climáticas em ecossistemas, podendo ser devido às ações naturais ou mesmo antrópicas. A partir de todas as informações coletadas nos ecossistemas, sobre seu funcionamento e influências de fenômenos naturais são criados modelos matemáticos.

Pesquisar as mesmas variáveis micrometeorológicas em três ecossistemas diferentes do Mato Grosso é de extrema importância para melhor compreendê-las e analisar quais fenômenos naturais influenciam cada variável, tudo isso, para futuramente poder construir modelos, com as componentes mais relevantes, sobre os ecossistemas estudados. Uma etapa importante do processo de compreensão da dinâmica dos ecossistemas é a identificação das principais frequências (ou frequências dominantes) que caracterizam a periodicidade da variação temporal desses parâmetros.

Essa pesquisa teve como objetivo geral identificar as frequências dominantes, com periodicidade intradiária dos seguintes dados micrometeorológicos: Temperatura, Umidade Relativa do Ar, Radiação Líquida, Fluxo de Calor Sensível, Fluxo de Calor Latente, Radiação Fotossinteticamente Ativa, Concentração de Dióxido de Carbono e Concentração de Água, utilizando a análise de Fourier e de seus erros, pelo método de Monte Carlo, dessas variáveis meteorológicas e fluxos em três ecossistemas naturais no estado de Mato Grosso.

Os objetivos específicos constituem da:

- a. identificação das frequências dominantes, com periodicidade intradiária, para as variáveis micrometeorológicas medidas em torres no estado de Mato Grosso: na Floresta de Transição, 50 km a noroeste de Sinop, envolvendo 10 anos de dados coletados (entre 1999 e 2008); no Cambarazal, dentro da Reserva Particular do Patrimônio Nacional (RPPN) SESC Pantanal, com 4 anos de dados coletados (2007 e 2010), e na Pastagem, situada na Fazenda

Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso, utilizando dados de 2007;

- b. comparação dos coeficientes A_n e B_n de Fourier para cada variável nos três ecossistemas estudados;
- c. análise de todas as variáveis estudadas em cada ecossistema separadamente.

A comparação de uma análise temporal nos três ecossistemas é de suma importância, pois leva a entender melhor o funcionamento de cada variável estudada e qual a sua real influência em cada ecossistema, além disso, aponta quais fenômenos naturais influenciam nos ecossistemas estudados, tudo isso corroborando na produção de um futuro modelo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A ANÁLISE DE FOURIER EM ECOSISTEMAS

A utilização da análise de Fourier no estudo da interação biosfera-atmosfera pode ser encontrada em alguns trabalhos na literatura. Nos próximos subitens revisar-se-á vários artigos científicos, podendo utilizar a análise de Fourier em termos de séries de senos e cossenos, ou separando os senos e cossenos, denominada “Transformada Rápida de Fourier” (*Fast Fourier Transform*, ou FFT), empregado neste trabalho, ou ainda através do método do “espectro de potências” (*power spectra*), baseada, por sua vez, numa série de exponenciais imaginárias.

2.1.1 Análise Espectral na Ecologia

Platt & Denman (1975) utilizaram a análise espectral na ecologia com uma base não linear da mecânica estatística, este método, surgiu de várias tentativas para encontrar uma abordagem matemática geral que desse conta de modelar sistemas vivos, bem como de fenômenos não vivos. Identifica a característica mais importante de sistemas complexos e descreve por equações diferenciais as relações funcionais entre os componentes do sistema não linear.

Uma característica fundamental dos sistemas não lineares é a sua disposição para o comportamento periódico, mesmo para condições de contorno não periódicas. Portanto, eles tendem a uma organização (cíclica) periódica no tempo, no espaço, ou em ambos. De acordo com essa visão, o biosistema é visto como um conjunto de osciladores não lineares, acoplados em várias configurações funcionais em cada nível hierárquico da descrição do sistema. O elemento básico de organização temporal em um sistema desse tipo é o ciclo: uma descrição completa do sistema, no

qual deve incluir uma lista das frequências de todos os seus ciclos dominantes. Isto é, uma maneira de especificar um sistema, ou mesmo de especificar o seu espectro, uma vez que o espectro é apenas uma representação de frequências de ações possíveis de um processo organizado de acordo com sua importância relativa.

Muitos exemplos na teoria ecológica descrevem modelos de sistemas vivos a partir da mecânica estatística, onde são predominantes os efeitos não lineares, em seguida, esses modelos devem ser válidos para a realidade do ecossistema. A incidência de picos dominantes sugere que os ecossistemas devem exibir comportamento periódico no tempo e no espaço, com isso consegue identificar e interpretar as frequências, características ou periodicidades, nos quais os resultados devem ser um dos objetivos centrais da ecologia.

Quando se utiliza programas de amostragem ecológica torna improvável que determinadas periodicidades apareçam, e pode ser que buscando uma maneira de minimizar os ruídos, os ecólogos não consigam perceber influência de uma variável de interesse real.

Pode-se distinguir duas grandes classes de comportamento periódico ou organizada. O primeiro depende das propriedades não lineares do sistema em si: o fornecimento de energia que mantém a estrutura pode ser constante ou aperiódica. Neste caso, há modos de comportamento do sistema que são independentes das condições externas. Na segunda classe, o comportamento no sistema pode resultar da periodicidade por causa do fornecimento de energia externa. Dois casos particulares da segunda classe são os ciclos diários e sazonais que são induzidos, respectivamente, em resposta à frequência de rotação da Terra em torno do seu próprio eixo e à frequência de rotação da Terra em torno do Sol. Os ciclos diários e sazonais são apenas dois modos possíveis de resposta do ecossistema, não deve-se ser insensíveis à infinita variedade de outras possibilidades.

Nos próximos parágrafos mostra-se que se em qualquer série de medidas não seja possível examinar todo o espectro de frequências de possíveis comportamentos, é melhor que se faça um exame detalhado de uma parte selecionada, ou "janela de observação", do espectro disponível. Por esta razão, as amostragens para longas séries ecológicas não seriam necessariamente a melhor maneira de estabelecer a existência de um espectro de oscilações por interações não lineares. Apresentar-se-á

um resumo da análise espectral de potência e, primeiramente, uma breve análise de séries temporais.

Uma série temporal é uma sequência de números representando uma progressão de algum parâmetro no tempo, ou seja, é uma função $x(t)$ em relação ao tempo (t). A principal característica de uma série temporal é uma função aleatória ou não determinística do tempo: o seu comportamento futuro não pode ser previsto exatamente contrário.

A análise espectral de potência é uma forma da análise da variância de uma série temporal em que a variância da série de números sobre a sua média é particionado em contribuições das frequências que são os harmônicos da quantidade do conjunto de dados. Ao contrário da análise harmônica, no entanto, a análise espectral tem uma abordagem estatística em que a série temporal é a realização de um processo estocástico (Morettin, 2006).

Algumas teorias do espectro de potência:

Para a função de autocovariância, considera-se primeiramente uma série finita de N pontos igualmente espaçados de dados $x_t, t = 1, 2, \dots, N$ onde a média é:

$$x_m = N^{-1} \sum_{t=1}^N x_t, \dots \text{Equação I}$$

A equação I foi definida como igual a zero a fim de facilitar o trabalho. Além disso, supõe-se que a série obedeça a uma distribuição gaussiana ou normal e está parada.

A função de autocovariância da amostra é definida como:

$$c_{xx}(k) = N^{-1} \sum_{t=1}^{N-k} x_t x_{t+k}, k = 0, 1, 2, 3, \dots, M-1, \dots \text{Equação II}$$

onde k é o número de falhas e $(M-1)$ é o número máximo de defasagens. Ou seja, a função de autocovariância é a operação de deslizar o conjunto de dados ao lado de uma cópia de si mesmo e os produtos da soma de pontos de dados adjacentes. Esse resultado fornece informações sobre como pontos vizinhos, são correlacionados.

Quando $k = 0$, $c_{xx}(k) = 0$, $c_{xx}(k) = N^{-1} \sum_{t=1}^N x_t x_t$ trata-se aqui, da variância da amostra

s_N^2 . À medida que aumentam as falhas (k), a incerteza estatística na estimativa $c_{xx}(k)$ também aumenta, porque as sobreposições da série em si mesma por uma fração

menor da série histórica total, e $c_{xx}(k)$ é formado a partir das somas de produtos cada vez menores.

O periodograma: Um resultado fundamental da análise de Fourier é que se pode decompor uma série de tempo finito em uma soma de funções seno e cosseno de diferentes frequências, determinado pelo comprimento, onde se minimiza o erro ε_t , na aproximação ao tempo da série $x_t, t = 1, \dots, N$:

$$x_t = A_0 + \sum_{l=1}^q (\alpha_l \cos 2\pi\Delta f_l t + \beta_l \sin 2\pi\Delta f_l t) + \varepsilon_t \dots \dots \dots \text{Equação III}$$

Em que: $I(f_l) = \frac{i}{N\Delta}$ $f = i / NA$ é o harmônico i^{th} da frequência fundamental $\frac{1}{N\Delta}$ e Δ é o intervalo de tempo. Se as estimativas dos mínimos quadrados dos coeficientes α_0 e (α_1, β_1) são α_0 e (a_1, b_1) , o periodograma consiste nos valores que $q = N/2$,

$$I(f_l) = \frac{1}{2} N(a_i^2 + b_i^2) \quad i = 1, 2, \dots, q-1, \quad \text{e} \quad I(f_q) = I(0.5/\Delta) = Na_q^2 \dots \dots \text{Equação IV}$$

em que o $I(f_l)$ é a intensidade da frequência f_l . As estimativas do periodograma, então, são definidos para frequências equidistantes variando de $1/(2N\Delta)$ até para $f_q = 1/(2\Delta)$, chamada de frequência de Nyquist. Essas duas frequências definem os limites inferior e superior de uma faixa de frequência a que se refere como a janela de observação. Devido à escolha do comprimento N e a série de amostragem no intervalo de Δ , temos a possibilidade de obtenção de informações sobre o nosso sistema em todas as frequências fora dessa faixa.

Se o espectro de potência é o cosseno da Transformada Rápida de Fourier, na função de autocovariância, a função autocovariância é conhecida matematicamente pela equivalência ao conhecimento do espectro de potência, e vice-versa. Outro resultado importante do espectro de potência consiste na variância de um processo estocástico em função da frequência. A partir de uma série de tempo finito que representa uma única realização do processo estocástico, pode-se obter um espectro da amostra ou adotando o cosseno da análise de Fourier na função estimada de autocovariância ou ainda por uma análise periodograma.

2.1.2 Medição e Modelagem de fluxos de energia no dossel de Florestas de Coníferas homogêneas e heterogêneas

Em Baldocchi et al. (2000) os autores usam a análise de espectro de potências e co-espectro para analisar a aplicação do método de *Eddy covariance*, método que busca medir e interpretar os fluxos de massa e energia em Florestas de Coníferas, assim como, se os espectros de turbulência dentro da vegetação diferem daqueles associados com o fluxo de fluido acima do dossel devido a um curto-circuito da cascata inercial (Baldocchi & Meyers, 1991) e da intermitência da turbulência que resulta da erosão do vento forte no topo do dossel (Kaimal & Finnigan, 1994).

A área de estudo de Baldocchi et al. (2000) foi dividida em dois tempos diferentes: o primeiro foi em uma Floresta próxima a Nipawin, província de Saskatchewan, no Canadá (53°54'58,82"N;104°41'31,29"O, altitude de 579,3m), no ano de 1994, entre maio e setembro. Este lugar, Jack Pine (*P. banksiana*) está localizado na porção sul da Floresta boreal com uma precipitação média de 398 milímetros, a temperatura mínima diária, durante este período, variou entre 2,6 e 10,6 °C e a temperatura do ar máxima diária variou entre 16,4 e 24,2 °C. A região recebe cerca de 2.570 MJm⁻² por ano de radiação fotossinteticamente ativa. A altura do dossel variou entre 12 e 15m.

O segundo estudo foi realizado sobre a Floresta *Ponderosa Pine Stand* (*P. ponderosa*) na Floresta nacional de Deschutes perto de Camp Sherman, Oregon (OR) (latitude 44,489°N; longitude 121,65° O, altitude 941 m). A *Ponderosa pine* é uma espécie ampla, no oeste da América do Norte, que está sujeita a variações sazonais consideráveis no clima. Elas são normalmente expostas a temperaturas de congelamento no inverno, precipitação anual baixa (menores que 600 milímetros por ano) e déficit hídrico do solo além de grandes déficits de pressão de vapor durante o período vegetativo (Franklin & Dyrness, 1973).

A altura do dossel média das árvores jovens era de 10m, e as árvores antigas têm, em média, 34m de altura. A região recebe cerca de 2.300 MJm⁻² de radiação fotossinteticamente ativa ao longo de um ano (Runyon et al., 1994; Law et al., 2000). Em 30 anos de medições climáticas, na estação meteorológica OR, 13 km a sudeste do campo de estudo, registrou-se uma temperatura média anual de 8,66 °C e uma precipitação média anual de 360 milímetros. Julho e agosto são tipicamente quentes

(temperatura média de 18° C) e secos (menor que 15 milímetros de chuva por mês). Em 1996, a precipitação total foi 595 milímetros, sem precipitação em Julho e Agosto.

Os dados foram analisados em médias de 30 minutos nos quais aplicou-se as Transformadas Rápida de Fourier para examinar as características espectrais de velocidade vertical do vento (w), temperatura do ar (T) e umidade (UR). Apresentados nas Figuras 1a e 1b, dados representativos que foram medidos sobre as Florestas de *Ponderosa Pine* e *Jack Pine Stands*, respectivamente. Nas Figuras, apresentam-se espectro de potência normalizada para a velocidade vertical (w), temperatura do ar (T) e umidade (UR). Para generalizar, os espectros de energia estenderam os números de onda (k) entre 0,0004 e $10m^{-1}$. Os espectros de energia possuem amplos picos na faixa de número de ondas entre 0,01 e $0,1 m^{-1}$. A queda espectral foi observada em números de ondas mais elevados, uma região que é tipicamente associada com o subintervalo inercial. Maiores espectros de potência exibiram um curto-circuito da cascata inercial (estas encostas foram mais íngreme do que o valor clássico de $-2/3$ para a frequência em espectros ajustados, nS (n)). No *Jack Pine Stands*, o espectro de potência das variáveis w , q , T foram $-0,86$, $-0,95$, $-1,07$ e $-1,35$, respectivamente. Com relação aos dados da Floresta de *Jack Pine*, os espectros de energia na região pós-pico foram mais próximos a valores associados à superfície turbulenta da camada limite (por exemplo, Kaimal et al., 1972). Os valores para w , u , T e UR foram $-0,67$, $-0,77$, $-0,90$ e $-0,79$, respectivamente.

Com base nas informações da Figura 1, pode-se concluir que o espectro mostrou-se capaz de medir a maioria dos vórtices turbulentos, e que contribuem para variações de turbulência e covariâncias. A frequência natural no eixo x é dividida pela velocidade do vento. No pressuposto da hipótese de Taylor, essa métrica aproxima número de ondas $\left(k = 1/\lambda, m^{-1}\right)$.

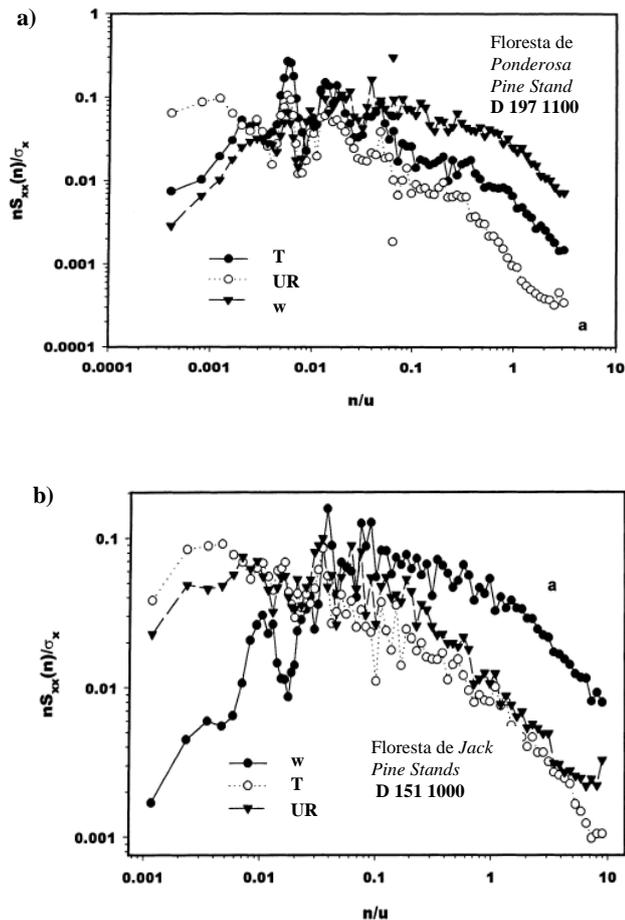


Figura 1: Espectros de potência para temperatura (T), umidade (UR) e velocidade do vento vertical (w) a 2m acima do solo no sub-bosque de um stand:(a) *Ponderosa Pine Stand*. Os dados foram obtidos às 11:00 horas no dia 197 de 1996 e em (b) *Jack Pine Stands*. Os dados foram obtidos às 10:00 horas no dia 151 de 1994. Para os dois casos a densidade espectral no eixo y é multiplicado pela frequência natural (n) e esta é normalizada pela variância.

Fonte: BALDOCCHI et al. (2000)

2.1.3 Análise espectral de fluxos de gases traços e variáveis meteorológicas na biosfera- atmosfera, em escala de horas a anos

Baldocchi et al. (2001) descreve as variações temporais de CO₂ e fluxo de vapor de água entre a interação de 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.

No ambiente natural a variação temporal atravessa por vários acontecimentos como: movimento rotacional e transacional do Sol pelo céu, a passagem de nuvens na atmosfera, rajadas de vento e as mudanças sazonais devido às estruturas das plantas.

A resposta dinâmica no ecossistema pela troca de CO₂ e vapor de água ocasiona uma perturbação ambiental dependendo da resposta combinada dos compartimentos de componente do ecossistema. Relevantes séries de tempo pertinentes à variação temporal em variáveis meteorológicas, como: vento, temperatura e luz solar, acoplados aos processos biológicos, como fotossíntese, respiração e evaporação, variam de fração de segundos a anos.

O fluxo de CO₂ é ocasionado pela assimilação das folhas e respiração por folhas, troncos, raízes e material orgânico do solo. Em contrapartida existe a troca de vapor de água acarretada pela transpiração de planta, evaporação do solo e a evaporação de água livre (que pode existir em folhas depois de orvalho ou chuva).

Quando se compara as escalas do tempo, tem-se frequências em curtos tempos (menores que 1 hora), conforme as variações dos fluxos de CO₂, o qual acontece por mudanças na fotossíntese, condutância estomatal e respiração. Em geral, a fotossíntese e a condutância estomática respondem diferentemente às mudanças lentas e rápidas da luz solar. Dependendo do estado de indução, pode demorar alguns minutos para a fotossíntese e a condutância estomática alcançar um novo equilíbrio depois de uma variação da luz solar, como por exemplo, o bloqueio da luz solar pela passagem de uma nuvem. Mudanças na luz solar também afetam a temperatura das folhas e a taxa de transpiração das mesmas, devido à capacidade térmica das folhas, a respiração destas não muda tão rapidamente quanto a fotossíntese.

Na série de tempo diurna (24 horas), variações dos fluxos de CO₂ e troca de vapor de água estão relacionados com os ritmos diários de radiação solar, ar e temperatura de terra, umidade e CO₂. Impulsos notáveis ocorrem próximo do amanhecer e pôr do Sol, como durante o dia a biosfera ganha carbono e perde água, à noite perde carbono.

Semanalmente podem ser induzidas flutuações no fluxo de CO₂ e troca de vapor de água, que são associados com a alteração de sistemas (altas e baixas de pressão e frentes meteorológicas). Estes eventos causarão períodos distintos de céus claros, obscuros e, em parte, nublados. As condições meteorológicas alteram a quantidade de luz disponível para um ecossistema e afetam a forma como a luz é transmitida através de um dossel e como é usado para assimilar carbono. Por exemplo, fotossíntese no dossel é mais eficiente debaixo de céus nublados. Estas frentes meteorológicas, como mudanças de temperatura de ar, déficits de umidade e pressão, pode impor flutuações de séries semanais na fotossíntese, respiração e na dinâmica estomatal, e em como os processos fisiológicos de um ecossistema respondem a mudanças nas variáveis meteorológicas citadas.

Em relação ao período mensal as séries de tempos são sazonais. Um ecossistema começa a experimentar os efeitos da mudança sazonal à posição do Sol, que inclui a quantidade potencial de luz solar recebida, temperatura de superfície e o equilíbrio de água de solo. Sobreposto às variações destes fatores meteorológicos é atribuída à fenologia de um ecossistema. Exemplos incluem a cronometragem e ocorrência da expansão de folha e crescimento, capacidade fotossintética, índice de área foliar e perda de folha.

As séries de tempo interanuais, a cronometragem fenológica das plantas nas quais trocam eventos, como queda de folhas, podem ser avançado ou demorado antes de um mês devido às características climáticas com as que podem ser associadas *El Niño* ou *La Niña*. Duração de vegetações crescente tem uma influência profunda na produtividade de biosfera líquida e pode ter um impacto principal em fluxos interanuais de gás carbônico.

A maioria dos investigadores que estudam as relações dos fluxos de gás entre a biosfera e atmosfera tratou os dados com série de tempos. Os investigadores deduzem dinâmicas temporais de trocas de CO₂ na biosfera-atmosfera indiretamente, examinando registros a longo prazo de concentração de CO₂ (por exemplo: Braswell et al. 1997, Randerson et al.1999).

A análise de Fourier transforma uma série de tempo estocástica em uma soma de ondas periódicas, quantificando o valor da discrepância (ou poder) que é associado a frequências particulares ou períodos. O método foi usado para examinar

características espectrais de turbulência atmosférica (por exemplo: Kaimal et al. 1994, Kimball 1983, Anderson et al. 1986) e registro de clima (Heusser et al. 1999, Ridgwell et al. 1999).

A análise espectral pode ser usada para quantificar quanto poder é associado com periodicidades dos ciclos diários e anuais, ou ainda, para quantificar o impacto de discrepância gerado por frentes, invernos longos ou curtos, secas de verão ou anos nublados chuvosos.

Alguns objetivos foram desenvolvidos como, examinar as propriedades dos espectros de potências de variáveis meteorológicas e densidades de fluxos de CO₂, vapor de água e calor sensível sobre uma Floresta temperada. Investigar como fatores ambientais interagem com fotossíntese do dossel, respiração, evaporação e Fluxo de Calor Sensível. Combinar a análise de dados dos cálculos com o modelo biofísico (CANOAK; Baldocchi 1997), simular o espectro de frequências que incluem uma soma anual de CO₂: como os picos representam tendências sazonais em parâmetros de modelos como a capacidade fotossintética e o índice de área folhear.

O local de campo experimental fica situado no Departamento de Reserva de Energia dos Estados Unidos, próximo a *Oak Ridge*, Tennessee-TN (latitude 35° 57'30"N; longitude 84°17'15"W; 335m sobre nível de mar). A vegetação no local consiste em espécies predominantes como: carvalho (*Quercus alba* L., *Q. prinus* L.), castanheira americana (*Carya ovata* (Mill.) K. Koch) etc. A altura do dossel é de aproximadamente 26 m. O método de *Eddy Covariance* foi usado para medir os fluxos de gases entre a biosfera e atmosfera. Os instrumentos micrometeorológicos foram instalados a 36,9 m acima do chão (10m acima da Floresta) em uma torre de 44m. Com o anemômetro sônico tridimensional, mediu-se a velocidade do vento e temperatura. Para analisar o fluxo de gás carbônico e vapor da água utilizou-se o analisador de gás infravermelho (LICOR).

Fez-se uso da análise de Fourier como série temporal para as variáveis de fluxo de CO₂, vapor de água e fluxo de calor sensível. Especificamente, a Transformada de Fourier, foi usada para computar os espectros de potência, co-espectros e espectros de ângulo de fase.

A ação de força climática na atmosfera e biosfera foi estudada durante 4 (quatro) anos, as somas anuais de precipitação variaram entre 1.400mm (1995) e

1.693mm (1998). Para referência, em 30 anos a precipitação anual perto do local é 1.372 mm. Nesses 30 anos a temperatura normal foi 13,9°C. As partidas anuais da média eram +1,4°C (1995), +0,6°C (1996), +1,0°C (1997) e +2,6°C (1998). Em 1998 o estudo foi especialmente notável pelo aparecimento do “El Nino”, onde no sudoeste dos Estados Unidos foi um ano mais morno e mais chuvoso do que normal.

Na Figura 2 estão expostos os índices de área foliar usando dimensões de transmissão de luz e sua variabilidade interanual entre os anos de 1995 a 1998, tendo valores máximos na ordem de 5,5 a 6,0. O aparecimento de folhas, na primavera, começou antes do dia juliano 100, durante os anos 1995, 1997 e 1998. Em 1996, o desenvolvimento das folhas estava atrasado, aproximadamente, duas semanas em relação aos outros anos. Períodos nublados em 1997 e 1998 atrasaram a data de crescimento de folhas, observado em 1996 entre os dias 130 e 140. Com o fim da primavera, onde ocorreu a queda das folhas, as datas de senescência e queda completa de folhas variou entre os 4 anos. O ano com senescência mais cedo foi 1995. O ano com a última senescência foi 1998.

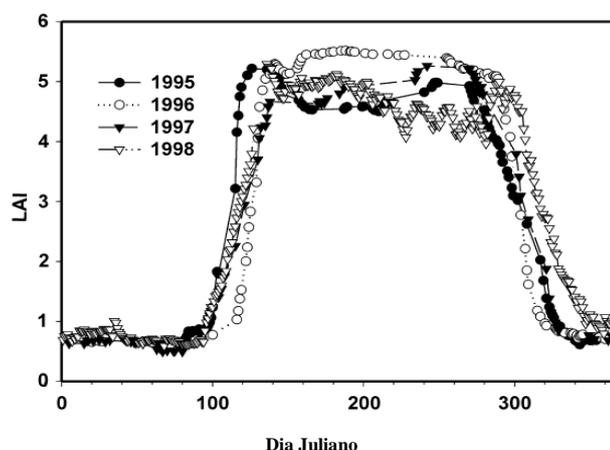


Figura 2: Variação sazonal do índice de área foliar, durante os anos de 1995 a 1998, em *Oak Ridge, TN*

Fonte: BALDOCCHI et al. (2001)

Para compreender o espectro de CO₂ e a troca de vapores de água, ao longo do ano, em Baldocchi et al. (2001) analisou-se alguns espectros e a influência de algumas variáveis, as quais poderiam influenciá-los.

A forma de quadrado-onda da série temporal do índice de área foliar, durante um ano representativo, 1996, produz um espectro de potência (*power spectrum*) no

qual aparecem picos com período de 205 dias (0,00487 por dia) (Figura 3). Um declive acentuado íngreme acontece para o período de 68 dias (0,0147 por dia).

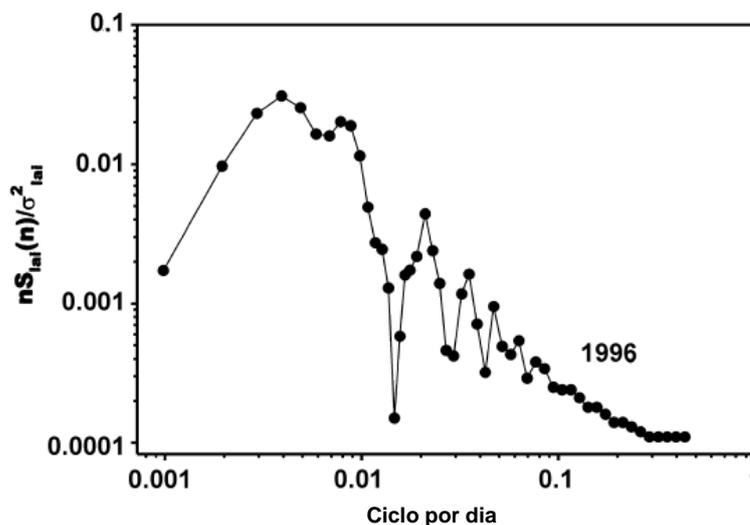


Figura 3: Espectro de potências do índice de área foliar durante o ano de 1996, em *Oak Ridge, TN*
Fonte: BALDOCCHI et al. (2001)

As Figuras 4 a 7 mostram os espectros de densidades do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), temperatura do ar (T), velocidade do vento (w) 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.

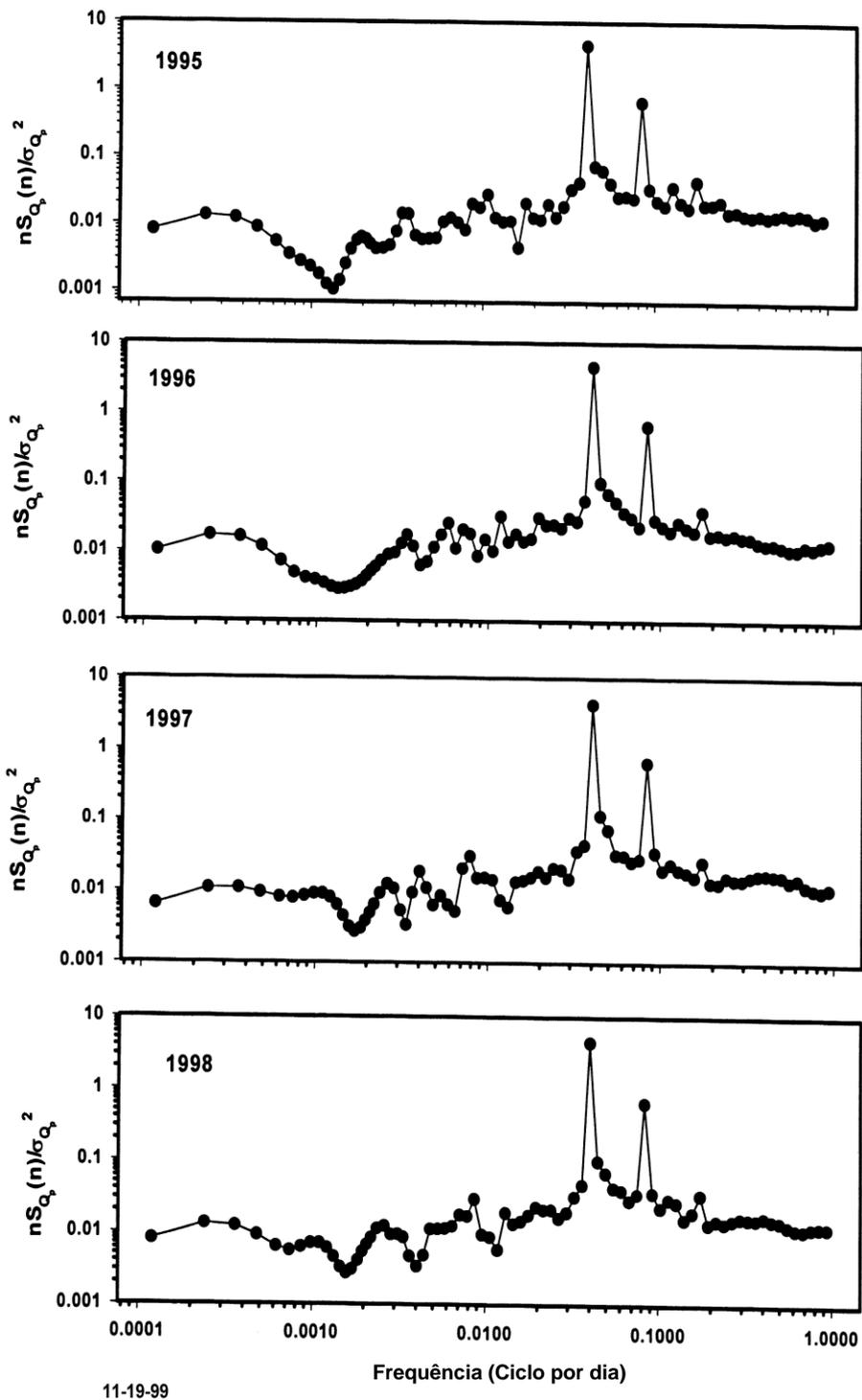


Figura 4: Espectro de potências do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa, no período de 1995 a 1998, em *Oak Ridge, TN*
Fonte: BALDOCCHI et al. (2001)

As características dos espectros de fluxo de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e temperatura do ar (Figuras 4 e 5, 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 a 24 e 12 horas, respectivamente, ou seja, o período diário e semidiário. Os picos de baixa frequência que variam de sazonais a semianuais (3 a 6 meses), em escalas de tempo (0,0002 a 0,0004 h⁻¹).

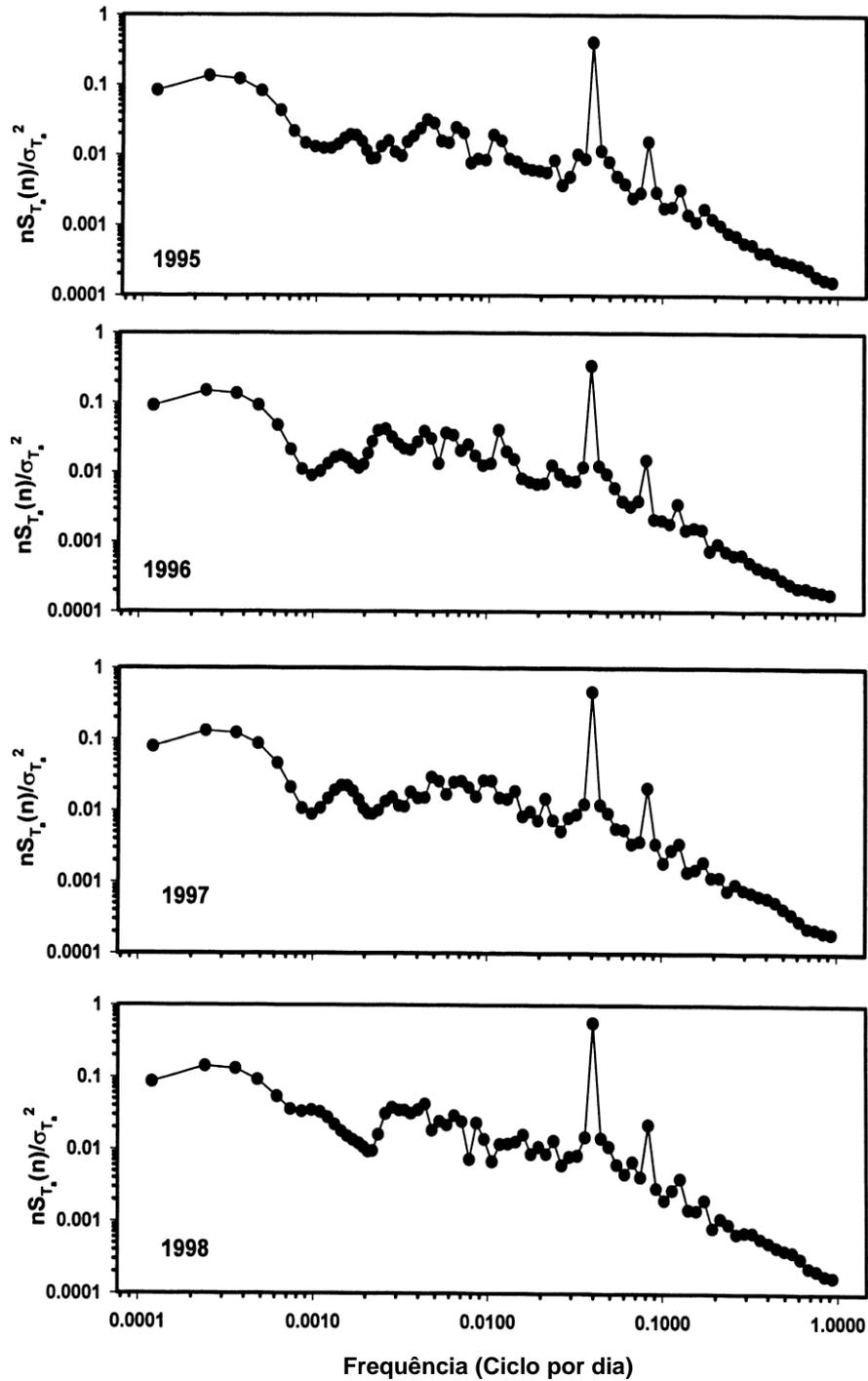


Figura 5: Espectro de potências da Temperatura do ar, no período de 1995 a 1998, em *Oak Ridge, TN*

Fonte: BALDOCCHI et al. (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 no espectro de potências da luz solar e temperatura do ar. Os picos nas escalas sazonais a semianuais são características de diferenças entre o clima, durante inverno, verão, primavera e outono e a duração do crescimento da estação.

Relativo a dessemelhanças em relação às menores frequências ($n < 0,0003h^{-1}$) do espectro de potências da radiação fotossinteticamente ativa e temperatura do ar, observa-se que o pico sazonal é muito menos pronunciado (por um fator de 10) para temperatura do ar, Figuras 4 e 5, respectivamente.

O espectro de potências da velocidade do vento (Figura 6) possui muitos contrastes, em comparação com os espectros da luz solar (Figura 4) e temperatura do ar (Figura 5). Por exemplo, o espectro da velocidade do vento não mostra um pico tão facilmente identificável com a periodicidade de 12 horas, excluindo o ano de 1996. Não foi observado picos nos períodos de 1 a 3 h do espectro de velocidade de vento, como foi sugerido por Van der Hoven (1957) e alguns livros de ensino meteorológicos (Panofsky & Dutton 1984).

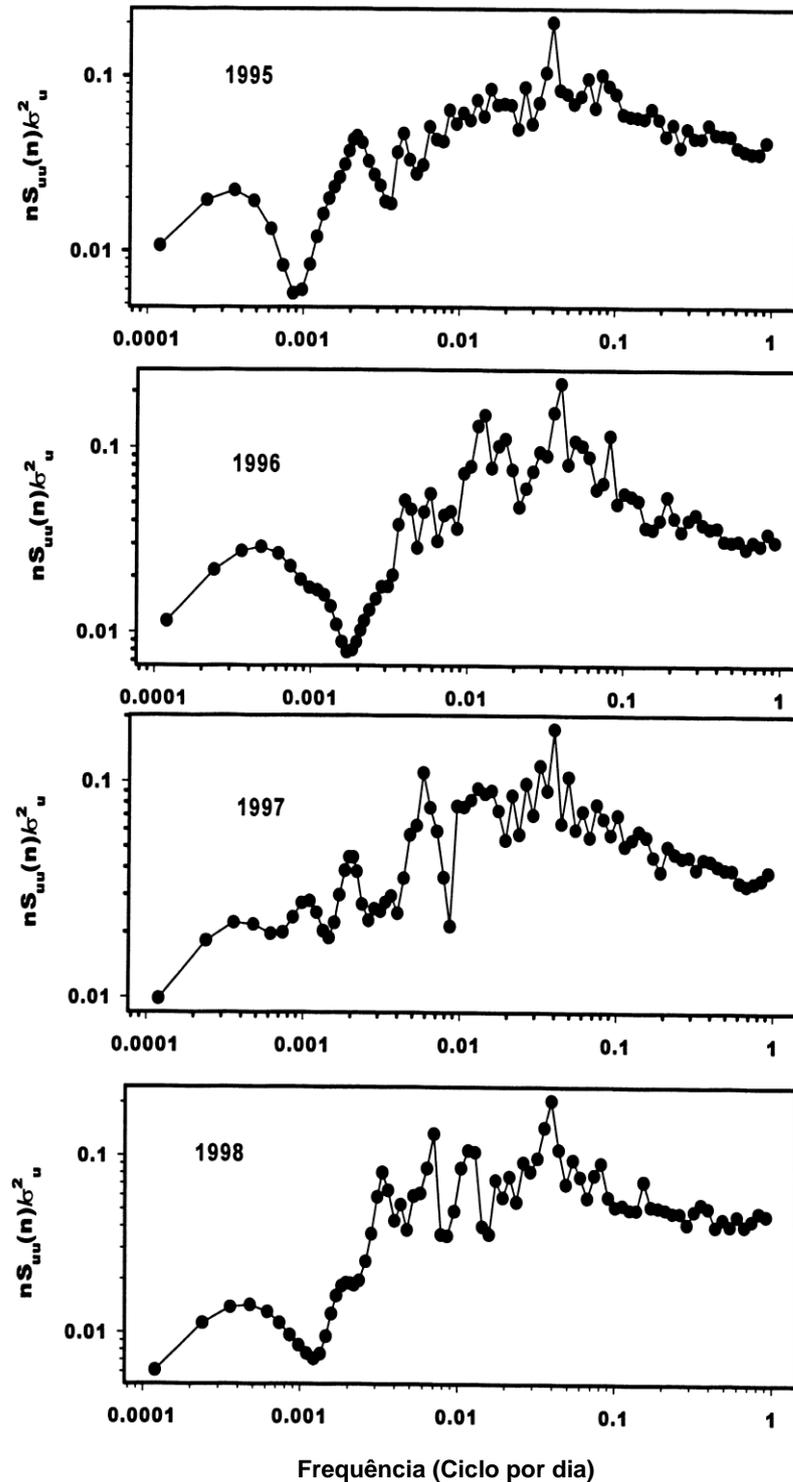


Figura 6: Espectro da velocidade do vento, no período de 1995 a 1998, em *Oak Ridge, TN*

Fonte: BALDOCCHI et al. (2001)

O fluxo de CO₂, apresentado na Figura 7, tem picos em baixa frequência ($n \sim 0,0004h^{-1}$), que correspondem aos picos obtidos para a área foliar (Figura 3), radiação fotossinteticamente ativa (Figura 4) e temperatura do ar (Figura 5),

sugerindo que essas quatro variáveis estão fortemente acopladas no ecossistema estudado. Os períodos do fluxo de CO₂ apresentam também os ciclos de 24 horas (0,0416 h⁻¹) e 12 horas (0,0833 h⁻¹) observados no fluxo de radiação fotossinteticamente ativo e temperatura do ar, 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, pela Transformada de Fourier.

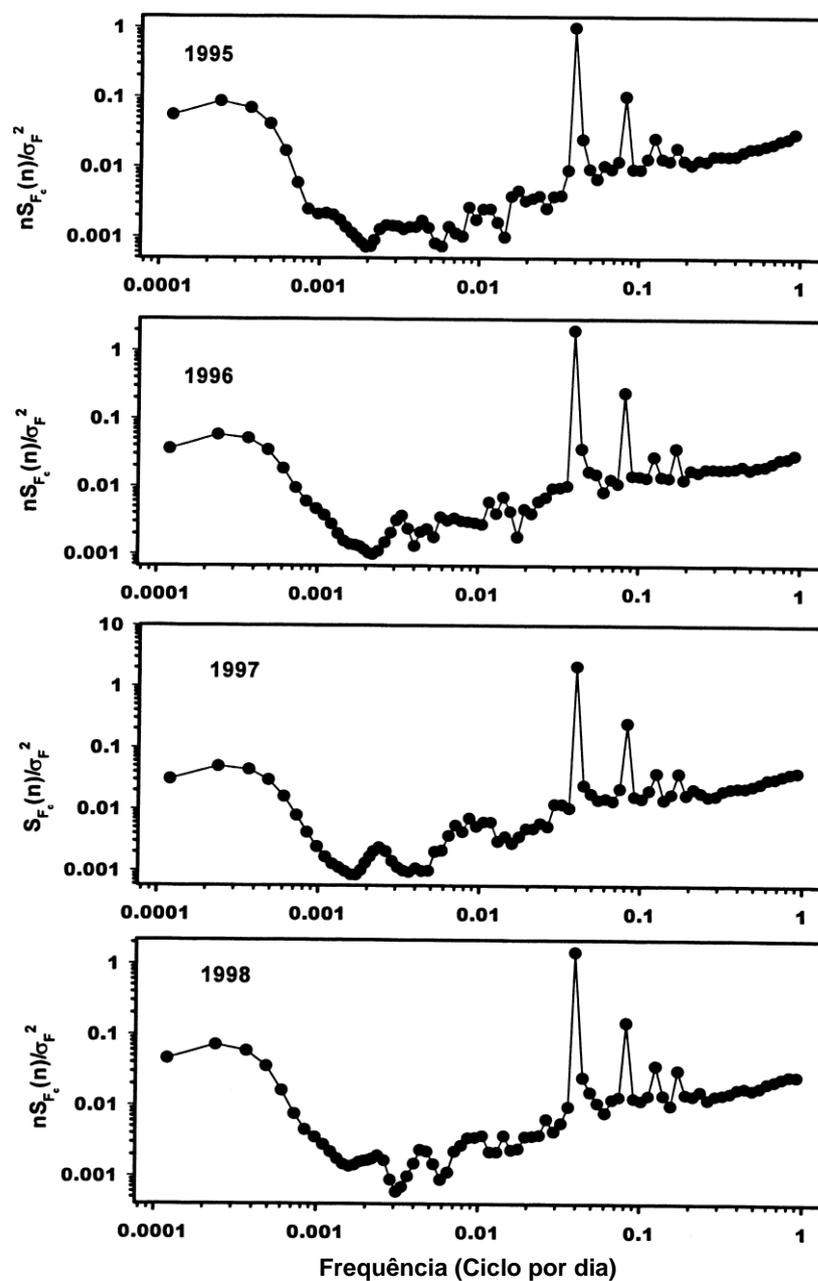


Figura 7: Espectro do fluxo de CO₂, no período de 1995 a 1998, em *Oak Ridge, TN*
 Fonte: BALDOCCHI et al. (2001)

Na Figura 8, podem ser observados os picos ocorridos em períodos de 342 dias (0,00292 por dia), 120 dias (0,00833 por dia), 52 dias (0,0192 por dia), 17 dias (0,0588 por dia) e 3,7 dias (0,222 por dia). Os períodos mais longos e o mais curto correspondem aos ciclos anuais e à passagem de frentes meteorológicas. 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.

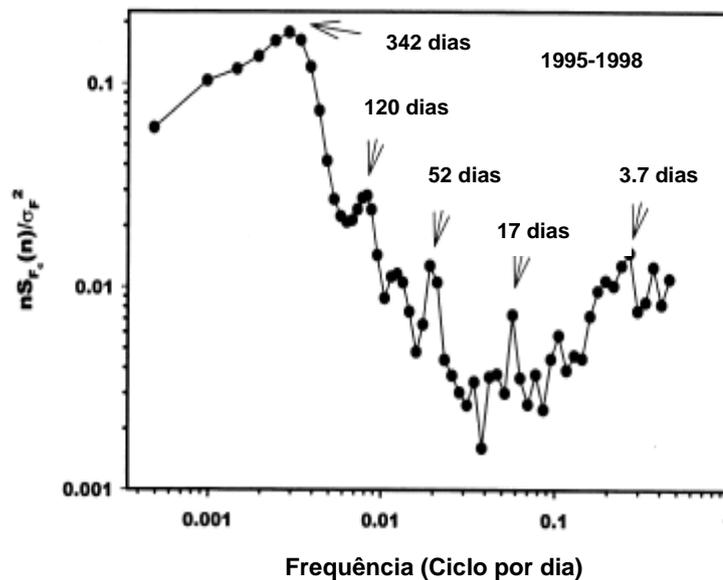


Figura 8: Espectro do fluxo de CO₂, aplicando a transformada de Fourier, entre 1995 a 1998, em *Oak Ridge, TN*

Fonte: BALDOCCHI et al. (2001)

À escala anual aplicada ao espectro de fluxo de calor latente, mostrado na Figura 9, faz-se uma superposição dos espectros de densidades do fluxo de calor latente (Figura 9) e CO₂ (Figura 7), e encontra-se o mesmo padrão espectral, porém nos picos e lacunas não se têm uma correspondência perfeita.

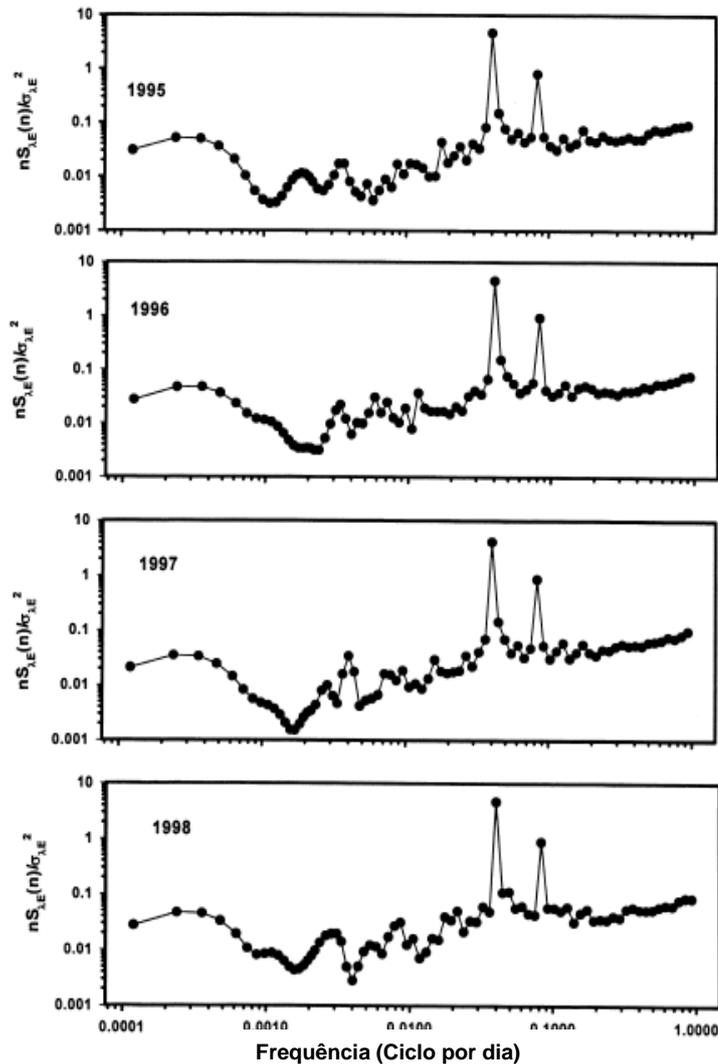


Figura 9: Espectro do fluxo de calor latente, no período de 1997 e 1998, em *Oak Ridge, TN*
Fonte: BALDOCCHI et al. (2001)

Há evidências que mostram a relação da assimilação de carbono com a evaporação, em horas e dias. Baldocchi et al. (2001) demonstrou como esses processos acontecem ao longo do tempo.

Na Figura 10a apresenta-se um co-espectro entre os fluxos de densidade de calor latente e CO₂. Na Figura 10b mostra-se a coerência do espectro entre os fluxos, e na Figura 10c mostra-se 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 dormente Florestal, mas a Floresta não para 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.

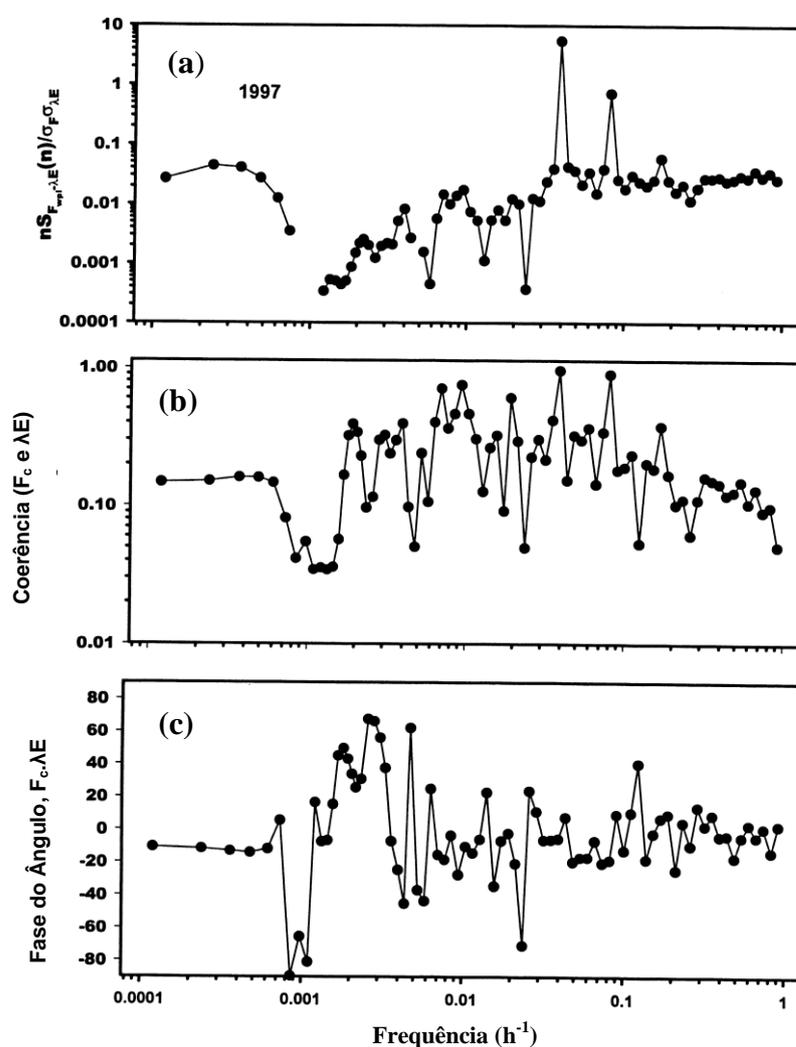


Figura 10: No período de 1997, em *Oak Ridge, TN* (a) Co-espectro do fluxo de densidade de calor latente e CO₂. O espectro de densidade é normalizado pela média da covariância das duas séries temporais. (b) Coerência do espectro de covariância entre densidade dos fluxos de calor latente e CO₂. (c) Espectro do ângulo de covariância entre densidade dos fluxos de calor latente e CO₂

Fonte: BALDOCCHI et al. (2001)

No processo biofísico, são usados modelos biogeoquímicos e biogeográficos para avaliar a troca de CO₂ entre a Terra e a atmosfera. Com base nos dados foi usado o modelo de CANOAK e sobreposto com os dados das séries temporais de 1 ano e meio, de acordo com a Figura 11. O modelo não leva em consideração os dados espúrios. Vinte e um por cento da discrepância de troca de CO₂ em relação ao ano de 1997 é associado com o ciclo anual, 43% da discrepância são associados com o ciclo diurno e 9% são associados com a balança de tempo semianual.

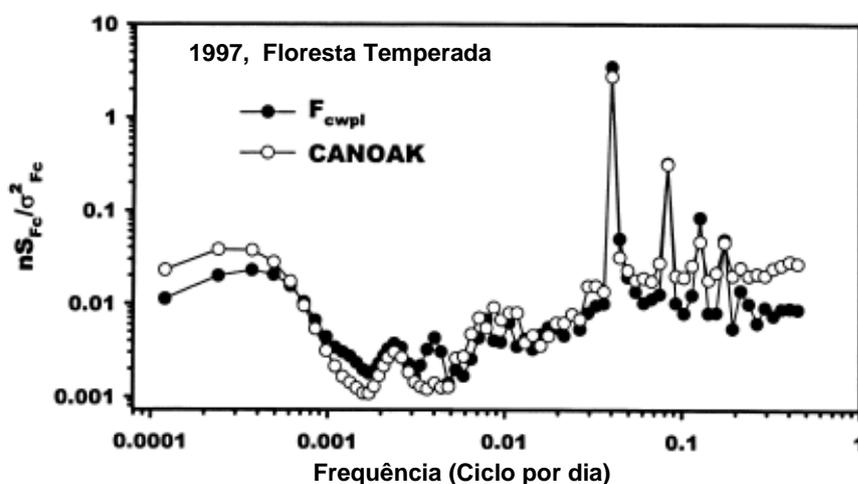


Figura 11: Espectro de Potência do fluxo de CO₂, que foram medidos através do *Eddy Covariance* e comparado com o Modelo CANOAK. Um ano e meio de dados a partir de 1997, em *Oak Ridge, TN*.

Fonte: BALDOCCHI et al. (2001)

Constatou-se, no artigo de Baldocchi et al. (2001), que a análise temporal feita pela série de Fourier em períodos mais longos, examinando os fluxos de CO₂ e vapor de água, obteve informações sobre os ciclos das variáveis estudadas. Detectou-se períodos significativos em escalas de um dia e em cada estação do ano. Destaca-se portanto, 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.

Nas variáveis meteorológicas, o índice de área foliar e capacidade fotossintética, podem reproduzir a maioria das aberturas espectrais e picos que são associados com a troca de CO₂, quando existe umidade na terra.

2.1.4 FLUXNET: Uma nova ferramenta para estudar a variabilidade temporal e espacial do ecossistema, em relação ao Dióxido de Carbono, Vapor d'água e densidade dos fluxos de energia

O objetivo do trabalho de Baldocchi et al. (2001), é introduzir o projeto FLUXNET e descrever a fundamentação, objetivos, métodos de medição e distribuição geográfica. Apresenta também uma amostragem de novos resultados que estão sendo gerados por meio do projeto de Baldocchi et al. (2001). A intenção é mostrar como as informações desta rede podem ajudar os ecólogos, os meteorologistas, hidrólogos, e biogeoquímicos a fim de compreender as variações temporais e espaciais que estão associadas com fluxos de Dióxido de Carbono e água entre a biosfera e a atmosfera. Para entender as variações temporais do fluxo de CO₂ utilizou-se o espectro de potências.

O projeto FLUXNET é uma rede global de locais de medição de fluxo micrometeorológico que medem as trocas de dióxido de carbono, vapor de água e energia entre a biosfera e a atmosfera. Atualmente, existem mais de 140 lugares que estão operando em uma base de longo e contínuo prazo. A vegetação em estudo inclui Florestas de clima temperado, as Florestas tropicais e boreais, as culturas, pastagens, chaparral, pantanais e tundra. As bases de dados existem em cinco continentes e suas escalas de distribuição latitudinal são entre 70 ° N e 30 ° S. Os dados são coletados através do método de *Eddy Covariance*, no qual avalia os fluxos de gases traços entre a biosfera e a atmosfera em cada local dentro das localidades do FLUXNET. São medidos a densidade de fluxo vertical de CO₂ (Fc), Fluxo do Calor Latente (LE) e Fluxo de Calor Sensível (H) entre a vegetação e a atmosfera, esses são proporcionais à covariância média entre as variações da velocidade vertical do vento (w') e os respectivos escalares (c), como por exemplo, CO₂, vapor de água e temperatura.

Com conjuntos de dados mais longos, métodos analíticos alternativos podem ser usados para interpretá-los. A aplicação de Fourier transforma os registros de medição de um ano e plurianuais de fluxos, estes, por sua vez, fornecem um meio de quantificar os prazos de variância dos fluxos (Baldocchi et al. 2001). Há os períodos

dominantes sobre os quais os fluxos de dióxido de carbono podem variar dias, semanas, estações e anos. Os espectros de energia de fluxos de CO₂ sobre uma variedade de lugares em uma escala de tempo diária. Estas variações nas emissões de CO₂ e vapor de água de câmbio são forçados por ritmos diários da radiação solar, ar e temperatura do solo, umidade, abertura estomática, fotossíntese e respiração. Em uma escala de tempo semanal, as flutuações das emissões de CO₂ e vapor de água são induzidas em locais de latitudes médias, associadas às mudanças climáticas que estão relacionadas com a passagem de frentes de alta e baixa pressão.

Eventos climáticos causam períodos distintos de céu limpo, nublado, parcialmente nublado e, condições que alteram a quantidade de luz disponíveis em um ecossistema. Como exemplo, a luz é transmitida através do dossel da planta, e a eficiência desta em assimilar carbono (Gu et al., 1999). A passagem de frentes meteorológicas também ocasionam mudanças na temperatura do ar, nos déficits de umidade e pressão. Em escalas de tempo sazonal, mudanças na posição do Sol alteraram a quantidade de luz solar recebida, temperatura da superfície do ar e do solo, além do balanço hídrico. Sobreposta a esses fatores meteorológicos há uma variação causada por mudanças sazonais na fenologia e capacidade fotossintética (Wilson et al., 2000). O momento e a ocorrência da expansão foliar, senescência, a queda das folhas, o crescimento das raízes finas, e as mudanças sazonais na capacidade fotossintética, como índice de área foliar, são exemplos de fatores fenológicos que afetam as baixas frequências no fluxo de CO₂. Prolongados períodos secos e chuvosos são outros fatores que exercem variância no registro espectral.

O espectro de potência da densidade de fluxo de CO₂ apresenta picos em escalas temporais de dias, semanas e anos, e existe uma lacuna mensal. Esses picos nas Florestas latifoliadas decíduas dependem fortemente da duração da estação de crescimento, mas é sensível à perturbações, tais como secas, nuvens, cobertura de neve de inverno, e início do descongelamento. Já sobre as Florestas de Coníferas, as conclusões não são tão unificadoras. As somas sazonal e anual de trocas de carbono líquido nos ecossistemas boreais, de coníferas do semi-árido, temperado e úmido diferem entre si por causa das diferentes razões fisiológicas das vegetações.

2.1.5 Aplicações do espectro de potência utilizando o sensoriamento remoto

Em Couteron et al. (2005) o trabalho teve como objetivo modelar a estrutura de Florestas tropicais utilizando dados de sensoriamento remoto. Para tanto se utilizou, sobre as imagens de satélites, a análise espectral bidimensional pela transformada de Fourier. Comprovou-se uma valiosa aproximação à caracterização dos dosséis de Florestas tropicais e parâmetros de estrutura razoáveis comparando com as Florestas atuais.

O estudo foi desenvolvido como parte do projeto *Diversité Multi-échelles*, dentro de uma área de 65 km² de planície imperturbada de Floresta tropical perene, situado em aproximadamente 10 km leste do Reservatório Petit-Saut na Guiana Francesa (5°00'N, 52°55'O). A geomorfologia variada do local resulta em contrastes das texturas com o dossel da Floresta, que é aparente em fotografias aéreas.

As aplicações das imagens, utilizou-se a análise espectral bidimensional pela transformada de Fourier. Para facilitar, foram consideradas somente imagens quadradas embora o método também aplique a imagens retangulares. A imagem digital é exibida na escala de tons de cinza, que expressa a radiação do filtro em relação ao pixel. A análise espectral aponta a modelagem dos dados como uma soma dos cossenos e senos, variando a direção e a frequência de espaço. Para uma direção geográfica, o número de ondas (p), quantifica a frequência de espaço e corresponde ao número de vezes que uma forma de onda se repete dentro da imagem.

O periodograma bidimensional de Fourier caracteriza a decomposição das variâncias de todas as imagens de acordo com as possíveis interações (p,q), do número de ondas nas direções do eixo cartesiano:

$$1 \leq p \leq n/2 \quad e \quad 1 \leq q \leq n/2 \dots \dots \dots \text{Equação V}$$

Já na forma trigonométrica é representada por $I_r \theta$, nas quais são porções da variância das imagens formadas pelas ondas, tendo frequências espaciais r e direção θ , em que:

$$r = \sqrt{p^2 + q^2} \quad e \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{p}{q}\right) \dots\dots\dots \text{Equação VI}$$

Para cada frequência espacial, soma-se todos os valores das possíveis direções do espectro “radial” azimutal que prevê um modo conveniente para quantificar propriedades texturais como grossas, estudando assim a decomposição de discrepância entre frequências de espaço. Imagens com uma textura grossa terão um espectro radial com um pequeno número de ondas. Uma imagem de textura fina produzirá espectros mais equilibrados e terá a melhor textura possível, além de um espectro praticamente plano, conforme Figura 12. Este índice expressou um gradiente de granulação que varia a textura de grossa a fina, sendo um resultado importante das frequências de grandes espaços nos espectros de Fourier.

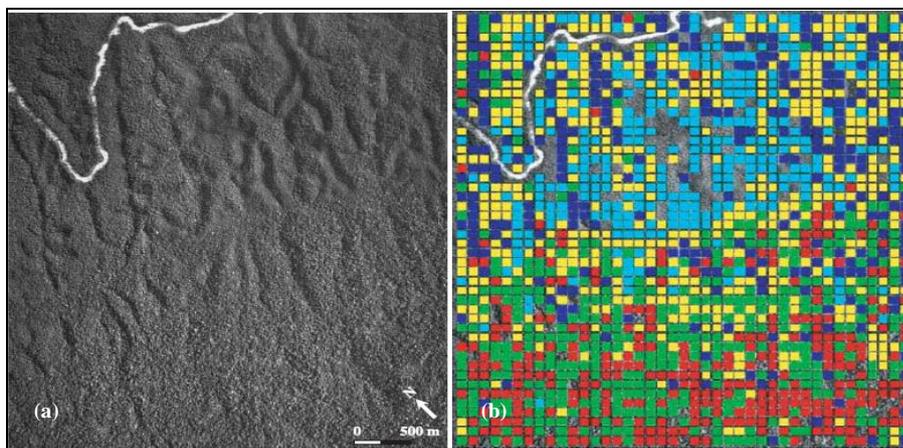


Figura 12: (a) Parte central da imagem (cobertura 1992-GUF-91/250; IGN, França) na área de estudo do projecto DIME, perto da barragem do reservatório de Petit Saut, na Guiana Francesa. (b) A mesma área com quadrados coloridos correspondente a 1 hectare da copa da Floresta codificado em cinco classes de textura do dossel: azul-escuro: T1 (textura de granulação grossa, para as janelas marcadas devido a discrepância de iluminação); vermelho: T2 (textura copa de granulação grossa); verde: T3 (textura copa de grossa a intermediária); amarelo: T4 (textura copa de intermediário a granulação fina); azul-claro: T5 (textura copa de granulação final).

Fonte: COUTERON et al., 2005

Uma imagem na qual cada pixel tem um valor aleatório independente do valor de qualquer outro pixel, terá a melhor textura possível e um espectro virtualmente plano.

Análise de Fourier bidimensional é um método poderoso por obter caracterização quantitativa de textura do dossel, modelando bons parâmetros da estrutura da Floresta. Entretanto, a importância das imagens de satélite, que são mais fáceis de ser usadas em relação ao georeferenciamento e montagem de mapas com

dimensões maiores, tem um problema que é o alto custo quando o objetivo for documentar grandes áreas de Floresta tropical. Além disso, a cobertura de nuvens frequentes limita a aquisição de imagens de satélite de boa qualidade.

Devem usar inventários de rotina da floresta para criar e alimentar bases de dados regionais, com ambas as Figuras de árvores: o diâmetro e imagens digitais das copas, com o último objetivo de calibrar as relações de regressão decorrentes de mapas de parâmetros de estrutura em grandes áreas de Florestas Tropicais. Tais mapas seriam particularmente úteis para a classificação da floresta e para nortear a avaliação de campo dos recursos Florestais tropicais e da biodiversidade.

No artigo de Neeff et al. (2005) utilizou-se o espectro de potência para analisar as características espaciais da Floresta na Amazônia brasileira através dos dados do radar de abertura sintética X-band (SAR). Os parâmetros de Floresta (biomassa, diâmetro, área basal, etc.) foram traçados a partir destes dados com boa precisão, já a densidade de Floresta foi bastante difícil medir. Foram relacionadas estimativas espectrais de dados do radar à estrutura do dossel de Floresta primária.

Alguns dos objetivos do trabalho de Neeff et al. (2005) são que os perfis dos valores de pixel da imagem revelam periodicidades, e a avaliação da estimativa espectral como uma ferramenta para análise espacial da estrutura da Floresta por métodos diferentes (periodograma, correlograma e ARMA- autorregressivo de média móvel), em diferentes resoluções espaciais, e de robustez.

A área de estudo Neeff et al. (2005) é situada no Parque nacional dos Tapajós, ao sul de Santarém, na Amazônia brasileira a 54,93°O, e 3,19° S. A precipitação pluviométrica varia de 1.750 a 2.000 mm e tem uma temperatura média anual de 26°C. Uma área de aproximadamente 1.300 a 2.000km² foi traçada pelo sensor de AeS⁻¹ usando a tecnologia SAR.

A densidade do espectro de potência (PSD) é uma estimativa de processos estocásticos no qual prevê informação sobre periodicidades encontradas nos dados. Neste estudo, três artifícios são usados para estimação espectral: o periodograma, que é uma função da frequência e deriva das amplitudes das séries de Fourier através das equações VII e VIII:

$$z_t = x_0 + \sum_{i=1}^{(N-1)/2} (\alpha_i \cos 2\pi f_i t + \beta_i \text{sen } 2\pi f_i t) + e_t \dots\dots\dots \text{Equação VII}$$

$$I(f_i) = \frac{N}{2} (\hat{\alpha}_i^2 + \hat{\beta}_i^2); \quad i = 1, 2, \dots, \frac{(N-1)}{2} \dots\dots\dots \text{Equação VIII}$$

onde z_t é o índice da amplitude do sinal original a posição t ; α_i, β_i são os coeficientes da série de Fourier; N é o comprimento do sinal; e_t é o erro; $I(f_i)$ é a intensidade da frequência; e, f_i é o harmônico da frequência fundamental $1/N$.

O periodograma na equação (VIII) só está definido para o harmônico da frequência fundamental $1/N$, limitando sua resolução espectral. Resolução espectral são os valores das frequências críticas mais baixas, pois o periodograma não distingue os períodos de comprimento de onda muito diferente.

No segundo caso o correlograma (equação (IX)) é a transformada de Fourier, em função do co-seno autocorrelacionada com a função estimada de r_k a k . A fim de evitar o aumento da variância em relação a falha de dados, apenas usa-se os dados quando tem falhas menores que 20%. O periodograma é um estimador consistente da densidade de potência espectral, através da equação IX:

$$I(f_i) = 2 \left\{ 1 + 2 \sum_{k=1}^{M-1} r_k \cos 2\pi f_i k \right\} \dots\dots\dots \text{Equação IX}$$

em que: $M=0,2N$, que é equivalente a fixar $r_k=0$ para $M < k \leq N-1$.

Já no último caso a densidade do espectro de potências (PSD) funciona com modelos providos do ARMA (*autoregressive moving-average*) que é uma função dos coeficientes. Sendo os dados filtrados pelo ARMA, testando a significação de todos os parâmetros, e depois ajusta o modelo caso tenha dados não significantes.

A análise dos dados de radar, foram realizadas através dos transectos do campo, na qual extraiu-se uma linha de perfil de valores dos pixel. Na Figura 13 (a) um perfil típico do conjunto de dados com uma regressão suave. Existe algum padrão senoidalmente repetindo-se, e para compreendê-lo usou-se o periodograma, o correlograma e o ARMA para extrair a frequência nos valores de perfil (Figura 13b).

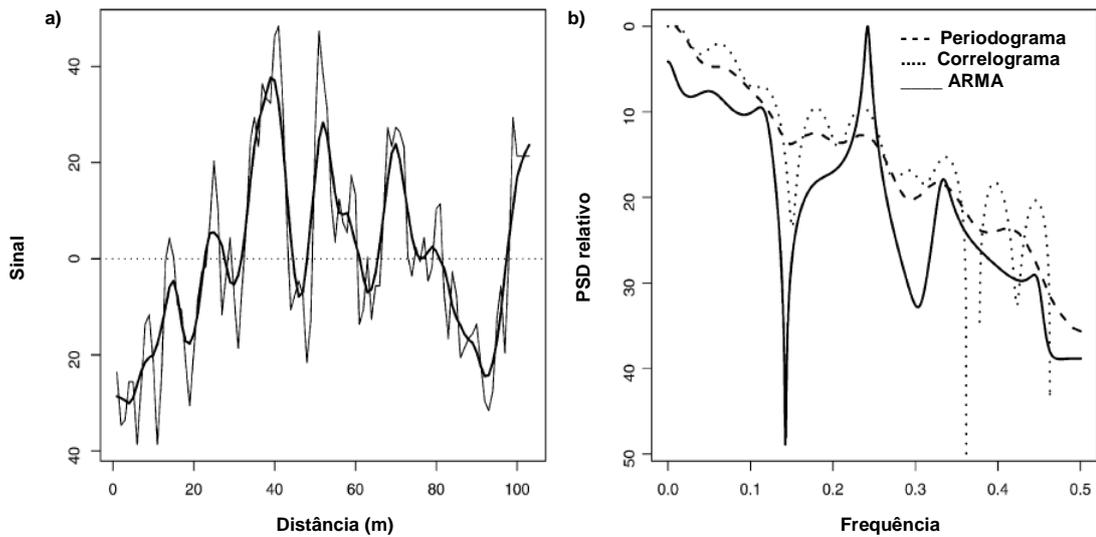


Figura 13: Análise do perfil do espectro de potência dos valores pixel de X-band (imagens de radar) na amazônia brasileira. (a) perfil de amplitudes dos dados do radar com média removida (linha escura), e com regressão suave (linha clara); (b) estimação espectral do perfil para periodograma e modelo ARMA. Frequência máxima corresponde a dois pixels, ou seja, 5m por ciclo.

Fonte: NEEFF et al. (2005)

Para investigar o efeito da resolução espacial sobre a aplicabilidade dos métodos apresentados, estimou-se o espectro de potência de um transecto da amostra (10.000 m, ou seja, 4.000 pixels) em diferentes resoluções. Foram examinadas as estimativas espectrais em imagens com tamanhos de pixel 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 m. No espectro, em resoluções 2,5 e 5 m (Figura 14a), apresenta-se uma forma típica, onde as posições do primeiro pico são bem próximas. Na distância de 7,5 m se observa o primeiro pico, mas aparece ruídos em comprimentos de ondas menores (Figura 14b). Em resoluções ainda menores 10, 12,5 m (Figura 14c) não existe uma estrutura reconhecível, que pode estar relacionado aos parâmetros da Floresta espacial na forma pretendida, mas o ruído domina as baixas frequências. Experiência de campo sugere que os diâmetros coroa são de 15m para árvores de grande porte.

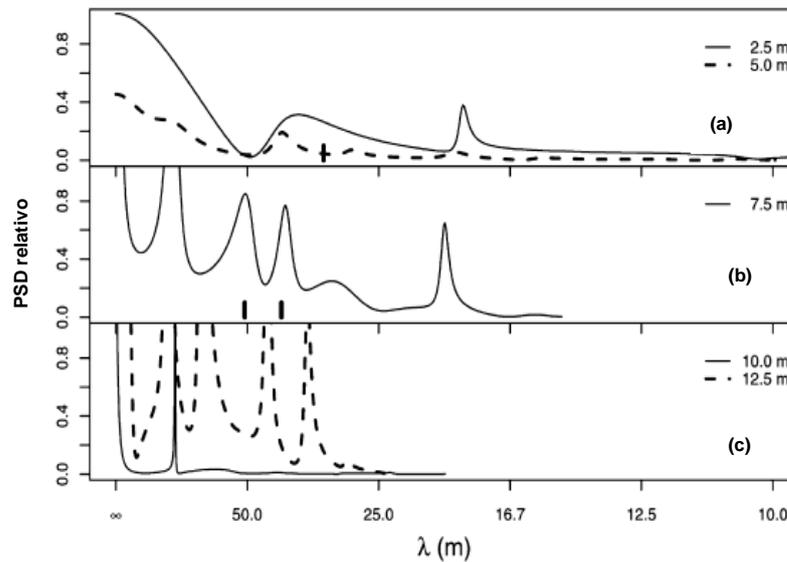


Figura 14: Efeito da resolução espacial de imagens de radar em estimativas espectrais na Amazônia. Espectros de potência (PSD) de uma linha de pixel (comprimento 10.000 m) da mesma imagem em média para cinco tamanhos de pixel diferentes são exibidas. Períodos de diferentes espectros são desenhados para combinar com um mesmo período, os períodos abaixo de 15 e 12,5m são omitidos, e os picos são marcados por barras pretas.

Fonte: NEEFF et al., 2005

Ao comparar diferentes metodologias para a estimativa espectral, a abordagem teórica baseada em densidades espectrais de modelos ARMA foi descrita para ser estável para pequenas variações dos valores de dados. Pixel dos transectos foram extraídos próximos aos locais na imagem. Comparou-se o espectro de potência para fornecer uma noção de estabilidade da metodologia aplicada. Uma vez que todos os espectros vieram de locais muito semelhantes à imagem, eles deverão gerar espectros de potência similar, porque eles representam as mesmas condições da Floresta. Na Figura 15 os espectros de linhas de pixel de 10m de distância (quatro pixels) são sobrepostos uns aos outros. Toda a forma das curvas é semelhante, e os máximos principais ocorrem em distâncias com cerca de 29,7m (31,6; 29,9; 28,4; 27,9; 30,6 m). As pequenas variações entre os valores são promissoras quanto à robustez do método para análise de estrutura do dossel da Floresta por estimativa imagem espectral.

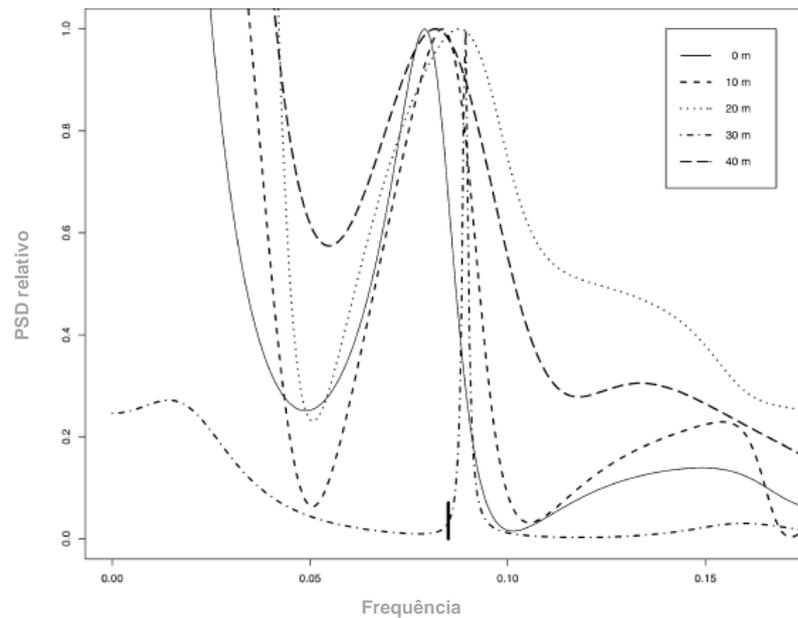


Figura 15: Robustez das estimativas do espectro de potência (PSD) pelo método ARMA. Indicados estão cinco espectros derivados de linhas paralelas a uma distância de 250m e pixel de 10m entre si. Frequências abaixo de $\lambda=15m$ são omitidas. O principal pico é marcado por uma barra preta.

Fonte: NEEFF et al., 2005

A análise do espectro de potências é usada como ferramenta pelo sensoriamento remoto sobre os parâmetros de Floresta. A aproximação adotada substitui tempo por espaço e usa as ferramentas padrão de modelagem de séries temporais e processamento de sinal digital para analisar a estrutura da Floresta. Esta abordagem é nova para análise de Floresta com dados de sensoriamento remoto.

Os melhores resultados são obtidos usando densidades espectrais providos de modelos de ARMA. A estimação empírica do periodograma e correlograma também modela bons resultados. O espectro de potência é a ferramenta apropriada por extrair as distâncias que correspondem a frequências de picos máximos principais de estimativas espectrais da estrutura da Floresta.

Ciclos sucessórios e mudanças na Floresta, são devidos aos ciclos de vida das árvores, e a queda destas determinam a composição e estrutura das Florestas (Brokaw 1982; Wirth et al., 2001). Análise da estrutura da Floresta por informação das texturas de dados de sensoriamento remotos é atribuída ao interesse nas mudanças globais (Weishampel et al., 2001).

2.2 EXPLICAÇÕES POSSÍVEIS DAS FREQUÊNCIAS (PICOS) DOMINANTES

Para justificar as frequências dominantes, realizou-se uma revisão sobre as possíveis explicações do tema. As frequências encontradas são 24, 12, 8, 6, 5, 4, 3 e 2 horas, conseqüentemente descobrir quais fenômenos naturais pode influenciar nos ecossistemas estudados, é um dos objetivos principais da avaliação de tais frequências.

2.2.1 Radiação Solar e Movimentos Rotacionais da Terra

A fonte de energia que controla os movimentos da atmosfera é o Sol, que emite sua energia em forma de radiação eletromagnética, sendo que uma parte desta energia chega ao sistema terrestre, a outra parte é convertida em várias formas de energia como, por exemplo, energia térmica, energia elétrica, energia cinética, etc.

O Sol emite radiação em praticamente todos os comprimentos de onda, embora 99,9% da energia vinda do Sol esteja situada na faixa compreendida entre 0,15 e 4,0 μ de comprimento de onda, por isso mesmo conhecida como domínio da radiação solar (Figura 16). Dentro desse intervalo, cerca de 52% da radiação solar que atinge a superfície da Terra está na faixa espectral do infravermelho, 44% na do visível e 4% na do ultravioleta (Varejão, 2006).

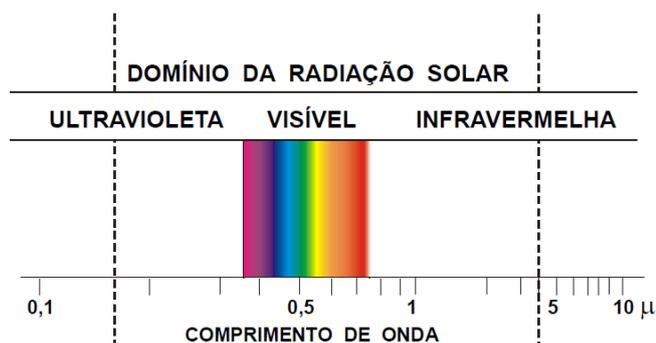


Figura 16: Espectro eletromagnético.
Fonte: VAREJÃO, 2006

Quando a energia solar atinge a superfície terrestre é chamada de radiação global. Existem dois tipos de radiação global: a radiação direta, que decorre diretamente do disco solar, quando este se mostra total ou parcialmente visível; e a radiação difusa (ondas curtas), resultante da ação de espalhamento da atmosfera e

que atinge o local considerado após ter sofrido um ou mais desvios. A Terra, ao receber radiação solar, tanto direta quanto difusa, aumentará sua temperatura, em virtude disso, emite radiação de ondas longas, obedecendo à Lei de Stefan-Boltzmann (Equação X): “a energia emitida por um corpo negro por unidade de área e por unidade de tempo é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta.”

$$I = \sigma T^4 \dots\dots\dots\text{Equação X}$$

em que: I : energia emitida por um corpo (W.m^2); T : temperatura (K), σ : constante de Stefan-Boltzmann ($5,6697 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$)

O movimento que faz a Terra girar em torno de seu próprio eixo (360°) no sentido anti-horário é designado como Rotação (Figura 17). Todos os planetas do sistema solar, o Sol e a Lua giram em torno do seu próprio eixo. A rotação completa da Terra dura exatamente 23 horas 56 minutos 4 segundos e 9 centésimos, aproximadamente 24 horas.

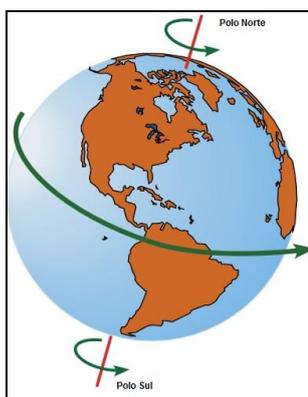


Figura 17: Rotação da Terra

Fonte: <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/6h.html>

Por causa da rotação da Terra, a radiação solar ilumina metade da superfície deste planeta a cada instante, originando a alternância dos dias e noites. Como o eixo terrestre é inclinado, acontece que a porção iluminada de cada paralelo varia com a época do ano. Somente por ocasião dos equinócios é que a metade de cada paralelo está iluminada. Portanto, a duração dos dias (e, evidentemente, também a das noites) varia ao longo do ano, exceto no equador, onde duram sempre cerca de 12 horas cada (Varejão, 2006).

2.2.2 Fotossíntese e Dinâmica Estomatal

O significado de fotossíntese é a construção ou síntese de compostos orgânicos pela luz. Esta propriedade somente é atribuída aos seres autotróficos (vegetais), capazes de capturar, transformar e armazenar a energia radiante eletromagnética gerada pelo Sol, em compostos orgânicos com ligações químicas ricas em energia. Estes compostos orgânicos são sintetizados a partir de matéria prima inorgânica (CO_2 e H_2O), na presença de luz e clorofila (pigmentos verdes especializados na absorção de luz, em compostos orgânicos $\{(\text{CH}_2\text{O})_n\}$ (glicose) e O_2 (oxigênio) (Vieira et al., 2010), conforme Figura 18.

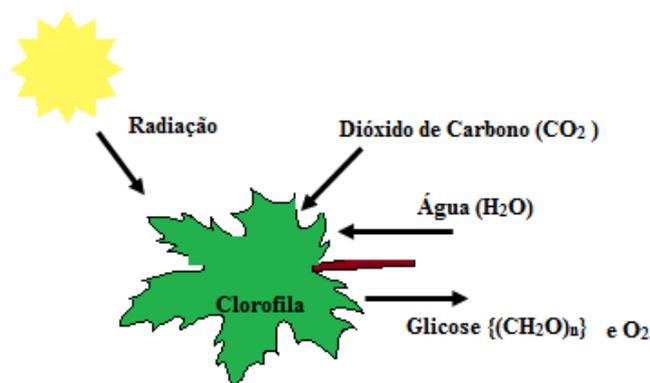


Figura 18: Esquema da Fotossíntese.

Os fatores que influenciam a fotossíntese podem ser internos como as estruturas das folhas e dos cloroplastos, o teor de pigmentos, a concentração de enzimas, o acúmulo de produtos da fotossíntese no interior do cloroplasto e a presença de nutrientes, e externos como a radiação, a salinidade, a temperatura, o grau de hidratação e a pressão parcial de CO_2 .

As plantas são os únicos organismos fotossintéticos a ter células fotossintéticas como um coletor da luz solar. O tecido das células fotossintéticas mais ativas em plantas superiores é o mesófilo das folhas, pois têm muitos cloroplastos, os quais contêm a clorofila. As partes de uma folha incluem a parte superior e inferior da epiderme, o mesófilo, o feixe(s) vascular(es) (veias), e os estômatos (Figura 19). As células da epiderme superior e inferior não possuem cloroplastos, elas servem principalmente como proteção para o restante da folha. Os estômatos são espaços

vazios que ocorrem principalmente na epiderme inferior, eles permitem o fluxo de CO_2 e O_2 . Os feixes vasculares ou veias em uma folha são partes do sistema de transporte da planta, onde há movimentação da água e nutrientes ao redor da planta, conforme necessário. A água entra na raiz e é transportada até as folhas através do xilema.

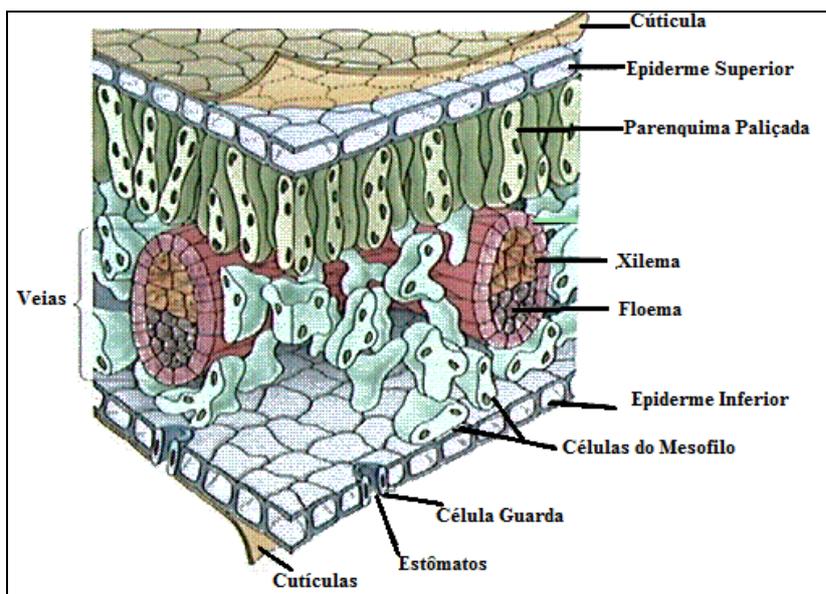


Figura 19: Seção transversal de uma folha, mostrando as características importantes para a fotossíntese.

Fonte: TAIZ & ZEIGER, 1998

Fotossíntese é o processo pelo qual o carbono e a energia química entram nos ecossistemas (Chapin et al., 2002). Os estômatos oferecem resistência à difusão da água de dentro da folha para a atmosfera, constituindo então uma barreira para a entrada de CO_2 , quanto mais diminui a condutância estomática, devido ao fechamento dos estômatos, dificulta a entrada de CO_2 . Os principais fatores ambientais que causam variações na condutância estomática são a luz e a umidade do solo e do ar, e esta última por afetar o déficit de pressão de vapor, ao qual o estômato é sensível (Landsberg, 1986).

Quem controla a condutância estomática são as células guardas, pelo controle da abertura estomatal, devido a sua turgidez (Figura 20). Com a entrada de água as células guarda ficam túrgidas, se dilatando, conseqüentemente abrindo os poros estomáticos. Se houver perda de água os estômatos fecham-se. A condutância estomática é medida pela quantidade de água, CO_2 e intensidade luminosa. Em

concentrações normais de CO₂, permitem que os estômatos permaneçam abertos, e se elevar as concentrações, eles se fecham. A luz influencia a taxa e velocidade da fotossíntese, por conseguinte, a abertura dos estômatos, o que permite a entrada de CO₂ e saída de vapor de água.

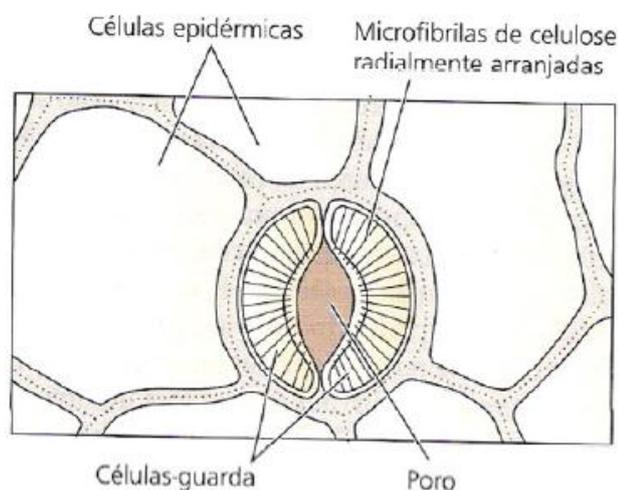


Figura 20: Células Guardas dos Vegetais.
Fonte: TAIZ & ZEIGER, 1998

O trabalho de Pereira (2006) mostra o comportamento da resistência estomática, entendendo o ciclo dos estômatos durante um dia, através da avaliação dos possíveis efeitos do estresse hídrico no crescimento, nas características morfológicas e fisiológicas de dois materiais genéticos distintos de *Eucalyptus urograndis*. O manejo hídrico foi estabelecido com base na potência I de água no solo, na Fazenda Experimental Lageado, Faculdade de Ciências Agrônômicas, campus de Botucatu, UNESP. Foram utilizados dois clones, 105 e 433 de *Eucalyptus urograndis*, sendo o primeiro mais resistente ao déficit hídrico e o 433 mais sensível ao estresse. As avaliações realizadas foram: altura da parte aérea, diâmetro do tronco, área foliar, massa seca da parte aérea, massa seca da parte radicular, resistência estomática, transpiração, temperatura foliar e potência I de água na folha. Quanto à resistência estomática verificou-se que o clone 433, sob estresse hídrico, apresentou os maiores valores de resistência estomática. Já os tratamentos sem restrição hídrica (T1 e T4) não apresentaram diferenças mesmo com diferente material genético. No geral constatou-se que todos os tratamentos tiveram comportamento semelhante para esta variável nos diferentes horários, sendo que às 14:00 horas foi o período mais crítico, com maior resistência estomática de todos os

tratamentos, e nos horários onde não se tem evaporação e incidência solar alta (manhã e final da tarde) há maior abertura dos estômatos (Figura 21).

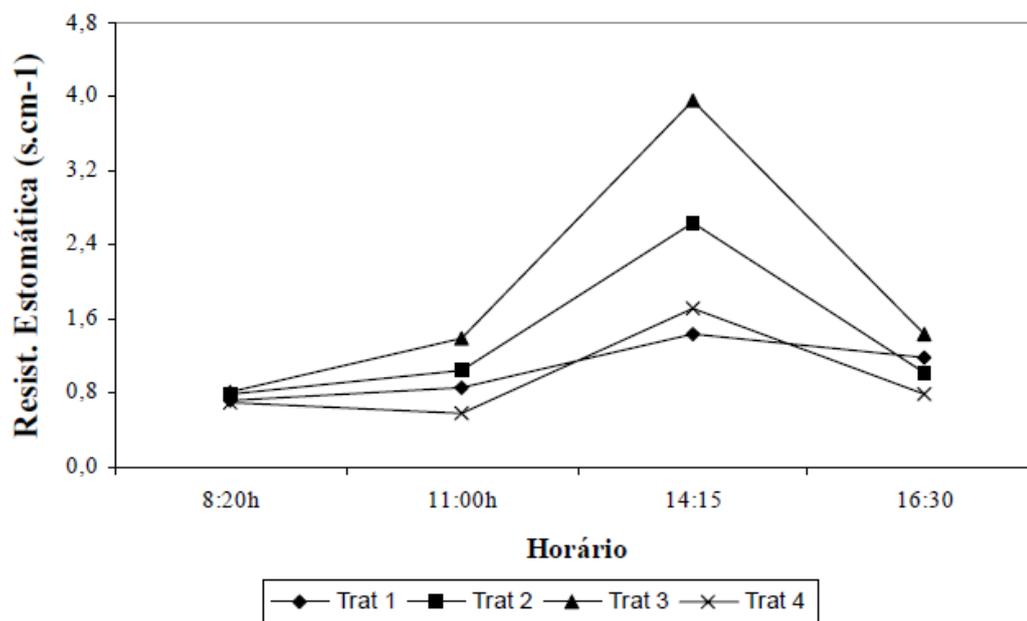


Figura 21: Resistência estomática foliar plantas de *Eucalyptus urograndis*, ao longo do dia, submetidas a dois manejos hídricos e diferentes materiais genéticos, na UNESP-Botucatu
Fonte: PEREIRA, 2006

Araújo & Castro Neto (2002) com o objetivo de verificar a influência de fatores fisiológicos das plantas-matrizes de umbuzeiro (*Spondias tuberosa Arruda*), conduziram cinco experimentos sob condições de viveiro, em Petrolina-PE. Estes dados auxiliam essa tese na comparação dos ciclos de fotossíntese e condutância estomática e suas comparações. Os dados de fotossíntese e condutância estomática indicaram que, inicialmente, durante a época das chuvas, a fotossíntese, tanto no horário das 9 horas como às 13 horas, foi controlada por um mecanismo estomático devido à redução da taxa fotossintética ser acompanhada por uma diminuição da condutância estomática. Contudo, após o término do período das chuvas, verificou-se um esgotamento da água disponível no solo (Figura 22).

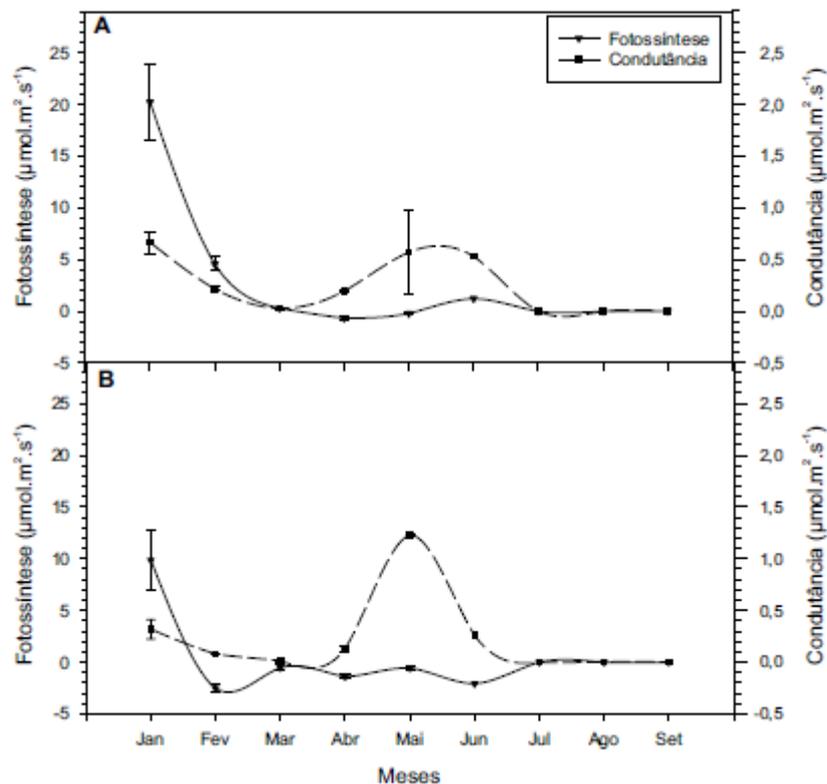


Figura 22: Comportamento da fotossíntese e condutância estomática do umbuzeiro às 9h (a) e às 13h (b). As barras representam o desvio-padrão para cada época de avaliação Petrolina-PE, 1998.

Fonte: ARAÚJO & CASTRO NETO, 2002

A radiação solar é absorvida pelas folhas das plantas através da clorofila. A clorofila parece verde porque absorve luz vermelha e azul, e reflete a luz verde. No entanto, é a energia da luz vermelha e azul que são absorvidas, ou seja, são capazes de ser usadas para realização da fotossíntese. Energia para esse processo é fornecida pela luz, que é absorvida por pigmentos (principalmente clorofilas e carotenóides). Clorofilas absorvem a luz azul e vermelha e carotenóides absorvem luz azul e verde (Figura 23), mas, a luz verde e amarela não são efetivamente absorvidas por pigmentos fotossintéticos em plantas e, portanto, a luz dessas cores ou é refletida pelas folhas ou passa através das mesmas.

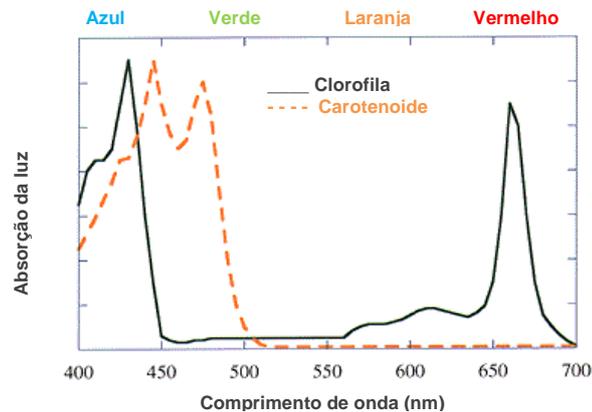


Figura 23: Espectro de absorção de clorofila isolado e espécies carotenóides. A cor associada com diferentes comprimentos de onda é indicada na parte acima do gráfico.

Fonte: VERMAS, 1998

É útil a comparação das propriedades intrínsecas dos sistemas dinâmicos e estáticos em relação ao aparato fotossintético (Chadson & Pearcy, 1991). Um sistema é estático, se a sua saída (para o aparato fotossintético, a taxa de câmbio de CO_2) depende apenas dos parâmetros de entrada. A maioria dos modelos de fotossíntese por trocas gasosas trata-a como um sistema estático, o qual prevê a aproximação adequada em um estado estacionário. No entanto, quando os fatores de produção em condições de mudança, um sistema irá exibir comportamento dinâmico se tiver elementos dinâmicos. Tais elementos provocam o resultado do modelo, as funções deste não só informa as condições atuais, mas também do seu estado inicial. A troca de gás fotossintético exibe um comportamento dinâmico manifestado como uma resposta transitória que exige algum tempo para concluir se os fatores ambientais foram alterados. Sistemas dinâmicos devem ser descritos por equações diferenciais, considerando o tempo como variável independente (Villate, 2007). Sistemas dinâmicos devem ser descritos por equações diferenciais, no qual o tempo é a variável independente. Um sistema pode ser descrito como dinâmico quando a derivada da taxa em função do tempo não é zero. Quando as derivadas são zero, seu estado de equilíbrio, bem como o seu sistema, funciona como se não tivesse elementos dinâmicos.

Segundo Pearcy (1990), a fotossíntese, em um sentido muito geral, torna-se um sistema dinâmico, pois suas componentes podem ser modeladas e têm comportamento com mudanças periódicas.

2.2.3 *Sunflecks*

Em uma Floresta, além da luz difundida, transmitida e refletida no interior da mesma, existem os *sunflecks*, que nada mais são que fechos de luz solar direta e de alta densidade que penetram no dossel da Floresta (Fetcher et al., 1994; Marengo & Vieira, 2005), fornecendo a maior parte de fluxo de *quantum* da PAR.

A natureza dos *sunflecks* depende: do tamanho do raio incidente, da forma da vegetação, do tempo de duração de incidência de radiação, dos picos de PAR, da altura em que os *sunflecks* irão abordar a vegetação, da disposição do dossel e da posição solar. Alguns fatores que colaboram para o aparecimento dos *sunflecks* são: coincidência do caminho dos raios solares com as aberturas nas copas, o movimento das nuvens, e a indução do vento nas folhagens e ramos da vegetação (Percy, 1990; Chadson & Percy, 1991; Tong & Hipps, 1996).

A probabilidade do feixe solar passar por uma lacuna em uma camada do dossel e ocorrer *sunflecks*, diminui exponencialmente com o aumento da profundidade em relação ao índice de área foliar acumulada projetada, tendo assim, que haver um aumento do feixe para atingir maiores profundidades na vegetação. A probabilidade de *sunflecks* é um pouco maior para um determinado índice de área foliar (IAF ou LAI), quando as folhas nascem nas extremidades de ramos, como é normalmente o caso das Florestas (Baldocchi, 1984,1986; Percy, 1990; Chadson & Percy, 1990). Os tamanhos dos *sunflecks* e seus máximos de densidades de fluxos fotossinteticamente ativo (PFFD) dependem também da estrutura da copa: para *sunflecks* originados de pequenas aberturas no dossel, o PFFD é frequentemente menor do que nas copas das árvores. Uma lacuna deve ter ângulo maior do que aproximadamente $0,5^\circ$, a fim de obter um feixe direto da PFFD vindo do Sol (Percy, 1990).

A rotação da Terra, causa *sunflecks* criando flutuações de baixa frequência do PFFD em um determinado ponto. O movimento do dossel e das folhas causam maiores variações na frequência do PFFD. Estudos da indução dos ventos, flexionando troncos de árvores mostram características de frequências ressonantes da

turbulência na atmosférica interagindo com o dossel flexível para movimentá-las combinando com a frequência das rajadas e a frequência ressonante da planta. Rajadas são periódicas e devem provocar semelhante periodicidade nas oscilações do PPFD na copa (Pearcy, 1990). A flexão do dossel afeta o transporte de gases turbulentos e também desempenha o importante papel na dinâmica da luz ambiente que atingem as folhas (Tong & Hipps, 1996; Pearcy, 1990).

Caracterizações das frequências dos *sunflecks*, e suas durações dentro das Florestas, mostram que a maioria pode ser inferior a poucos segundos de duração. Estes pequenos *sunflecks*, embora muitas vezes abundante, podem contribuir em uma pequena fração PPFD diária, em parte porque normalmente PPFDs tem um pequeno alcance, com frequência de 50-200 $\mu\text{mol.fótons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Poucos *sunflecks* duram mais que 10 *min*, suas frequências de PPFDs podem ser de 1.500 – 2.000 $\mu\text{mol.fóton.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e ainda, pode contribuir com mais de dois terços da PPFD diária (Pearcy, 1990).

A variação da frequência da luz solar pode afetar a eficiência da fotossíntese através: da indução fotossintética e da fixação de CO₂. A dinâmica de assimilação do CO₂ durante *sunflecks* ocorre na escala de segundos, e envolvem principalmente a dinâmica dos metabolitos ocorrendo em resposta às mudanças no fluxo de luz através do sistema de fluxo de elétrons.

Tong & Hipps (1995) caracterizam as propriedades temporais de *sunflecks* na copa de alfafa, utilizando análises de potências espectrais (*power spectrum*). Realizou-se análise em dois sítios próximos de Logan, Utah (UT), entre agosto e setembro de 1990. Instalaram-se sensores em diversas alturas para medir a PAR. Na análise do espectro de potências do *sunflecks*, usou-se um programa, com algoritmo de Cooley-Tukey's para programar a Transformada Rápida de Fourier (FFT) e para eliminar qualquer tendência, fez-se o teste dos quadrados mínimos antes da FFT.

Séries temporais de PAR medidas em três níveis diferentes dentro de uma plantação de alfafa são apresentadas na Figura 24, conforme Tong & Hipps (1995). Estas séries temporais fornecem algumas informações qualitativas sobre a luz incidente no dossel. Na parte superior da planta, as flutuações são de maiores magnitude e ocorrem com mais frequência. As flutuações são muito complexas e pouco pode ser dito por olhar para os resultados. Por isso, é adequado empregar a

análise espectral para examinar a função da frequência ou períodos dos picos encontrados.

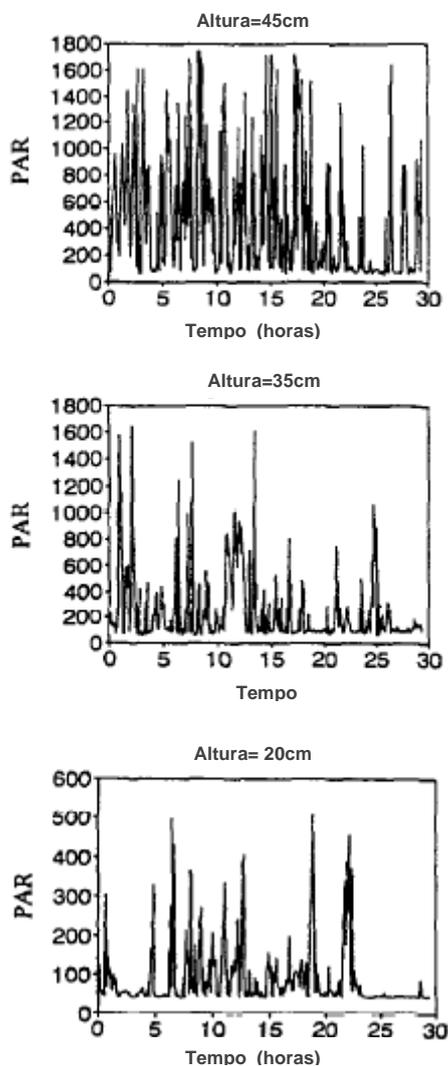


Figura 24: Série temporal da PAR, em três níveis diferentes, dentro de um dossel de 60 cm

Fonte: TONG & HIPPS, 1995

O vento desempenha um papel importante na dinâmica dos *sunflecks* na copa de alfafa. Os ventos na camada limite da superfície aplicam forças como a força de arrasto para as folhas e caules de plantas, e altera a estrutura do dossel, no qual promove a penetração de luz através das aberturas dinâmicas ocasionadas pelo vento. Por outro lado, a flexão da copa da planta pode afetar os padrões de vento, especialmente as características de turbulência. Para examinar o efeito do vento e a turbulência nas flutuações de luz, a Figura 25 mostra a análise espectral de potência

versus frequência para diferentes condições de vento médio horizontal: 1,1, 2,5, 4,9 e 6,9 ms^{-1} . As densidades espectrais apresentam diferenças de relevo para as flutuações de luz ao nível do dossel de 45 cm ($\text{LAI} = 1,7$) durante as diversas condições de vento. Com o aumento do vento de 1,1 a 6,9 ms^{-1} , o pico espectral proeminente permanece em cerca de 1 a 2 Hz. Sob efeito de ventos fracos (1,1 ms^{-1}) a maior parte da variância PAR é atribuída a ventos de baixa frequência com poucas oscilações em alta frequência, maior que 4 Hz. Em ventos mais fortes o pico espectral torna-se relativamente estável. Durante a condição de muito vento (6,9 ms^{-1}), o pico abrange uma faixa de cerca de 0,8 a 3 Hz.

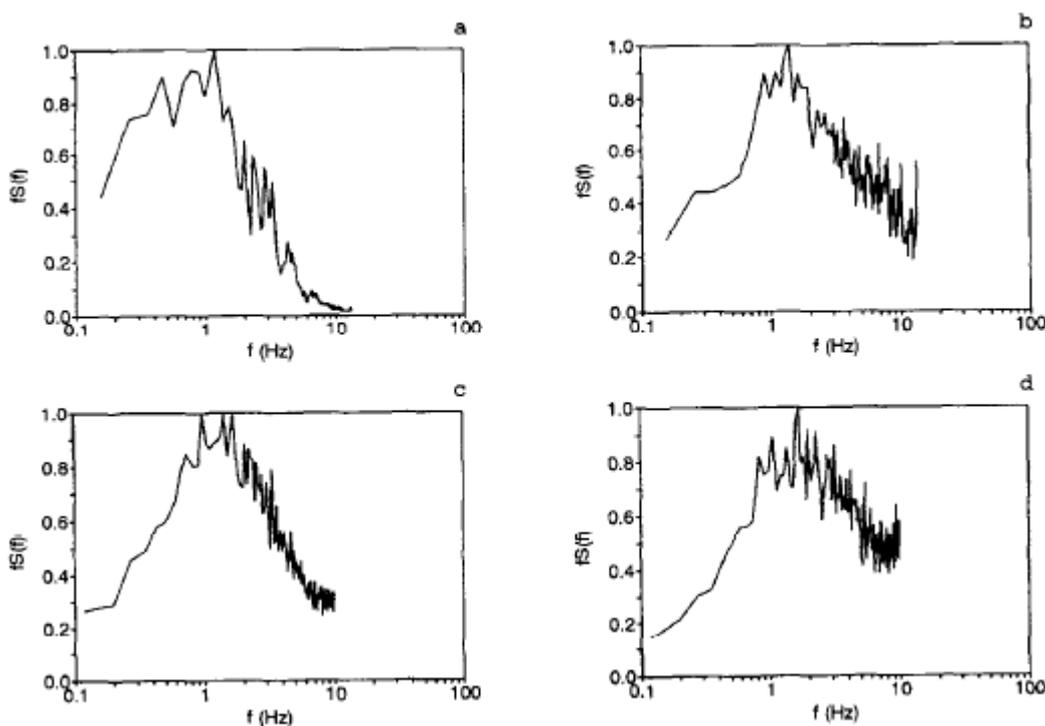


Figura 25: Espectro de potências da PAR, com $\text{LAI}=1,7$, com velocidades do vento diferentes: em (a) 1,1 ms^{-1} , (b) 2,5 ms^{-1} , (c) 4,9 ms^{-1} e (d) 6,9 ms^{-1}

Fonte: TONG & HIPPS, 1995

Quando as rajadas de vento passam por cima da copa, fazem os galhos vibrarem rapidamente, mas para isso acontecer as plantas de alfafa precisam ser bastante flexíveis. Com o aumento do vento, a ondulação é muito mais pronunciada, causando uma maior força de arrasto.

Frequências devido a vibrações das folhas dependem das propriedades biomecânicas e aerodinâmica de folhas e dos pecíolos (Percy, 1990). As

propriedades biomecânicas de folhas e pecíolos podem diferir de espécie para espécie, mas para o dossel, pode considerar a mesma frequência devido às propriedades aerodinâmicas.

A análise espectral de séries temporais da PAR, medidas na copa de alfafa, mostrou que as densidades espectrais de flutuações de luz são altamente dependentes das condições do vento. Embora tenha sido estabelecido que a média do vento possa ser usada para representar a turbulência, é mais direta se examinar como as escalas de turbulência acima do dossel afetam as propriedades temporais do ambiente de luz dentro do dossel através de semelhanças entre os espectros de luz e os espectros de turbulência.

A Figura 26 apresenta uma comparação dos espectros de velocidade vertical e PAR no dossel superior. Os dois espectros são semelhantes, ambos têm picos e decaem linearmente em frequências semelhantes. Esta é uma forte evidência do papel da turbulência nos *sunflecks* direta.

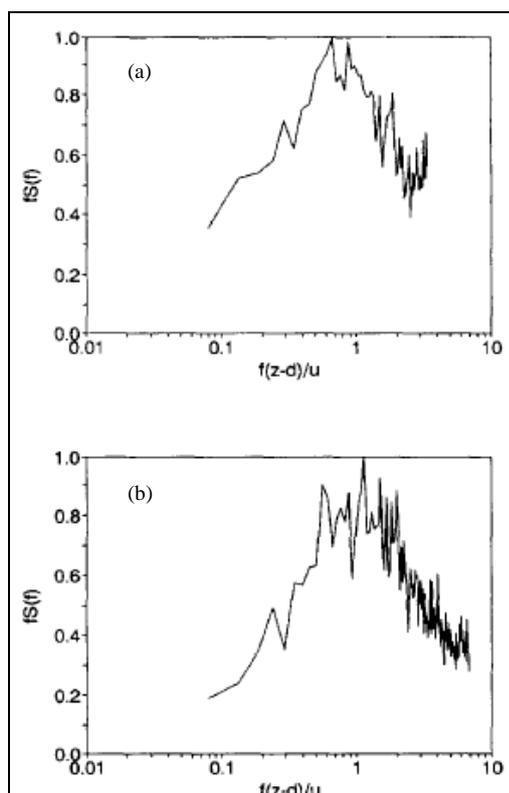


Figura 26: Comparação do espectro vertical da velocidade do vento e do espectro da PAR, (a): espectro da velocidade do vento vertical a 1,5 m acima do dossel e (b): espectro luz medida a 45 cm do dossel

Fonte: TONG & HIPPS, 1995

Em resumo, os ventos têm grandes efeitos sobre as propriedades dos *sunflecks* na copa de alfafa. Quanto mais forte o vento horizontal, maior será a intensidade da turbulência. O espectro de potência das séries temporais da PAR caracterizou o movimento do vento das copas e a distribuição das folhas. O pico espectral pode ser basicamente atribuído às rajadas, e então mantida pelas propriedades biomecânicas das plantas. Os valores de frequência do pico não mudaram sensivelmente com o aumento do vento. No entanto, o aumento do vento contribuiu para o aumento das flutuações de luz com alta frequência no dossel, provavelmente devido às respostas da turbulência nas folhas.

2.3 SÉRIES TEMPORAIS

Pode-se definir uma série temporal como sendo um conjunto de dados observados e ordenados segundo parâmetro de tempo e com dependência serial, sendo esse espaço de tempo entre os dados disponíveis equidistantes (horário, diário, semanal, mensal, trimestral, anual, etc.) (Souza & Camargo, 2004). Na série temporal, as medidas deverão ser realizadas em um ponto fixo sobre um determinado tempo, e a análise dessa série demonstrará se há padrões aleatórios ou não nos dados obtidos (Wilks, 1995). Outro indício que deverá ocorrer em uma série temporal é a dependência serial entre os dados.

Segundo a abordagem de componentes não observáveis, as séries temporais podem ser representadas como a combinação de quatro componentes (Mendenhall, 1993): tendência, cíclica, sazonal, e erro.

As componentes de tendência produzem frequentemente mudanças graduais em longos prazos. As componentes cíclicas são aquelas que provocam oscilações de subida e de queda nas séries, de forma suave e repetitiva, ao longo da componente de tendência. As componentes sazonais são aquelas oscilações de subida e de queda que sempre ocorrem em um determinado período do ano, do mês, da semana, do dia ou horário. A diferença essencial entre as componentes sazonais e cíclicas é que a primeira possui movimentos facilmente previsíveis, ocorrendo em intervalos regulares de tempo. A componente de erro apresenta movimentos ascendentes e descendentes da série após a ocorrência de um efeito de tendência, um efeito cíclico, ou de um efeito sazonal. Nas componentes de erro aparecem picos de período curto,

com deslocamento inexplicável, geralmente são causados por motivos imprevisíveis (Silva, 2005).

A análise harmônica estuda as representações de funções harmônicas e suas propriedades em uma série temporal. Harmônicas são as funções trigonométricas seno e cosseno e são frequências diversas, tendo como início uma frequência fundamental, é uma frequência angular e tem dimensões físicas de radianos por unidade de tempo e corresponde ao período igual ao comprimento dos dados (Carvalho, 2005). Nesta revisão da análise harmônica consideraram-se apenas os aspectos para representar a análise de Fourier e Transformada Rápida de Fourier.

A série de Fourier envolve representações de funções periódicas mais ou menos complexas em termos de funções simples, como seno (sen) x cosseno (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, matemático e físico francês, publicada em 1822 no seu trabalho intitulado *Thèorie Analitique de la Chaleur*. Fourier dedicou-se à 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:

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

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:

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

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

A condição imposta para a função $f(x)$, para a validade da equação XI, é que a função $f(x)$ deve ser contínua, embora seja possível obter representações satisfatórias no caso de funções descontínuas (Pinheiro, 2008).

Algumas vantagens da utilização da Série de Fourier, é que a função pode ser descontínua, periódica, ou ainda, ter mudança de intervalo. Na função descontínua a Série de Fourier não precisa ter todos os dados da pesquisa para obter um resultado real. Na 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 equações XII e XIII, se $f(x)$ é constante, a_n será 0 se $f(x)$ for ímpar, todo $B_n = 0$, obterá as equações XIV e XV:

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

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

Estas propriedades podem ser expandidas em uma dada função.

Nas equações acima, o intervalo de validade da função é de 0 a 2π . No caso da mudança de intervalo, 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:

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

com

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

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

substituindo a variável x das Equações: XI, XII e XIII pelo tempo. As equações XVII e XVIII 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:

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

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

Onde: $n = 0,1,2,3, \dots$; f_j = dados experimentais; L = metade da largura do intervalo de dados

A Transformada de Fourier é uma técnica matemática para transformar o sinal observado no domínio do tempo para o domínio da frequência. Essa transformação extrai a informação global de sinais de ondas equivalentes, mas perde totalmente a informação sobre a localização temporal (Harter, 2004). Nas Transformadas Rápidas de Fourier foram inseridos os termos da notação exponencial complexa de Euler, que segue a forma:

$$F(\omega) = \int_{x=-\infty}^{+\infty} f(x) e^{-2\pi i \omega x} dx \dots \text{Equação XXI}$$

em que $f(x)$ é a série temporal, f é a frequência que cada componente oscilatória essencial apresenta (ou seja, representa as diferentes frequências contidas na série) e a exponencial transforma para o espaço das frequências.

As características de uma série temporal que foram obtidas por Transformadas Rápida de Fourier no domínio de frequência são comumente

examinadas graficamente, usando um *plot* conhecido como periodograma, ou linha de espectro de Fourier (*Fourier Line Spectrum*). Este tipo de gráfico é chamado de Espectro de Potência ou simplesmente Espectro de uma série de dados (Carvalho, 2005).

Normalmente no eixo vertical de um espectro é plotado em escala logarítmica, quando as variações nas séries temporais estão denominadas por harmônicos de poucas frequências. Um eixo vertical logarítmico também regulariza a representação de limites para as estimativas espectrais (Wilks, 1995).

Já no eixo horizontal de um espectro, se utiliza para frequências, e da metade dos conjuntos de dados, ω será $n/2$ se n for par e $(n-1)/2$ frequências se n for ímpar. A frequência máxima que pode ser resolvida por esta decomposição é igual à metade da frequência de aquisição dos dados, chamada frequência de Nyquist. Enquanto que $A(n)$ é a representação física do sinal no domínio do tempo ou do espaço, $F(k)$ representa este sinal no domínio espectral (ou domínio da frequência, ou domínio do número de onda) (Bernardes, 2008).

De acordo com Carvalho (2005), o eixo horizontal é frequentemente simplesmente a frequência angular ω , com unidades de radianos/tempo. Uma alternativa comum é usar as frequências:

$$f_k = \frac{k}{n} = \frac{\omega}{2\pi} \dots\dots\dots \text{Equação XXII}$$

que, neste caso, têm dimensão de tempo⁻¹. Usando esta convenção, as frequências permitidas variam num intervalo entre $f_1=1/n$ para a frequência fundamental a $f_{n/2}=1/2$ para a frequência de Nyquist. Também se pode usar no eixo das abcissas o período do k-ésimo harmônico:

$$T_k = \frac{n}{k} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f_k} \dots\dots\dots \text{Equação XXII}$$

O período especifica o comprimento de tempo requerido para completar um ciclo de frequência ω . Associando períodos com as estimativas do periodograma pode ajudar a visualizar as escalas de tempo nas quais as variações importantes dos dados estão ocorrendo.

3 MATERIAL E METÓDOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDOS

O estudo foi realizado em três ecossistemas diferentes no estado de Mato Grosso: em uma área de Floresta de Transição Amazônia - Cerrado, no Cambarazal em uma reserva particular do Sesc Pantanal e em área de Pastagem Mista no Cerrado situada na fazenda experimental da UFMT em Santo Antonio do Lerverger.

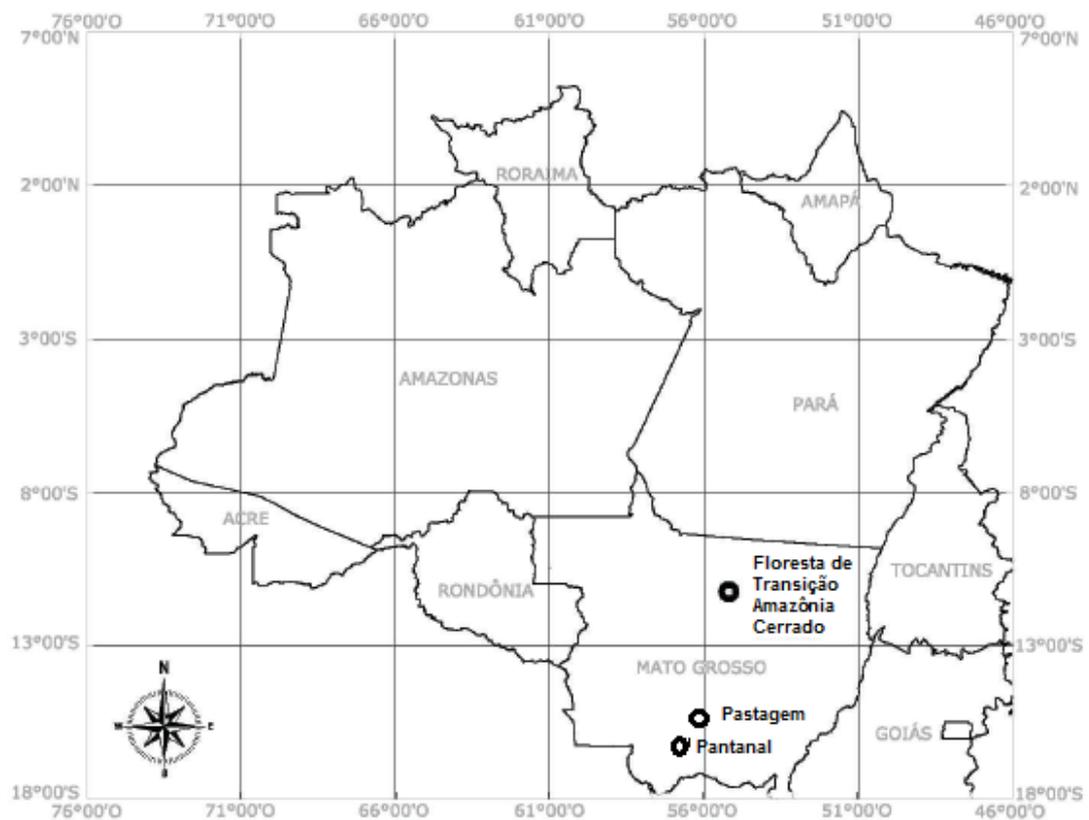


Figura 27:Localização de uma área de Floresta de Transição Amazônia- Cerrado, da reserva particular do Sesc Pantanal e da área de Pastagem Mista situada na fazenda experimental da UFMT em Santo Antonio do Lerverger
Fonte: SANCHES et al., 2008 (Modificada)

3.1.1 Área da Floresta de Transição Amazônica Cerrado

Na primeira área utilizou-se os dados coletados na Amazônia Legal, em uma área pertencente à Fazenda Maracaí, com cerca de 20 km², a aproximadamente 50 km a noroeste de Sinop, acerca de 500 km de Cuiabá Mato Grosso, Brasil (11°24,75'S; 55°19,50'O), a 423 metros do nível do mar. Nesta área estava instalada uma torre metálica, de 42 metros, com equipamentos de coletas de dados micrometeorológicos.

A área de estudo é constituída por uma Floresta Tropical de Transição, com um dossel contínuo, composto de árvores de 25 a 28 m de altura (Vourlitis et al., 2005, 2008). Com aproximadamente 80 espécies e 35 famílias de árvores com um diâmetro de 10 cm, no entanto, quase 50% de todos os indivíduos estão nas famílias *Burseraceae* (*sagotianum* P.), *Clusiaceae* (*T. schomburgkii*) e *Moraceae* (*B. lactescens*). O índice de área foliar (LAI), estimado por Lambert-Beer apresentou sazonalidade e uma média anual variando de 3,21 a 3,74 m²m⁻² durante 2001 a 2003. Sanches et al. (2008) estimaram a média de LAI pelo produto MODIS.

A classificação climática de Köppen é do tipo Am, caracterizado por um clima tropical de monção, sendo quente e úmido com elevada pluviosidade. A temperatura média anual na área de Sinop é de 24 °C com pequena variação nas estações climáticas, e uma precipitação média anual de 2 m com quatro meses de estação seca entre os meses de junho a setembro (Vourlitis et al., 2002).

O solo é um Neossolo Quartzarênico órtico do tipo A moderado e álico, com profundidade de 50 cm e textura arenosa com 83,6% de areia, 4,4% de silte e 2,2% de argila (Priante Filho et al., 2004), ainda são pobres em nutrientes, possui alta porosidade e drena rapidamente após a ocorrência de fortes chuvas, em torno de quatro a sete dias (Vourlitis et al., 2008).

3.1.2 Área do Cambarazal

A segunda área estudada está localizada na Reserva Particular do Patrimônio Nacional (RPPN), Sesc Pantanal com aproximadamente 87.871,44 hectares, no município de Barão de Melgaço, Mato Grosso, Brasil (16°39'50"S; 56°47'50"O), a 165 km de Cuiabá, em área de cambará sazonalmente inundada inserida na planície

fisiográfica do Pantanal, sob altitude média de 120 m, na qual instalou uma torre micrometeorológica de 32 m de altura (Biudes, 2008; Fraga, 2009).

O Cambarazal é dominado pela *Vochysia divergens* Pohl (Damasceno Júnior et al., 2005), cuja altura do dossel varia de 28 a 30 m (Campelo Júnior et al., 2007). Essa espécie tem origem amazônica, com altura variando entre 5-18m, considerada colonizadora de campos naturais inundáveis no Pantanal de Poconé (Por 1995; Heckmann 1998; Junk & Silva 1999; Nunes & Cunha et al. 2007). O LAI estacional médio observado na estação úmida foi $4,00 \pm 0,06 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e para a estação seca, $4,60 \pm 0,028 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (Fraga, 2009).

O Pantanal é uma das maiores áreas alagáveis do mundo, e está localizado na bacia do rio Paraguai, sendo caracterizado pela variação temporal do nível d'água, denominado pulso de inundação, constituindo a enchente um fator determinante nos processos ecológicos que ocorrem nessas planícies inundáveis (Adámoli 1982).

O clima local está na classe Aw, segundo classificação de Köppen (1948), que corresponde a invernos secos e verões chuvosos, com precipitação anual entre 1.000 e 1.500 mm. Dentro da RPPN, a temperatura oscila entre 22 °C e 27 °C, estando as áreas mais frescas dentro da reserva (com cerca de 21 °C de temperatura) associadas às áreas de mata (Hasenack et al. 2003).

3.1.3 Área de Pastagem Mista

A terceira área experimental foi uma pastagem mista, localizada na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso (15°47'11"S; 56°04'47"O), ao lado da Estação Agroclimatológica Padre Ricardo Remetter em uma altitude de 140 m, situada no município de Santo Antônio do Leverger – MT, a uma distância de 33 km de Cuiabá – MT.

A pastagem mista no local dos equipamentos é composta de duas espécies de forrageiras: capim carona (*Elyonurus muticus*) e *Brachiaria humidicola*. O solo foi classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico gleissólico (Biudes et al., 2009). Segundo a classificação de Köppen, 1948, é um clima Aw, devido a sua caracterização de um tropical de savana, com chuvas no verão, de outubro a março, diminuído até atingir seus valores mínimos de julho a agosto.

A tabela 1 equipara as características dos três ecossistemas:

Tabela 1: Características dos três ecossistemas estudados

Características	Floresta de Transição Amazônia - Cerrado	Cambarazal	Pastagem Mista
Localização	11°24,75'S; 55°19,50'O	16° 39' 50"S; 56°47'50" O	15°47'11"S; 56°04'47"O
Local	Fazenda Maracaí	Sesc Pantanal	Fazenda Experimental da UFMT
Ecossistema	Amazônia- Cerrado	Pantanal	Pastagem
Torre instalada	42m	32m	4m
Altitude	423m	120m	140m
Altura do dossel	25 a 28 m	28 a 30m	-
Principais espécies	<i>Burseraceae (sagotianum P.), Clusiaceae (T. schomburgkii) e Moraceae (B. lactescens).</i>	Cambarazal (<i>Vochysia divergens</i> Pohl)	capim carona (<i>Elyonurus muticus</i>) e <i>Brachiaria humidicola</i>
Índice de Área Foliar	3,21 a 3,74 m ² m ⁻²	4,00 a 4,6 m ² m ⁻²	-
Classificação Climática (Köppen)	Am	Aw	Aw
Temperatura	22 °C e 32 °C	22 °C e 27 °C	24° a 27°C
Solo	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico do tipo A moderado e álico	GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico	PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico gleissólico
Precipitação Anual	2.000mm	1.180 mm	1.320mm

3.2 INSTRUMENTOS MICROMETEOROLÓGICOS

3.2.1 Área da Floresta de Transição Amazônica Cerrado

De 1999 a 2005, na Fazenda Maracaí- MT, a 42 m acima do nível, na torre metálica conforme Figura 28, o sistema de correlação de vórtices turbulentos (*eddy covariance*), era constituído por um Anemômetro Sônico (*Applied Technologies, Inc., Longmont, CO, USA*), que quantifica a velocidade do vento e a temperatura nos três eixos ortogonais e o Psicrômetro modelo (*HMP45C, Campbell Scientific, Inc.*) no qual realiza medidas de temperatura, umidade relativa do ar e por um conversor analógico/digital (*datapacker*). Os valores medidos dos Fluxo de Calor Latente (*LE*) e Fluxo de Calor Sensível (*H*), foram determinados usando o método de correlação de vórtices turbulentos, que determina 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).



Figura 28: Torre micrometeorológica na Floresta de Transição Amazônia-Cerrado

Fonte: PRADO, 2010

A 42 m de altura com o Piranômetro (*LI-200SA Pyranometer Sensor, LI-COR, Inc., USA*), mediu-se a radiação solar sobre o dossel, a 42 m de altura com sensor quantum (*LI-190SZ Quantum Sensor, LI-COR, Inc., USA*) obteve-se as radiações fotossinteticamente ativa.

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 utilizando a técnica de médias de 200s com filtragem digital recursiva (para os fluxos de calor sensível e calor latente), armazenava as variáveis como 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 foram analisados em planilhas do software Microsoft Excel.

Com base na torre e esta técnica micrometeorológica quantifica diretamente as trocas de massa e energia da superfície - atmosfera, pela medida do transporte turbulento de vapor d'água e calor (Verma, 1990; Baldocchi et al., 2001; Vourlitis et al., 2001; Vourlitis et al., 2002).

3.2.2 Área do Cambarazal

Na área de Cambarazal, no qual predomina o Cambarazal foi instalada uma torre metálica (Figura 29) a 32 m acima do solo, 3 m acima do dossel, equipada com instrumentos micrometeorológicos com sensores para medir: saldo de radiação, radiação solar incidente, radiação fotossinteticamente ativa, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Os Fluxos de Calor Latente (LE) e Fluxos de Calor Sensível (H) foram estimados através da razão do Bowen, tanto no Cambarazal como na pastagem, para isto utilizou medidas de densidade de fluxo de calor no solo, de saldo de radiação sobre o dossel, gradientes de temperatura e pressão de vapor d'água no ar.

Os gradientes de temperatura e umidade relativa do ar foram medidos por três termohigrômetros (*HMP 45 C, Vaisala, Inc., Helsinki, Finland*). A precipitação foi medida por um pluviômetro de balança (*TB4-L25, Campbell Sci, Inc., USA*) a 34 m de altura do solo.

A 32 m de altura com um saldo radiômetro (*Net Radiometer, Kipp & Zonen Delft, Inc., Holland*), aferiu o saldo de radiação sobre o dossel, em 33m de altura um piranômetro (*LI-200, Campbell Sci, Inc., USA*) foi instalado para medir a radiação solar global incidente, a radiação fotossinteticamente ativa incidente e refletida.

Segundo Biudes (2008) os termohigrômetros e anemômetros instalados no Cambarazal foram calibrados, mantendo-os durante 4 dias nas mesmas condições atmosféricas, com intervalo de leitura de 10 segundo e com registro das médias a cada 120 minutos. As calibrações foram realizadas por regressões lineares simples, adotando como valores conhecidos a temperatura e a pressão atual de vapor d'água

do ar obtidas pelo termohigrômetro e a velocidade do vento obtida pelo anemômetro instalado a 35,7 m de altura. Os termopares utilizados para medir o perfil de temperatura do ar foram calibrados por regressões lineares simples, adotando como valores conhecidos a temperatura medida com o termopar instalado a 28,7 m. Para tanto, o conjunto de dez termopares foi instalado a 2 cm de profundidade em uma caixa de areia de 1,5 m de largura por 1,5 m de comprimento.



Figura 29: Torre micrometeorológica no Cambarazal
Fonte: BIUDES, 2008

3.2.3 Área de Pastagem Mista

Na área de pastagem mista, a radiação solar incidente, os gradientes de temperatura e umidade, foram medidos por sensores dispostos a 4m de altura (Figura 30).



Figura 30: Torre micrometeorológica na Pastagem Mista
Fonte: BIUDES, 2008

A temperatura e umidade do ar foram medidas por termohigrômetros (*HMP 45 C, Vaisala, Inc., Helsinki, Finland*), já a 1,8 m de altura mediu-se a precipitação com um pluviômetro de báscula (*TB4-L25, Campbell Sci, Inc., USA*).

O saldo de radiação sobre o dossel da Pastagem Mista foi medido por um saldo radiômetro (*Net Radiometer, Kipp & Zonen Delft, Inc., Holland*), a radiação solar global incidente por um piranômetro (*LI-200, Campbell Sci, Inc., USA*), a radiação fotossinteticamente ativa incidente a 2,5 m pelo sensor quântico (*LI-190, Campbell Sci, Inc., USA*).

Os termohigrômetros instalados na Pastagem Mista foram calibrados, mantendo-os durante 10 dias nas mesmas condições atmosféricas, com intervalo de leitura de 1 segundo e com registro das médias a cada 120 minutos. As calibrações foram realizadas por regressões lineares simples, adotando como valores conhecidos a temperatura e a pressão atual de vapor d'água no ar obtidas pelo termohigrômetro instalado a 1,8 m de altura (Biudes, 2008).

A Tabela 2 faz comparação de como as variáveis foram medidas:

Tabela 2: Equipamentos ou métodos utilizados para medir as variáveis nas áreas estudadas

Variáveis	Floresta de Transição Amazônia - Cerrado	Cambarazal	Pastagem Mista
Temperatura	Psicrômetro modelo (HMP45C, Campbell Scientific, Inc.)	Termohigrômetros (HMP 45 C, Vaisala, Inc., Helsinki, Finland)	
Umidade Relativa do Ar	Psicrômetro modelo (HMP45C, Campbell Scientific, Inc.)	Termohigrômetros (HMP 45 C, Vaisala, Inc., Helsinki, Finland)	
Radiação Líquida	Piranômetro (LI-200SA Pyranometer Sensor, LI-COR, Inc., USA)		
Fluxo de Calor Sensível	Sistema de correlação de vórtices turbulentos	Método: Razão de Bowen	
Fluxo de Calor Latente	Sistema de correlação de vórtices turbulentos	Método: Razão de Bowen	
Radiação Fotossinteticamente Ativa	(LI-190SZ Quantum Sensor, LI-COR, Inc.)	Sensor quânticos (LI-190, Campbell Sci, Inc., USA).	
Concentração de Dióxido de Carbono	Analisador de gás de circuito aberto (IRGA) modelo (LI-7500, LI-COR, Inc)	Não se tem equipamentos nas torres.	
Concentração de Água	Analisador de gás de circuito aberto (IRGA) modelo (LI-7500, LI-COR, Inc)	Não se tem equipamentos nas torres.	

3.3 MÉTODOS

Os dados brutos foram coletados em torres micrometeorológicas nos três lugares. Os dados diários foram acumulados a cada 30 minutos ou 15 minutos em um datalogger, sendo registrados em arquivos eletrônicos. Usaram-se apenas dados contínuos, no quais não continham falhas, não se utilizou preenchimento de falhas para não camuflar algum evento.

Nesse estudo foram utilizadas as variáveis: Temperatura (T), Umidade Relativa do Ar (UR), Radiação Líquida (Rn), Fluxo de Calor Sensível (H), Fluxo de Calor Latente (LE) e Radiação Fotossinteticamente Ativa (PARi) nos três ecossistemas; para a Floresta de Transição ainda tem-se Concentração de Dióxido de Carbono (CO₂) e Concentração de Água (H₂O). Para a Floresta de Transição Amazônia - Cerrado obteve-se em torno de 62 séries de dados temporais, entre os anos de 1999 a 2008, para o Cambarazal conseguiu em torno de 36 séries, entre 2007 a 2010, na

Pastagem Mista encontrou 11 séries no ano de 2007. Para análise dos dados foi utilizado um método de análise de séries temporais: a Série de Fourier e realizou-se pelo Método de Monte Carlo para o cálculo de erro.

Os dados de cada variável foram separados em planilhas do software Microsoft Excel, sendo separados por intervalo de dados contínuos. Após foram calculados os coeficientes An e Bn , no programa Fourier.exe, fazendo os gráficos de dispersão para cada coeficiente, encontraram-se os picos dominantes (ou frequências dominantes), para finalizar essa etapa, usou-se o programa errFour.exe para calcular os erros dos picos, considerou pico dominante, o pico era pelo menos três vezes menor que o erro, como visto na Figura 31.

Nas colunas de A a C , Figura 31, são os dados usados coletados na torre micrometeorológicas da Floresta de Transição Amazônia - Cerrado de junho de 2007, com um total de 1.440 dados. Para plotar os gráficos utilizaram-se apenas metade dos dados (720) dos coeficientes, devido a simetria da análise temporal. Na coluna C são os valores de Fluxo de Calor Sensível de n , que neste caso variou de 1 a 1440, tendo sido coletados 30 dias. As colunas J e K representam os valores de An e Bn , que foram calculados através das equações XVIII e XIX respectivamente, para cada n . Os erros são calculados para cada valor de n , através do programa errFourier.exe, pelo método de Monte Carlo. Embora calculou-se o erro correspondentes a todos os coeficientes, somente foram considerados significativos os coeficientes cujo valor ultrapassou a três vezes o valor do erro correspondente. Assim foram definidas as frequências dominantes, que são as frequências que indicam a periodicidade de cada variável. Esses erros foram colocados nas colunas P e T , nas linhas de 4 a 6.

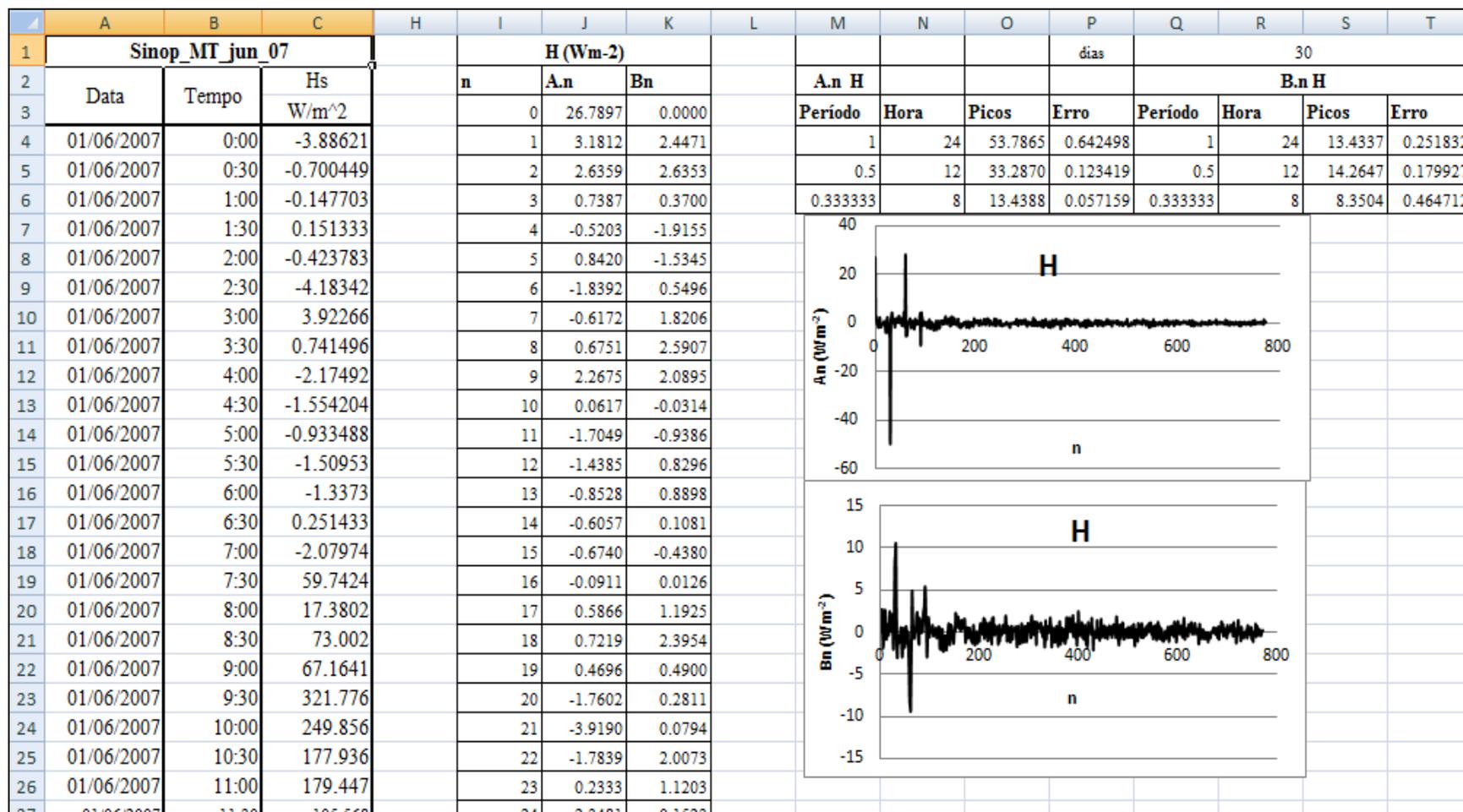


Figura 31: Tratamento de dados, do fluxo de Calor Sensível, em junho de 2007, para a Floresta de Transição Amazônia-Cerrado

3.3.1 Análises de Séries de dados Temporais pelo Método Fourier

Vários tipos de análises temporais são estudados no Programa de Pós Graduação em Física Ambiental, dentre eles, está a análise de Fourier, no qual vem obtendo ótimos resultados, pode observar nos trabalhos de Pinheiro, 2008; Mariano, 2008; Silva, 2011; Vidal, 2009 etc.

Uma das principais características da análise de Fourier é transformar uma série temporal de variáveis aleatórias em uma soma de frequência de senos e cossenos. A análise dessa série temporal foi realizada pela Série de Fourier, instrumento esse, capaz de fornecer importantes informações sobre as dinâmicas das variáveis micrometeorológicas desta pesquisa. Representam quaisquer sinais periódicos da somatória das ondas senoidais ou cossenoidais, cujas frequências são múltiplos da frequência fundamental do sinal, e quantificam as variáveis associadas a uma determinada frequência ou período.

Os cálculos da análise de Fourier foram divididos pelos coeficientes A_n e B_n , para encontrá-los utilizou as equações XVIII e XIX, as quais foram usadas para desenvolver o programa Fourier.exe em C, seu código fonte consta em anexo. Após os resultados dos dados das variáveis submetidos ao programa, plotou-se esses resultados no programa sigmaplot. Considerou-se os picos dominantes apenas os picos que continham o valor três vezes maior que o erro, calculado através do método de Monte Carlo.

3.3.2 Análises de Erros em Séries de dados Temporais pelo Método Monte Carlo

O Método de Monte Carlo é um procedimento largamente utilizado nas ciências naturais e simulações num grande número de outras aplicações. Recebeu esse nome pelos cientistas que trabalharam no Projeto Manhattan, como uma referência direta aos processos aleatórios envolvidos nos jogos de azar dos famosos cassinos do Principado de Monte Carlo. Consiste basicamente na simulação de processos estocásticos pela geração de números aleatórios (Kalos & Whitlock, 2008; Liu, 2008; Robert & Casella, 2010).

Contudo, o procedimento não se presta exclusivamente à simulação de processos aleatórios, mas também ao cálculo de quantidades definidas. Por exemplo, pode-se desenvolver um algoritmo computacional para calcular a área de uma superfície fechada irregular qualquer a partir do método. Basta gerar pontos aleatórios dentro de um quadrado que envolve completamente tal superfície e contar quantos pontos incidem no seu interior. A área dessa superfície será igual à razão entre o número de pontos que incidem no interior e o número total de pontos, multiplicada pela área do quadrado (Kalos & Whitlock, 2008).

A possibilidade de programas de computador gerarem números aleatórios tem particular importância na simulação de processos estatísticos, como é o caso da estimativa dos erros dos coeficientes da análise de Fourier, utilizada neste trabalho. Para isso foi construído o programa ERRFOUR, no Grupo de Física Ambiental da UFMT, escrito com a seguinte estrutura: Calcula-se a média e o desvio padrão da variável a ser analisada em cada hora do dia. Assim, obtém-se uma média e um desvio padrão para aquela variável referente a cada hora do dia. Posteriormente, gera-se, aleatoriamente, valores da variável, dentro do intervalo: média menos um desvio-padrão e média mais um desvio-padrão. O procedimento é feito para todas as horas do dia, e para todos os dias correspondentes ao tamanho da série temporal original a ser analisada. Desta forma, gera-se uma nova série temporal de mesmo tamanho que a série original. Em seguida, são calculados os coeficientes correspondentes a essa série. Tal procedimento é repetido 100 vezes, gerando-se, então, 100 conjuntos de coeficientes da série de Fourier. Finalmente, é calculado o desvio-padrão correspondente aos 100 valores diferentes de cada coeficiente, calculando-se o erro correspondente de cada coeficiente.

Tal procedimento se constitui na maneira tradicional com que usualmente se obtém a propagação de erros utilizando o Método de Monte Carlo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS MICROMETEOROLÓGICAS

Nas Figuras 32 e 33, foram comparadas as variáveis estudadas nos três ecossistemas (Floresta de Transição Cerrado-Amazônia, Cambarazal e Pastagem Mista). A Figura 32a mostra o perfil da Temperatura, na qual teve o maior valor médio de 31,67°C às 14 horas para a Floresta de Transição com uma Temperatura diária média de 26,57°C. A Pastagem Mista (cerrado) foi a que atingiu sua temperatura máxima média mais cedo, no horário de 13 horas e seu valor foi 30,55°C. O Cambarazal obteve a menor temperatura média diária em 25,9°C.

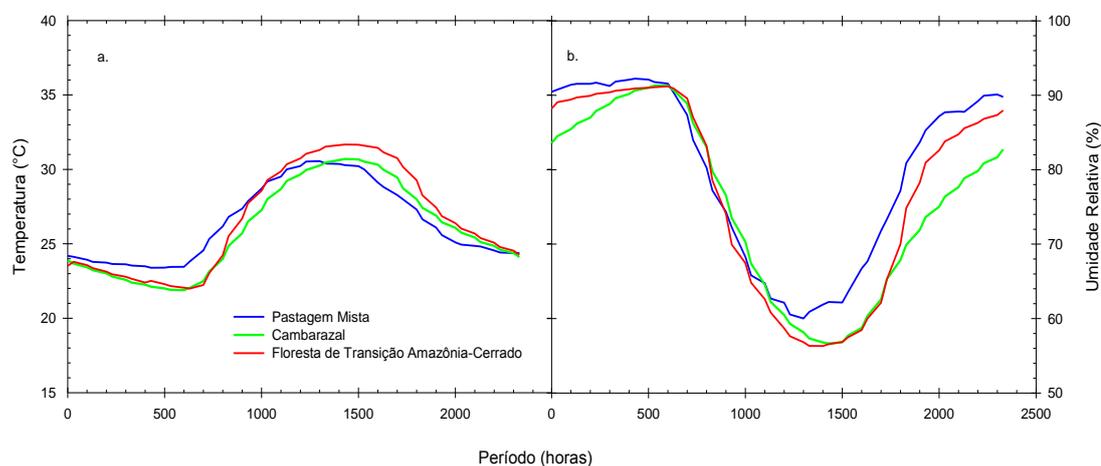


Figura 32: Perfil da Temperatura e da Umidade Relativa do ar, em a e b, respectivamente, para a Floresta de Transição Cerrado-Amazônia, Cambarazal e Pastagem Mista, no período estudado em cada ecossistema.

O perfil da Umidade Relativa do Ar, Figura 32b, apresentou os menores valores médios para a Floresta de Transição, Cambarazal, Cerrado, respectivamente, às 14, 15 e 13 horas.

O fluxo de Calor Sensível de um dia médio, mostrado na Figura 33a, demonstrou os maiores valores médio entre 11 e 12 horas, para a Pastagem Mista, Cambarazal e por último a Floresta de Transição, com seus respectivos valores $297,92 \text{ Wm}^{-2}$, $271,00 \text{ Wm}^{-2}$, $148,62 \text{ Wm}^{-2}$. Já o Fluxo de Calor Latente, Figura 32b, teve seus valores médios em ordem decrescente Pastagem Mista, Floresta de Transição e Cambarazal, com o valor máximo médio de $281,34 \text{ Wm}^{-2}$, $257,20 \text{ Wm}^{-2}$ e $230,51 \text{ Wm}^{-2}$ às 12 horas.

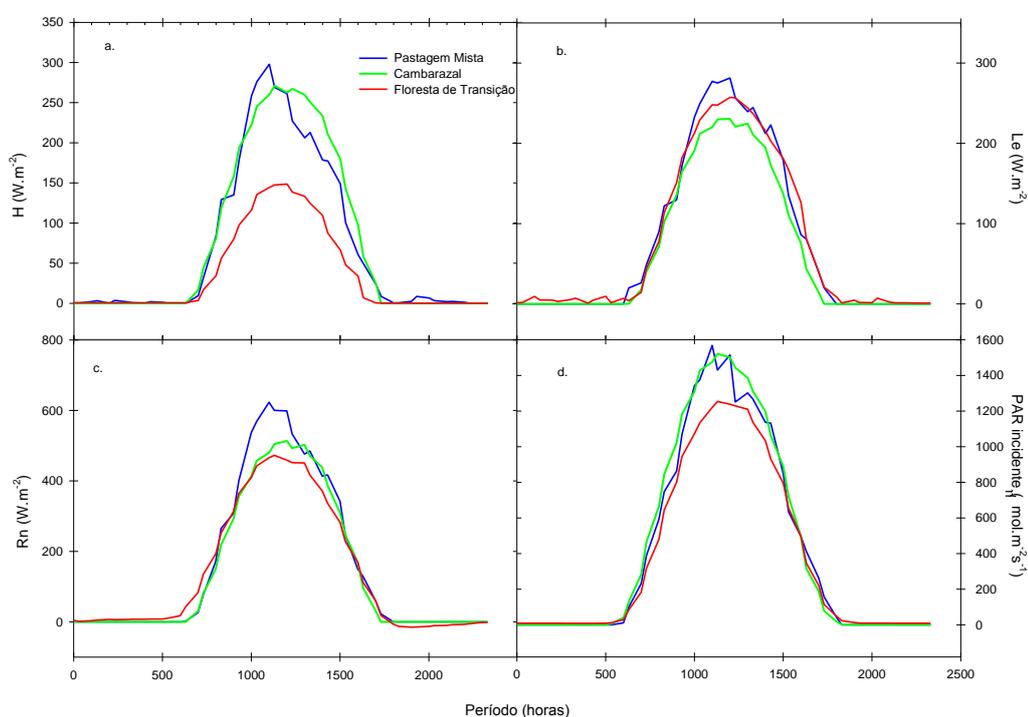


Figura 33: Fluxos de Calor Sensível (H), em a, e Latente (Le), em b, Radiação Líquida (Rn), em c, e por último a Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente (PARi), em d, para Floresta de Transição, Cambarazal e Pastagem, no período estudado em cada ecossistema.

Nas Figuras 33c e d, os valores máximos médios tanto para a Radiação Líquida, quanto para a Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente (PARi) foram para Pastagem, Cambarazal e Floresta de Transição, entre às 11 e 12 horas. Para Radiação Líquida, em 33c, apresentaram-se os seguintes valores $622,95 \text{ Wm}^{-2}$, $513,64 \text{ Wm}^{-2}$, $472,55 \text{ Wm}^{-2}$. A PARi, em 33d, plotou os valores máximos, em suas respectivas ordens $1.568,16 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, $1.521,51 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, $1.253,69 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, na Pastagem Mista ainda ocorreram três picos no intervalo das 10 e 14 horas.

4.2 ANÁLISE DE FOURIER PARA CADA COEFICIENTE COM SEUS ERROS

As séries temporais de Temperatura, Umidade Relativa do Ar, Radiação Líquida, Fluxo de Calor Sensível, Fluxo de Calor Latente, Radiação Fotossinteticamente Ativa, Concentração de Dióxido de Carbono e Concentração de Água, foram analisados por meio da Série de Fourier para todas as variáveis estudadas, separadamente e, posteriormente comparou-se os três ecossistemas. Primeiramente foram obtidos os valores dos coeficientes An e Bn e seus respectivos erros, por programas desenvolvidos em C, pelos resultados obteve-se as médias mensais (An e Bn), possibilitaram encontrar os períodos principais.

As frequências dominantes, são os picos, onde o eixo vertical (Figuras 34 a 53), representa os coeficientes An e Bn com que a série temporal correspondente aos dados que variam em cada frequência específica, dependendo do valor de n , no qual se encontra no eixo horizontal, sendo a quantidade de dados a metade da quantidade total da série de dados, e n igual a 1 teremos os coeficientes $A1$ e $B1$. Por meio 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, conforme equação XXIV, depois de encontrar os picos nos gráficos das médias mensais, exemplos destes picos estão nas figuras de 34 a 53:

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

em que: 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.

4.2.1 Temperatura (T)

Neste item apresenta-se 3 gráficos da análise de Fourier, sendo um para cada ecossistema estudado sobre a temperatura.

A Figura 34 apresenta para a área estudada na Floresta de Transição Amazônica - Cerrado as frequências dominantes no ano 2001 entre os dias julianos

de 19 e 63, totalizando 2132 dados, em médias de meia hora. Para o coeficiente A_n foram encontrados picos de 24 e 12 horas respectivamente seus valores foram $2,81 \pm 0,13$ e $0,92 \pm 0,049^\circ\text{C}$. O coeficiente B_n , obteve suas frequências no período de 24 horas, com seus respectivos valores $2,08 \pm 0,06^\circ\text{C}$.

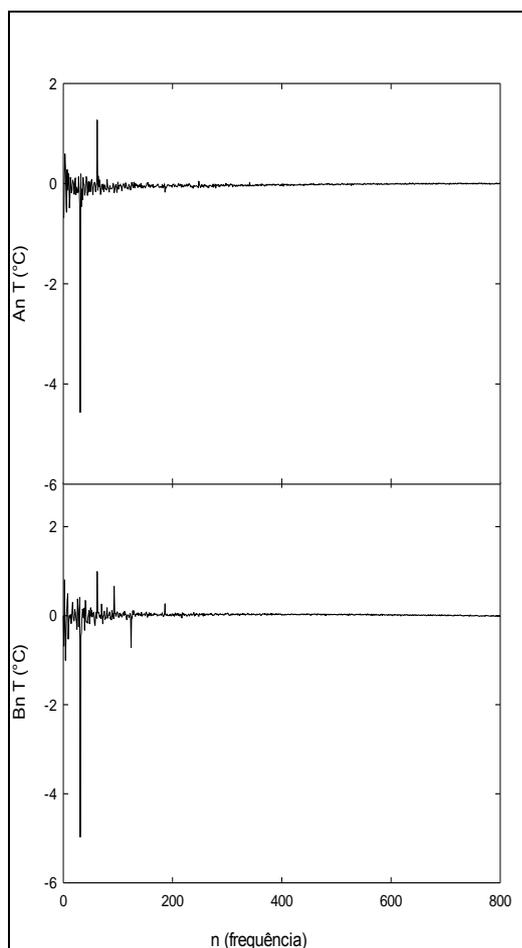


Figura 34: Valores dos coeficientes A_n e B_n da Temperatura, entre os dias julianos de 19 e 63 em 2001, na Floresta de Transição Amazônia – Cerrado

A Figura 35 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da Análise de Fourier para o Cambarazal em novembro de 2009, totalizando 2880 dados, 30 dias de dados contínuos. Os picos encontrados para o coeficiente A_n foram 24 e 12 horas, respectivamente, e seus valores foram $3,13 \pm 0,15$ e $0,79 \pm 0,08^\circ\text{C}$. Para o coeficiente B_n , encontrou-se as frequências nos períodos de 24, 12 e 8 horas, com seus respectivos valores $2,11 \pm 0,04$; $0,39 \pm 0,04$ e $0,36 \pm 0,005^\circ\text{C}$.

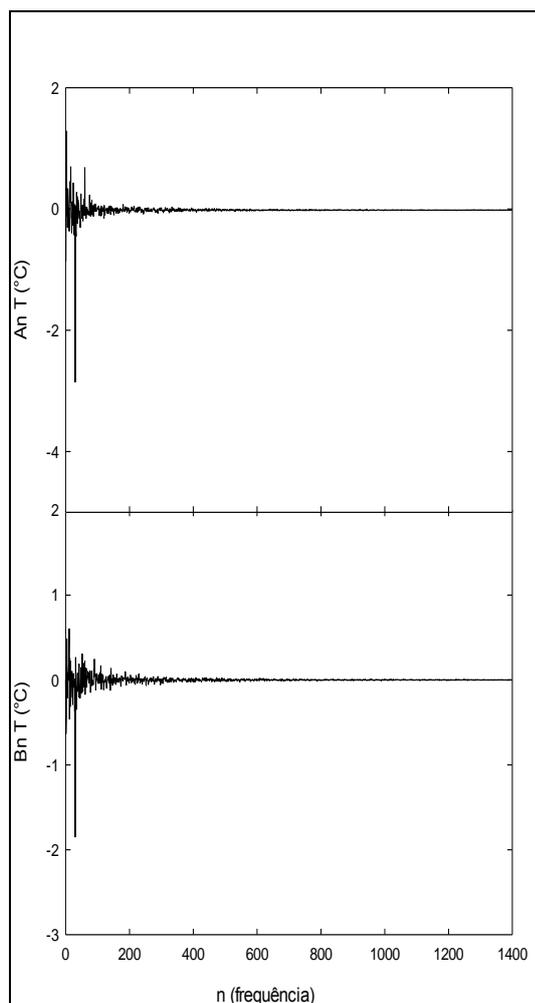


Figura 35: Valores dos coeficientes A_n e B_n da Temperatura, no mês de novembro de 2009, no Cambarazal

A Figura 36 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para a Pastagem Mista em abril de 2007, totalizando 26,14 dias de dados. Encontrou-se pico de 24 horas para o coeficiente A_n com o valor de $4,75 \pm 0,09$. Para o coeficiente B_n , encontrou-se as frequências nos períodos de 24 e 12 horas, com seus respectivos valores $3,51 \pm 0,09$ e $1,47 \pm 0,12$.

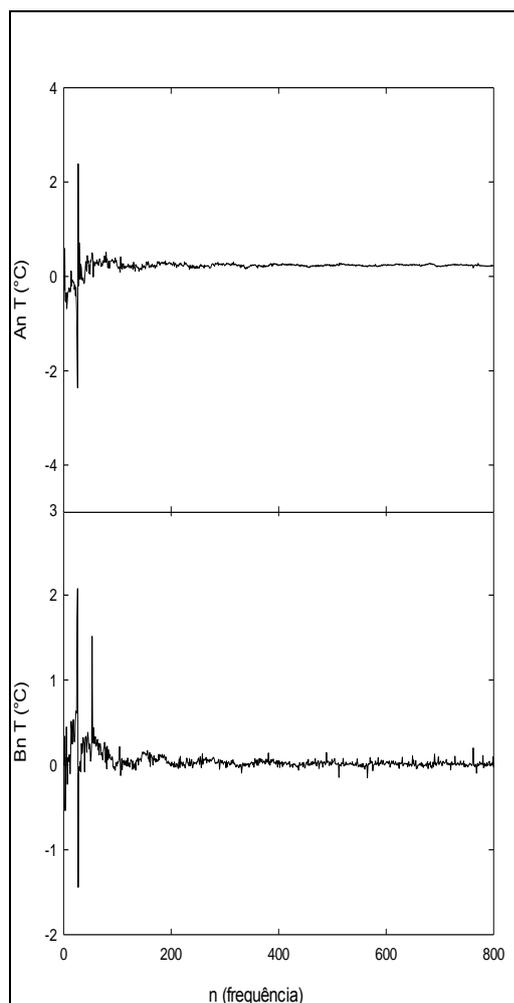


Figura 36: Valores dos coeficientes A_n e B_n da Temperatura, no mês de abril de 2007, na Pastagem Mista

4.2.2 Umidade Relativa do Ar (UR)

As Figuras 37 a 39 apresentam-se os coeficientes A_n e B_n da análise de Fourier, sendo um para cada ecossistema estudado sobre a Umidade Relativa do Ar.

A Figura 37 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para a Floresta de Transição Amazônia - Cerrado em abril de 2007, totalizando 1488 dados, 30 dias de dados contínuos, em médias de meia hora. Para o coeficiente A_n foram encontrados picos de 24 e 12 horas respectivamente seus valores foram $14,58 \pm 4,13$ e $4,46 \pm 0,32$. O coeficiente B_n , obteve suas frequências nos períodos de 24, 12 e 6 horas, com seus respectivos valores $8,26 \pm 0,71$; $3,9 \pm 0,92$ e $1,66 \pm 0,66$.

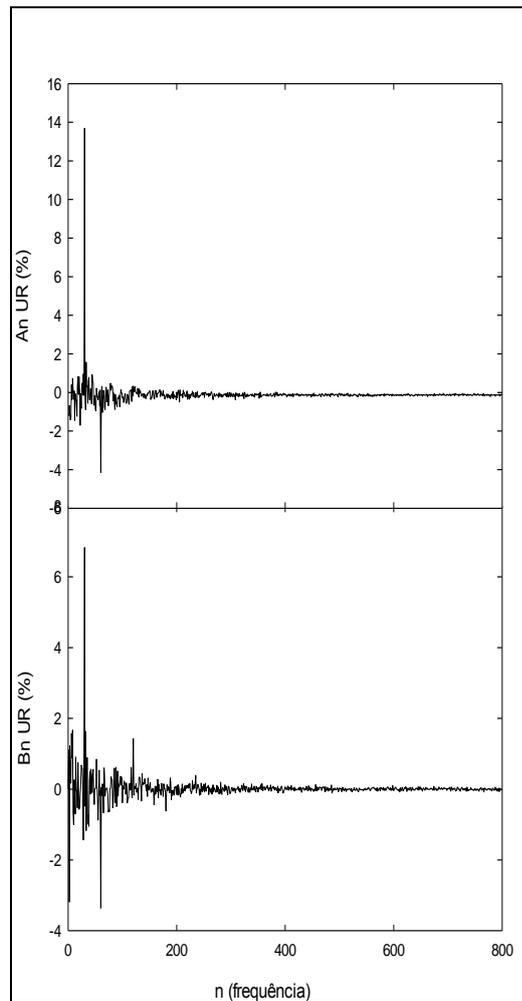


Figura 37: Valores dos coeficientes A_n e B_n da Umidade Relativa do ar, no mês de abril de 2004, na Floresta de Transição Amazônia - Cerrado

A Figura 38 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para o Cambarazal, em abril de 2007, totalizando 2880 dados, 30 dias de dados contínuos, em médias de quinze minutos. Para o coeficiente A_n foram encontrados picos de 24, 12, e 6 horas respectivamente seus valores foram $15,52 \pm 0,10$; $3,98 \pm 0,11$ e $1,27 \pm 0,15$. Já para o coeficiente B_n , encontrou-se as frequências nos períodos de 24, 12, 8 e 6 horas, com seus respectivos valores $11,29 \pm 0,14$; $3,16 \pm 0,03$; $1,12 \pm 0,196$ e $1,17 \pm 0,192$.

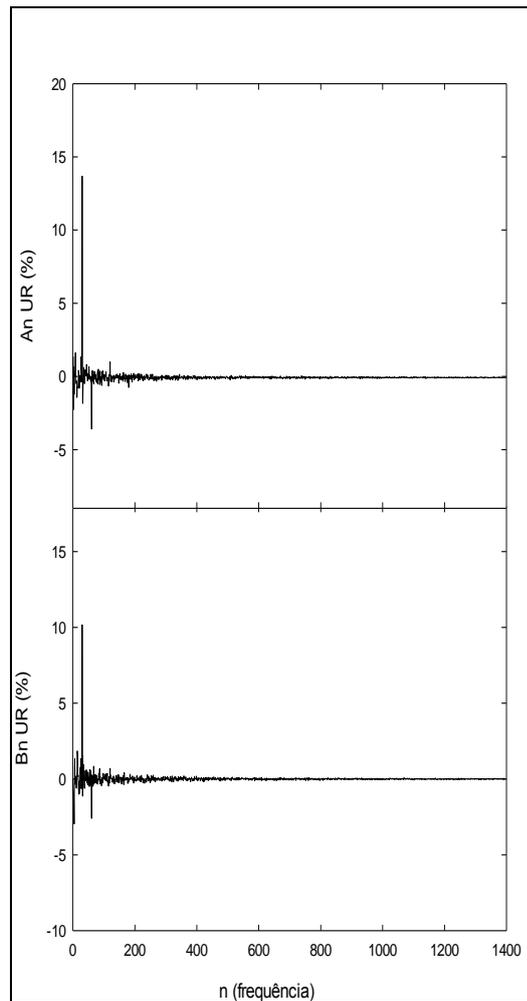


Figura 38: Valores dos coeficientes A_n e B_n da Umidade Relativa do Ar, no mês de abril de 2007, no Cambarazal

A Figura 39 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para a Pastagem Mista em setembro de 2007, totalizando 35,3 dias de dados, em médias de meia hora. Para o coeficiente A_n foram encontrados picos de 24, 12 e 6 horas respectivamente seus valores foram $17,15 \pm 0,07$; $4,60 \pm 0,035$ e $2,05 \pm 0,013$. Já para o coeficiente B_n , encontrou-se as frequências nos períodos de 24, 12, 8 e 6 horas, com seus respectivos valores $15,00 \pm 0,123$; $3,38 \pm 0,21$; $3,58 \pm 0,007$ e $2,11 \pm 0,099$.

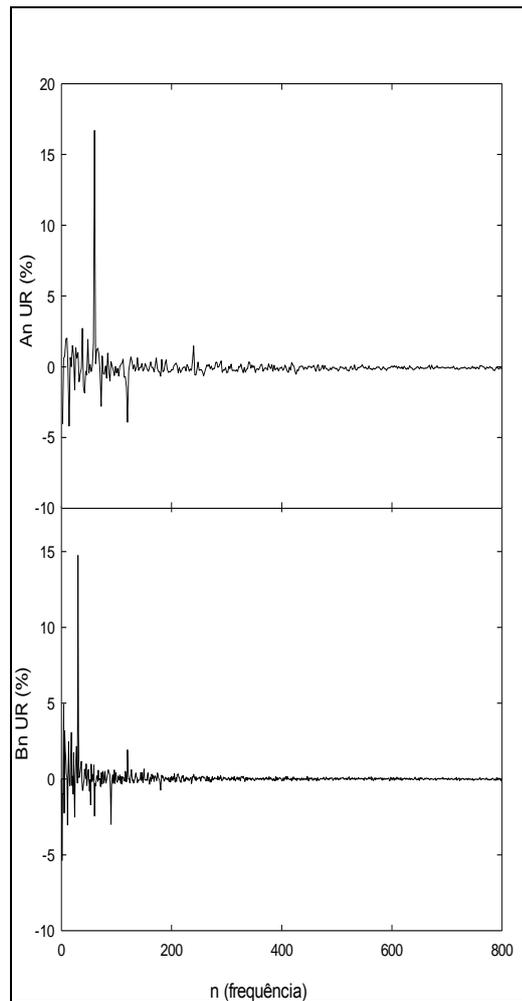


Figura 39: Valores dos coeficientes A_n e B_n do da Umidade Relativa do Ar, no mês de setembro de 2007, na Pastagem Mista

4.2.3 Radiação Líquida (R_n)

As Figuras 40 a 42 apresentam-se os coeficientes A_n e B_n da análise de Fourier, sendo um para cada ecossistema estudado sobre a Radiação Líquida.

A Figura 40 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para a Floresta de Transição Amazônia - Cerrado em março de 2004, totalizando 729 dados, em médias de meia hora. Para o coeficiente A_n foram encontrados picos de 24 e 12 horas respectivamente seus valores foram $24,97 \pm 2,12$ e $117,24 \pm 01,22$. O coeficiente B_n , obteve sua frequências no período de 24 horas, com seus respectivos valores $270,61 \pm 0,23$

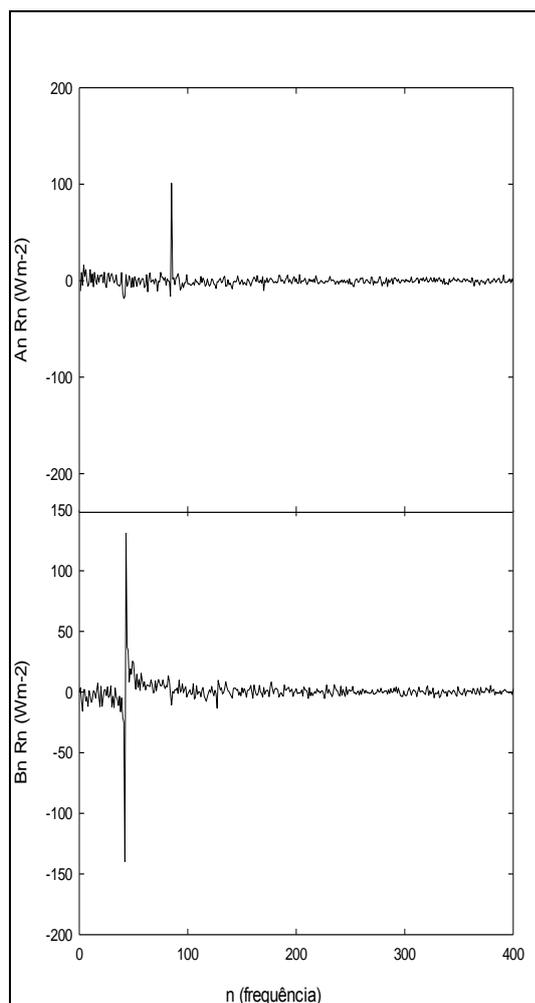


Figura 40: Valores dos coeficientes A_n e B_n da Radiação Líquida, no mês de março do ano de 2004, na Floresta de Transição Amazônia - Cerrado

A Figura 41 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para o Cambarazal em novembro de 2007, totalizando 3998 dados, em médias de quinze minutos. Para o coeficiente A_n foram encontrados picos de 24 e 12 horas respectivamente seus valores foram $290,38 \pm 2,77$ e $104,73 \pm 1,53$. Já para o coeficiente B_n , encontrou-se as frequências nos períodos de 24, 12 e 8 horas, com seus respectivos valores $132,61 \pm 0,60$; $111,74 \pm 2,77$ e $27,29 \pm 0,29$.

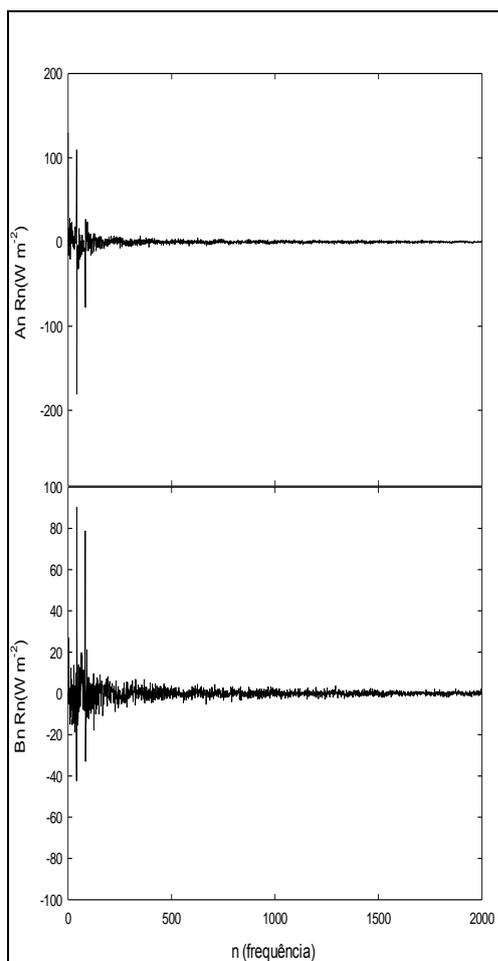


Figura 41: Valores dos coeficientes A_n e B_n da Radiação Líquida, no mês de novembro de 2007, no Cambarazal

A Figura 42 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para a Pastagem Mista em agosto de 2007, totalizando 35,3 dias de dados. Encontraram-se picos de 24, 12, 8 e 6 horas para o coeficiente A_n com os respectivos valores foram $174,54 \pm 0,01$; $58,06 \pm 0,40$; $35,08 \pm 0,46$ e $6,98 \pm 0,23$. Para o coeficiente B_n , encontrou-se as frequências nos períodos de 24, 12, 8, 6 e 5 horas, com seus respectivos valores $275,72 \pm 0,71$; $178,28 \pm 0,71$; $20,42 \pm 0,71$; $15,45 \pm 0,71$ e $21,03 \pm 2,44$.

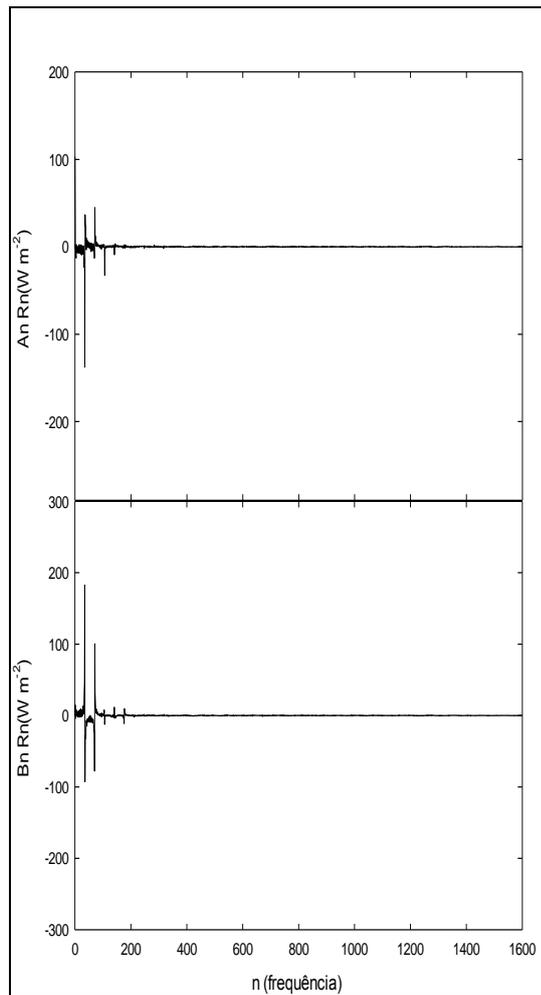


Figura 42: Valores dos coeficientes A_n e B_n da Radiação Líquida, no mês de agosto de 2007, na Pastagem Mista

4.2.4 Fluxo de Calor Sensível (H)

As Figuras 43 a 45 apresentam-se os coeficientes A_n e B_n da análise de Fourier, sendo um para cada ecossistema estudado sobre o Fluxo de Calor Sensível .

A Figura 43 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para a Floresta de Transição Amazônia - Cerrado no ano 2001 entre os dias julianos de 73 e 124, totalizando 2456 dados, em médias de meia hora, são considerados a metade dos dados devido à simetria das análises temporais. Para o coeficiente A_n foram encontrados picos de 24, 12, 6, 5 horas respectivamente seus valores foram $62,28 \pm 0,65$; $30,95 \pm 0,82$; $8,94 \pm 0,09$; $10,05 \pm 0,27$. O coeficiente B_n ,

obteve suas frequências nos períodos de 24, 12, 8 e horas, com seus respectivos valores $35,45 \pm 0,21$; $31,75 \pm 0,36$; $11,44 \pm 0,007$ e $7,46 \pm 0,043$.

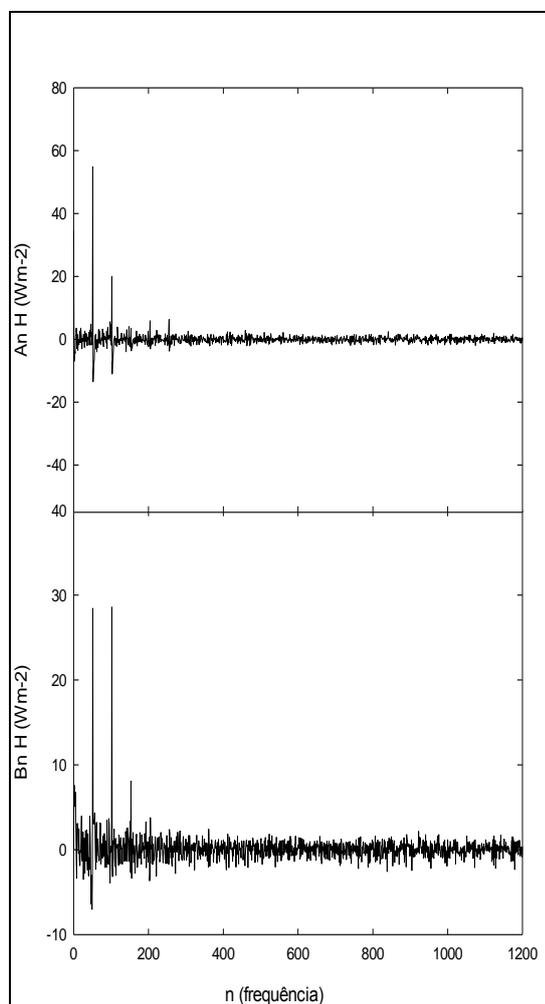


Figura 43: Valores dos coeficientes A_n e B_n do Fluxo de Calor Sensível, entre os dias julianos 73 e 124 do ano de 2001, na Floresta de Transição Amazônia – Cerrado

A Figura 44 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para o Cambarazal em fevereiro de 2007, totalizando 2688 dados, 28 dias de dados contínuos, em médias de quinze minutos, considerou apenas a metade dos dados para plotar os gráficos. Para o coeficiente A_n foram encontrados picos de 24 e 12 horas respectivamente seus valores foram $15,06 \pm 0,05$ e $13,79 \pm 0,31$. Já para o coeficiente B_n , encontrou-se as frequências nos períodos de 24 e 12 horas, com seus respectivos valores $30,77 \pm 0,42$ e $10,17 \pm 0,35$.

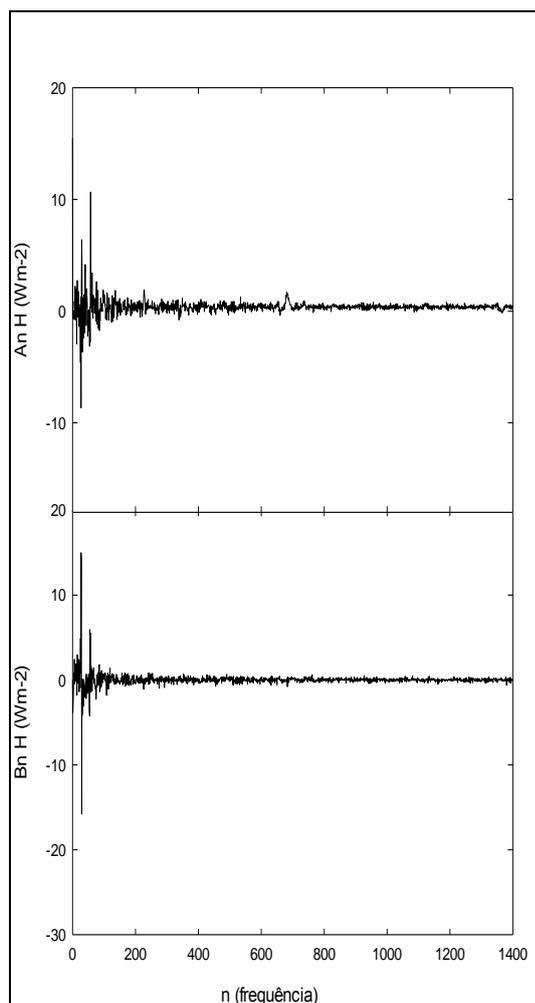


Figura 44: Valores dos coeficientes A_n e B_n do Fluxo de Calor Sensível, no mês de fevereiro de 2007, no Cambarazal

A Figura 45 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para a Pastagem Mista em agosto de 2007, totalizando 2976 dados, 31 dias de dados contínuos, em médias de quinze minutos, considerou apenas a metade dos dados para plotar os gráficos. Encontraram-se picos de 24, 12 e 8 horas para o coeficiente A_n com os respectivos valores foram 62.91 ± 0.027 , 44.99 ± 0.14 e 21.80 ± 0.33 . Para o coeficiente B_n , encontrou-se as frequências nos períodos de 24, 12, 8, 6 e 5 horas, com seus respectivos valores $12,93 \pm 0,003$; $21,14 \pm 0,04$; $17,27 \pm 0,43$; $5,71 \pm 0,19$ e $5,93 \pm 0,002$.

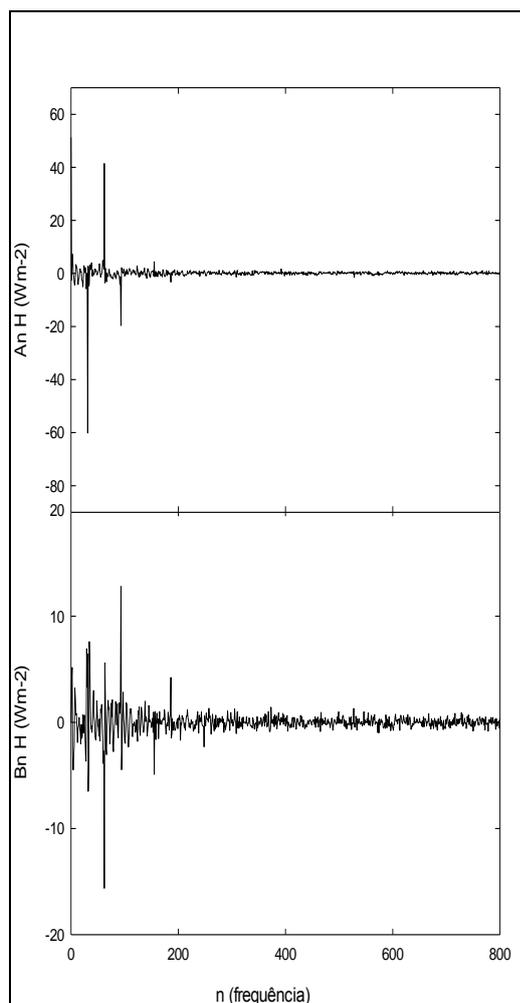


Figura 45: Valores dos coeficientes A_n e B_n do Fluxo de Calor Sensível, no mês de agosto de 2007, na Pastagem Mista

4.2.5 Fluxo de Calor Latente (LE)

As Figuras 46 a 48 apresentam-se os coeficientes A_n e B_n da análise de Fourier, sendo um para cada ecossistema estudado sobre o Fluxo de Calor Latente.

A Figura 46 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para a Floresta de Transição- Amazônia Cerrado entre os dias julianos 128 e 164 de 2001, totalizando 1726 dados, em médias de quinze minutos, considerando apenas a metade dos dados. Para o coeficiente A_n foram encontrados picos de 24, 12 e 8 horas respectivamente seus valores foram $117,30 \pm 1,016$; $62,70 \pm 0,19$ e $17,91 \pm 0,41$. O coeficiente B_n , obteve suas frequências nos períodos

de 24, 12, 8, 6 e 5 horas, com seus respectivos valores $30,13 \pm 0,52$; $30,22 \pm 1,04$, $10,91 \pm 0,25$; $9,34 \pm 0,19$ e $9,60 \pm 0,12$.

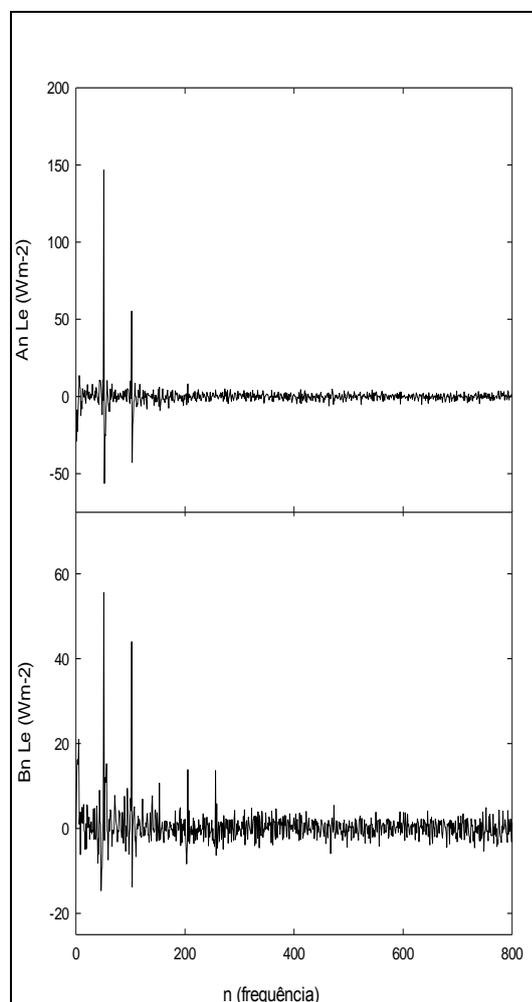


Figura 46: Valores dos coeficientes An e Bn do Fluxo do Calor Latente, entre os dias julianos 128 e 164 de 2001, na Floresta de Transição Amazônia - Cerrado

A Figura 47 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para o Cambarazal em março de 2007, totalizando 31 dias de dados contínuos, em médias de quinze minutos, considerou apenas a metade dos dados para plotar os gráficos. Para o coeficiente An foram encontrados picos de 24, 12 e 8 horas respectivamente seus valores foram $111,69 \pm 0,03$; $59,40 \pm 0,12$ e $13,72 \pm 0,33$. Já para o coeficiente Bn , encontrou-se as frequências nos períodos de 24, 12 e 8 horas, com seus respectivos valores $132,03 \pm 0,52$; $68,26 \pm 0,67$ e $15,39 \pm 0,15$.

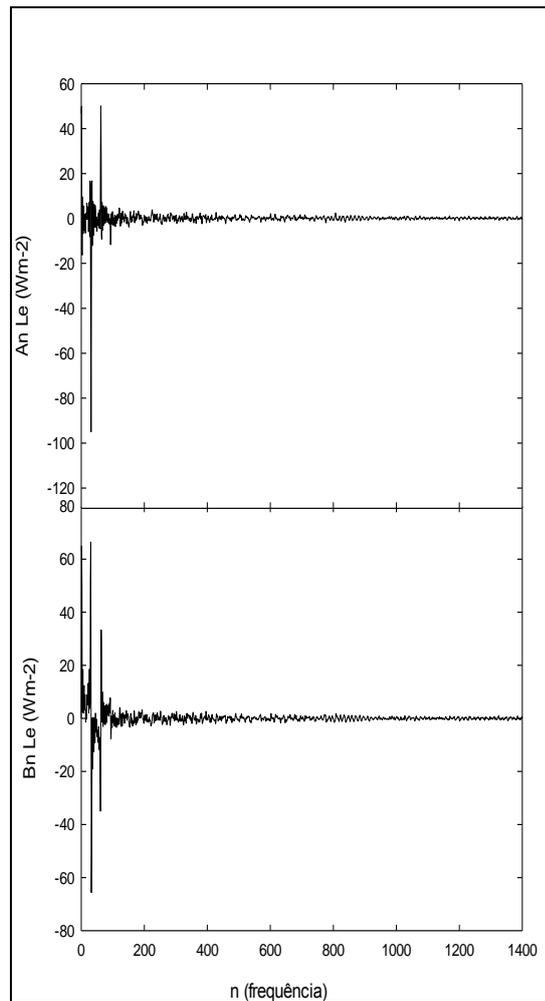


Figura 47: Valores dos coeficientes A_n e B_n do Fluxo do Calor Latente, no mês de março de 2007, no Cambarazal

A Figura 48 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para a Pastagem Mista em agosto de 2007, totalizando 14.7 dias de dados contínuos, em médias de quinze minutos. Encontraram-se picos de 24 e 12 horas para o coeficiente A_n com os respectivos valores foram $155,56 \pm 0,078$ e $34,00 \pm 0,49$. Para o coeficiente B_n , encontrou-se as frequências nos períodos de 24 e 12 horas, com seus respectivos valores $155,99 \pm 0,35$ e $110,2 \pm 0,73$.

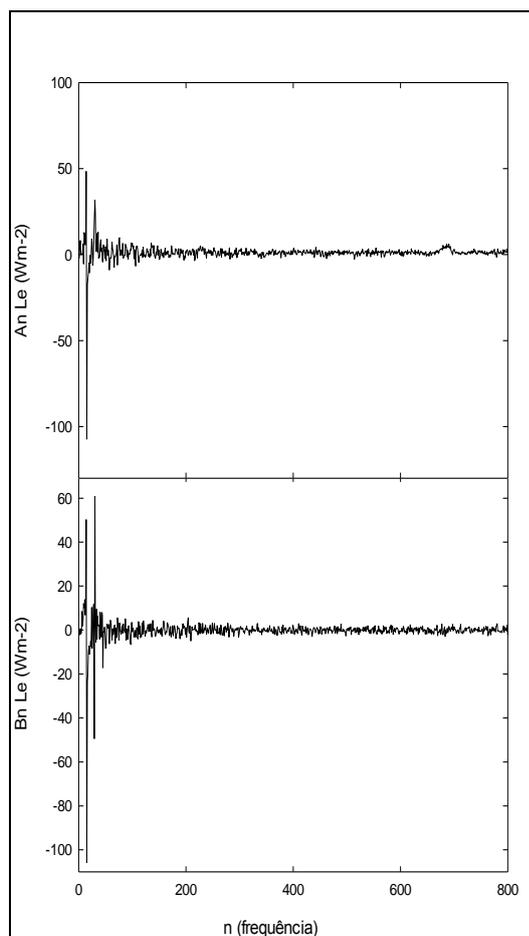


Figura 48: Valores dos coeficientes A_n e B_n do Fluxo do Calor Latente, no mês de março de 2007, na Pastagem Mista

4.2.6 Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente (PARI)

As Figuras 49 a 51 apresentam-se os coeficientes A_n e B_n da análise de Fourier, sendo um para cada ecossistema estudado sobre a Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente.

A Figura 49 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para a Floresta de Transição Amazônia - Cerrado em outubro de 2002, totalizando 660 dados, em médias de meia hora, são considerados a metade dos dados devido a simetria das análises temporais. Para o coeficiente A_n foram encontrados picos de 24, 12, e 8 horas respectivamente seus valores foram

$554,02 \pm 8,06$; $163,88 \pm 26,90$, $54,60 \pm 1,47$. O coeficiente B_n , obteve suas frequências nos períodos de 24 e 12 horas, com seus respectivos valores $774,06 \pm 6,77$, $432,46 \pm 10,72$.

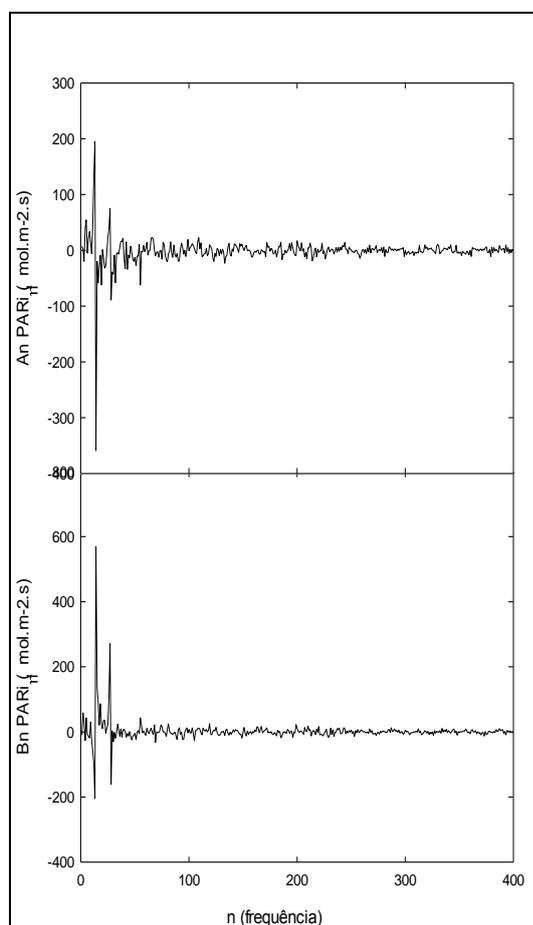


Figura 49: Valores dos coeficientes A_n e B_n da PAR_i , em outubro de 2002, na Floresta de Transição Amazônia - Cerrado

A Figura 50 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para o Cambarazal em fevereiro de 2007, totalizando 3389 dados, em médias de quinze minutos. Para o coeficiente A_n foram encontrados picos de 24, 12, 8 e 6 horas respectivamente seus valores foram $474,43 \pm 1,77$; $183,73 \pm 0,87$, $89,27 \pm 0,96$ e $32,16 \pm 1,62$. Já para o coeficiente B_n , encontro as frequências nos períodos de 24, 12, 6 e 5 horas, com seus respectivos valores $753,93 \pm 0,33$; $450,63 \pm 1,55$; $44,29 \pm 0,05$ e $38,68 \pm 2,57$.

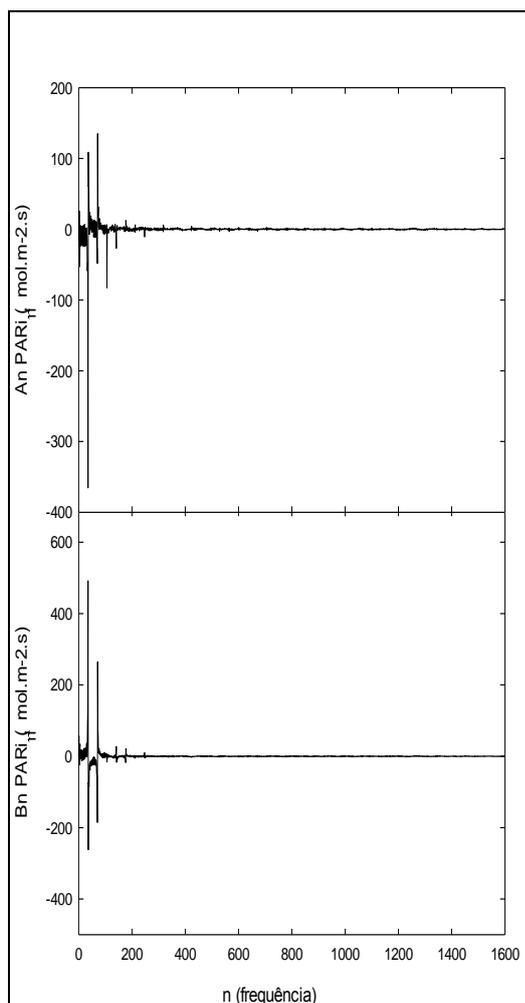


Figura 50: Valores dos coeficientes A_n e B_n do PAR_i , no mês de agosto de 2007, no Cambarazal

A Figura 51 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para a Pastagem Mista em agosto de 2007, totalizando 26,41 dias de dados contínuos. Encontraram-se picos de 24, 12 e 8 horas para o coeficiente A_n com os respectivos valores foram $858,655 \pm 1,17$; $410,12 \pm 2,57$ e $103,61 \pm 0,76$. Para o coeficiente B_n , encontrou-se as frequências nos períodos de 24, 12, 8 e 6 horas, com seus respectivos valores $103,55 \pm 1,87$; $103,33 \pm 0,87$; $31,90 \pm 2,66$ e $36,40 \pm 6,03$.

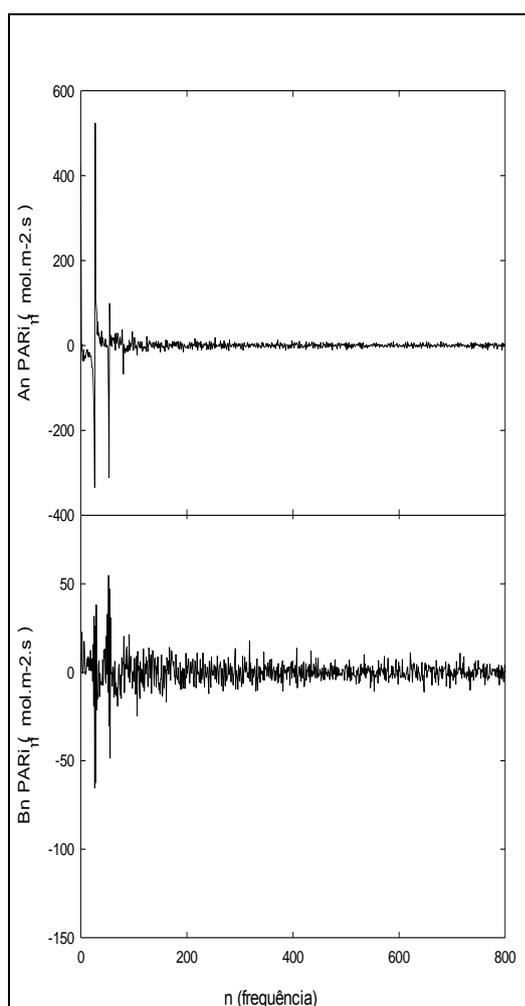


Figura 51: Valores dos coeficientes A_n e B_n da PAR_i , no mês de abril de 2007, na Pastagem Mista

4.2.7 Concentração de Dióxido de Carbono (CO_2)

A Figura 52 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para a Floresta de Transição Amazônia – Cerrado, para a Concentração de Dióxido de Carbono, em novembro de 2007, totalizando 1761 dados. Para o coeficiente A_n foram encontrados picos de 24, 12, 8 e 6 horas respectivamente seus valores foram $117,41 \pm 0,68$; $16,31 \pm 1,59$; $12,92 \pm 0,08$ e $12,67 \pm 0,13$. O coeficiente B_n , obteve suas frequências nos períodos de 24, 12 e 8 horas, com seus respectivos valores $65,75 \pm 0,62$; $17,8 \pm 0,72$ e $19,93 \pm 1,04$.

Tanto na Pastagem Mista como no Cambarazal, não tinham equipamentos instalados nas torres para mediar a Concentração de Dióxido de Carbono e Água.

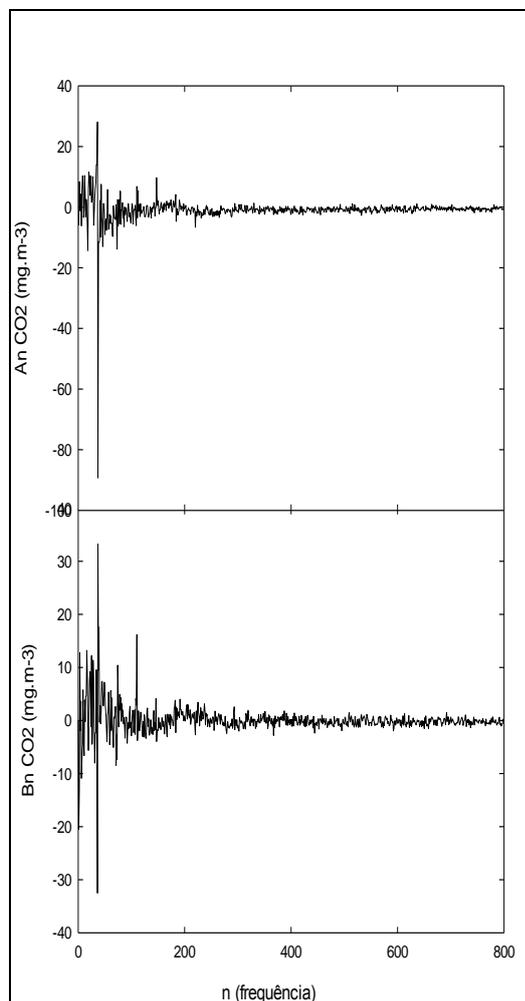


Figura 52: Valores dos coeficientes A_n e B_n da Concentração de Gás Carbônico, no mês de maio de 2005, na Floresta de Transição Amazônia - Cerrado

4.2.8 Concentração de Água (H_2O)

A Figura 53 apresenta-se as frequências dominantes dos coeficientes da análise de Fourier para a Floresta de Transição Amazônia – Cerrado, para a Concentração de Água, em setembro de 2005, totalizando 746 dados, em médias de meia hora. Para o coeficiente A_n foram encontrados picos de 24 e 12 horas respectivamente seus valores foram $1,67 \pm 0,18$ e $0,77 \pm 0,18$. O coeficiente B_n , obteve suas frequências nos períodos de 24, 12, 8 e 6 horas, com seus respectivos valores $2,49 \pm 0,12$; $1,07 \pm 0,05$; $0,79 \pm 0,14$ e $0,56 \pm 0,14$.

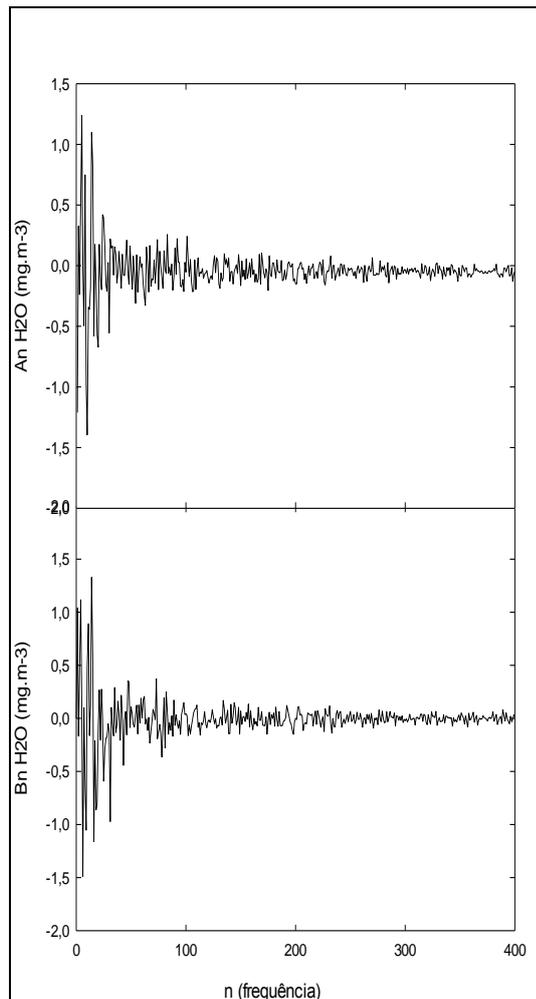


Figura 53: Valores dos coeficientes A_n e B_n da Concentração de Água, no mês de setembro de 2005, na Floresta de Transição Amazônia - Cerrado

4.3 MÉDIA DAS FREQUÊNCIAS DOMINANTES DOS COEFICIENTES A_n E B_n

Os gráficos de 54 a 59 explanam a média da variação de amplitude de cada variável para os coeficientes das séries estudadas, mostrando assim a média de todos os valores dos coeficientes estudados. Mas os valores dos coeficientes, em si, indicam como se deu a variabilidade da variável estudada. Os mesmos gráficos ainda comparam os três ecossistemas estudados, e suas frequências relativas, no conjunto de séries analisadas.

O coeficiente que mais influenciará nos ecossistemas será o que tem o maior valor médio. Em todos os dados analisados, isso se dá na menor das frequências

dominantes encontradas (pico de 24 horas), ou de maior periodicidade. Como esse período corresponde ao da rotação da Terra, segue-se que a radiação solar tem influência decisiva sobre as variáveis ambientais. Exemplo, na Figura 54, o pico que aparece com maior variação na amplitude da Temperatura é o pico de 24 horas do coeficiente Bn, com isso este espectro influenciará mais nos ecossistemas do que o coeficiente An.

4.3.1 Temperatura (T)

A Figura 54 b), o pico de 24 horas de Floresta de Transição Amazônia - Cerrado tem maior amplitude na temperatura do que o mesmo pico 54 a), conseqüentemente o coeficiente Bn tem uma maior influência no ecossistema do que o coeficiente An. As frequências dominantes que mais se repetem são os picos de 24, 12, 8 e 6 horas, com maior variabilidade. A Figura 54 c) e d) apresenta a frequência relativa da incidência que dos picos em relação aos coeficientes de Fourier, Figura 54 a) e b), em Floresta de Transição Amazônia - Cerrado o pico de 5 horas, surge apenas em 3 séries (frequência relativa de 0,04, Figura 54 b)) com uma variação de aproximadamente 3°C, tornando o insignificante pois toda a análise consta de 62 séries.

Na Pastagem Mista (Figura 54 b) apresentam-se maiores frequências, picos menores, de 1 e 0,7 hora. Na Floresta de Transição encontra-se maiores valores na maioria dos picos do que nos outros dois ecossistemas, exceto no pico de 4 horas, logo depois vem a Pastagem, e por último no Cambarazal. aparecem com maior incidência as frequências dominantes nos picos de 24, 12, 8 e 6 horas, ainda estas tem maior valor, em menor quantidade e variação esta os picos de 5, 4 e 2 horas. Na Floresta de Transição encontra-se maiores valores em todos os picos do que nos outros dois ecossistemas, logo depois vem a Pastagem, e por último no Cambarazal.

Em princípio a maior variabilidade da temperatura na floresta de Transição pode parecer um resultado inesperado, já que a floresta poderia exercer um maior poder regulador (homeostase) sobre a temperatura do que os outros ecossistemas. Contudo, a maior diversidade de espécies vegetais, bem como a maior complexidade dos processos ecofisiológicos desse ecossistema – que acontece sob um conjunto razoavelmente complexo de acoplamentos estruturais entre as variáveis – pode estar

relacionada à variabilidade da temperatura, um tema que merece ser melhor estudado no futuro.

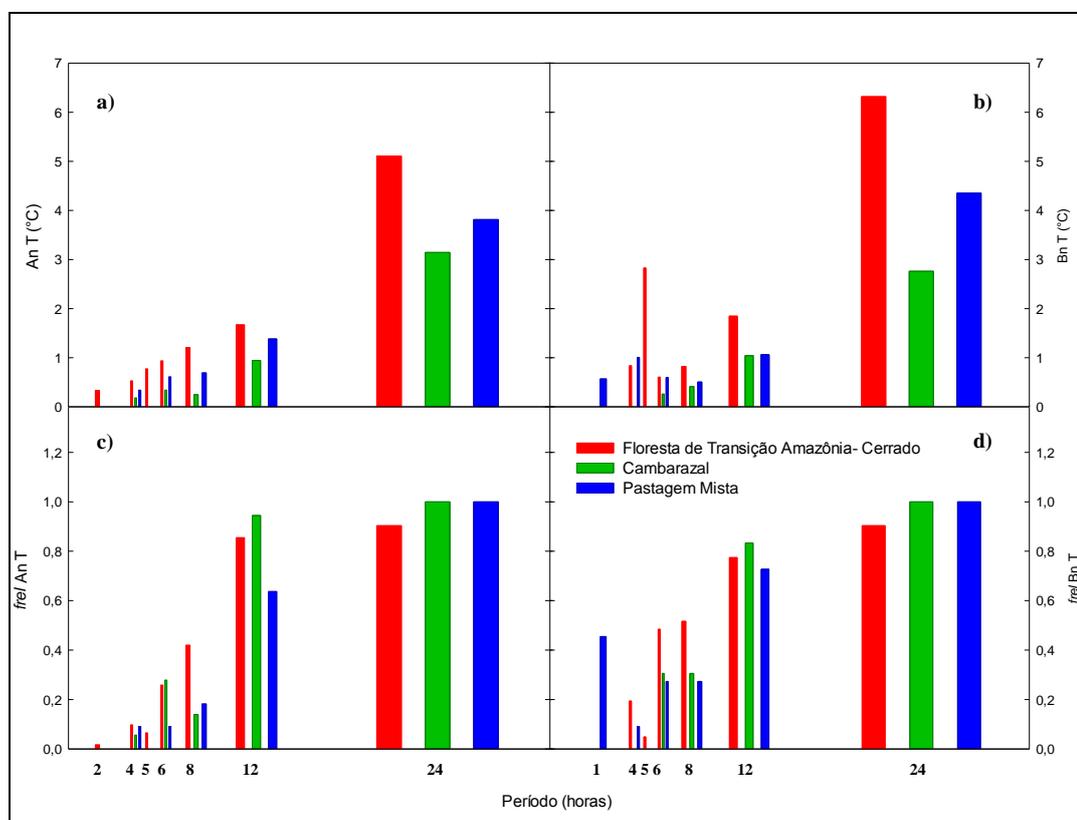


Figura 54: Comparação da média da variação da Temperatura das frequências dominantes em três ecossistemas, em a) para o Coeficiente An, em b) para o Coeficiente Bn; a incidência dos picos em relação a frequência relativa (*frel*), em c) para o Coeficiente An, em d) para o Coeficiente Bn.

4.3.2 Umidade Relativa do Ar (UR)

A Figura 55a, representa o pico de 24 horas de Floresta de Transição Amazônia - Cerrado tem maior amplitude de variação na Umidade Relativa do Ar do que o mesmo pico na Figura 55b, consequentemente o coeficiente An tem uma maior influência no ecossistema do que o coeficiente Bn. As frequências dominantes nos picos de 24, 12, 8 e 6 horas aparecem com mais assiduidade, Figura 55c, ainda estas tem maior amplitude, em menor quantidade e variação esta os picos de 5, 4 e 3 horas. Em Floresta de Transição Amazônia - Cerrado demonstra uma maior variação da umidade em todos os seus picos comparando com os outros dois ecossistemas, logo

depois vem a Pastagem, e por último no Cambarazal, semelhante ao gráfico da temperatura, Figura 54.

Em Floresta de Transição Amazônia - Cerrado e na Pastagem, o pico de 5 horas surge apenas em 3 séries, com frequências relativas de 0,04 e 027 respectivamente (Figura 55a), com uma amplitude de aproximadamente 2%. Para os períodos de 4 e 3 horas, apresenta-se frequências dominantes com variação menor de 3%. Um pico de 2 horas é mostrado no gráfico para Floresta de Transição Amazônia - Cerrado, apesar de ter uma variação na amplitude de 5,63% (Figura 55b) se torna insignificante por aparecer apenas uma vez em 62 séries, sendo sua frequência relativa de 0,017 (Figura 55c).

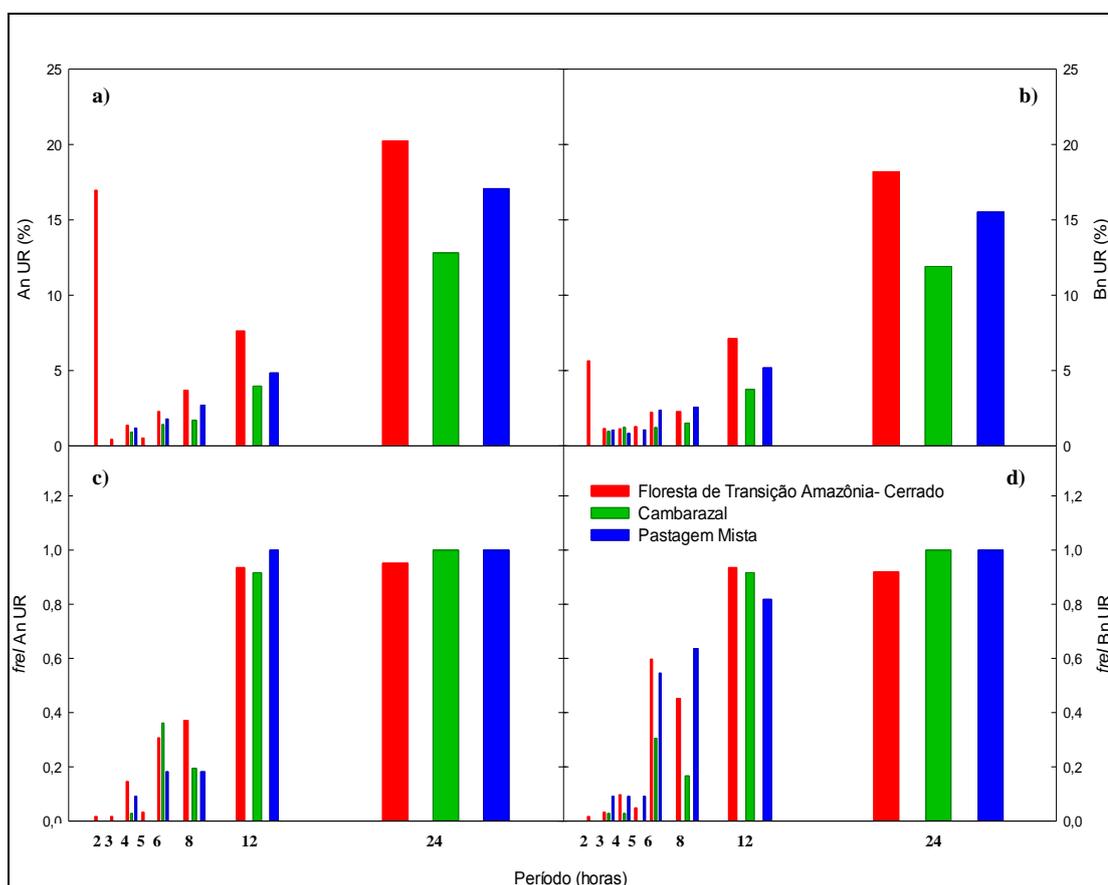


Figura 55: Comparação da média da variação da Umidade Relativa do Ar das frequências dominantes em três ecossistemas, em a) para o Coeficiente An, em b) para o Coeficiente Bn; a incidência dos picos em relação a frequência relativa (*frel*), em c) para o Coeficiente An, em d) para o Coeficiente Bn.

Tanto a variação da amplitude da Temperatura do ar (Figura 54) e Umidade Relativa (Figura 55) apresentam o mesmo comportamento, aparecendo às mesmas

frequências. Isso não significa que essas variáveis tenham comportamento idêntico, mas têm frequências de variação correspondentes. Esse resultado é esperado, uma vez que essas duas variáveis são fortemente acopladas pelo princípio de conservação de energia. A umidade é alta quando boa parte da energia disponível na atmosfera é utilizada na evaporação da água, circunstância em que resta pouca energia para o aquecimento. Por outro lado, quando a partição de energia favorece o aquecimento da atmosfera, resta menor parcela para a evaporação da água, conseqüentemente a umidade é baixa.

4.3.3 Radiação Líquida (Rn)

A Figura 56b, apresenta-se maiores valores para o pico de 24 horas para a Radiação Líquida, do que a Figura 55a, conseqüentemente o coeficiente B_n tem maior significância. As frequências dominantes são menores que 0.000093 Hz (período de 3 horas), apresentam em mais séries os picos de 24, 12, 8 e 6 horas, diminuindo sua amplitude de variação a partir do período de 8 horas, em menor quantidade e variação esta os picos de 5, 4 e 3 horas. Diferentemente da Figura 55, a variável do ecossistema que tem maior amplitude de variação na Radiação Líquida é o Cambarazal, depois Pastagem Mista e por último Floresta de Transição Amazônia - Cerrado.

Na Figura 56b, as frequências dominantes que mais se repetem são os picos de 24, 12, 8 e 6 horas. As maiores frequências, picos menores de 4, 3, 2 e 1 horas, aparecem para Floresta de Transição Amazônia - Cerrado e Cambarazal. O pico de 5 horas, Figura 56d, surge mais vezes comparando com os gráficos da temperatura, Figura 54.

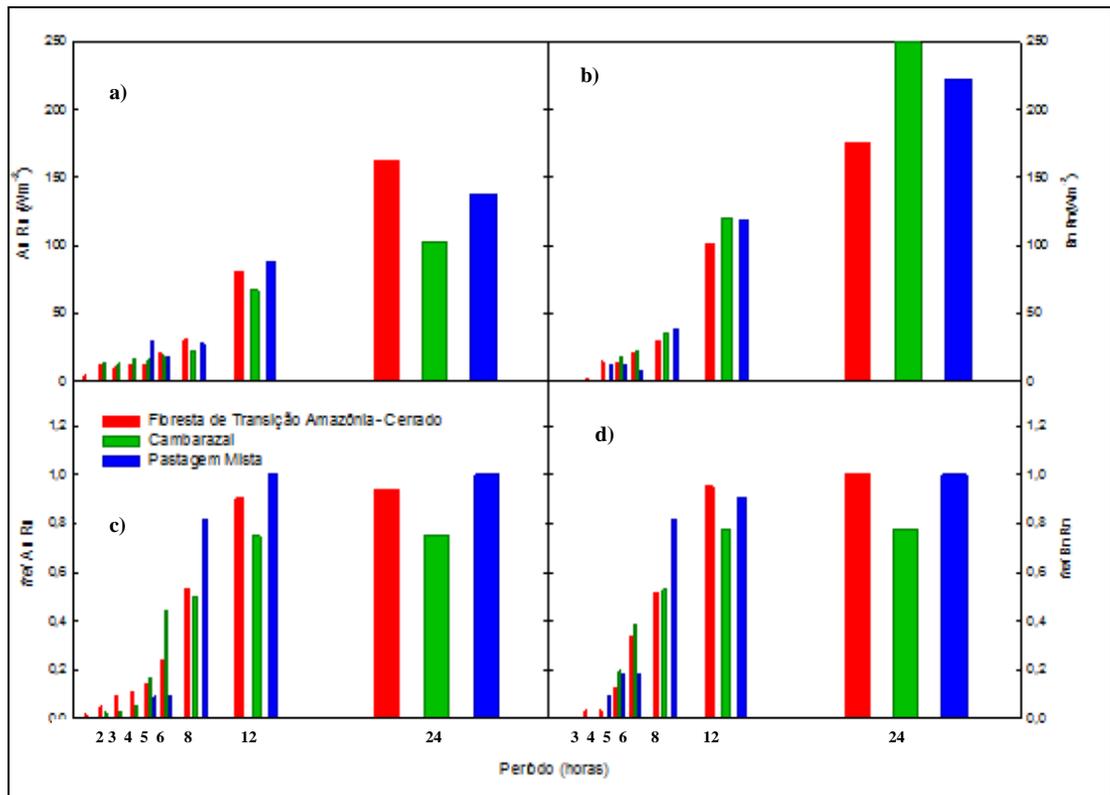


Figura 56: Comparação da média da variação da Radiação Líquida das frequências dominantes em três ecossistemas, em a) para o Coeficiente An, em b) para o Coeficiente Bn; a incidência dos picos em relação a frequência relativa (*frel*), em c) para o Coeficiente An, em d) para o Coeficiente Bn.

4.3.4 Fluxo de Calor Sensível (H)

A Figura 57a e b, o pico de 24 horas da Pastagem Mista tem praticamente a mesma amplitude entre os coeficientes An e Bn, o Cambarazal e a Floresta de Transição tem maior amplitude no Fluxo de Calor Sensível do que o mesmo pico a Figura 57b, conseqüentemente o coeficiente An tem uma maior influência nos ecossistemas. As frequências dominantes que mais se repetem são os picos de 24, 12, 8 e 6 horas, com maior variação na amplitude. Eventualmente aparecem picos significativos nos períodos de 5, 4, 3, 2 e 1 horas, nestes períodos a variação da amplitude é maior em Floresta de Transição Amazônia – Cerrado, apresentados na Figura 57c e d. Na Pastagem Mista é onde ocorre maior variação do Fluxo de Calor Sensível, para as frequências menores 0,0000116; 0,0000232 e 0,0000347 Hz (períodos de 24, 12 e 8 horas), já o Cambarazal para as mesmas frequências é o lugar onde tem menor variação do Fluxo de Calor Sensível.

Na Figura 57c e d, as frequências dominantes que mais se repetem são os picos de 24, 12, 8 e 6 horas. Os picos de 5, 4 e 3 horas surgem apesar de poucas séries nos três ecossistemas. As maiores frequências, picos menores, de 3, 2.5, 2 e 1,5 horas, aparecem para Floresta de Transição Amazônia - Cerrado.

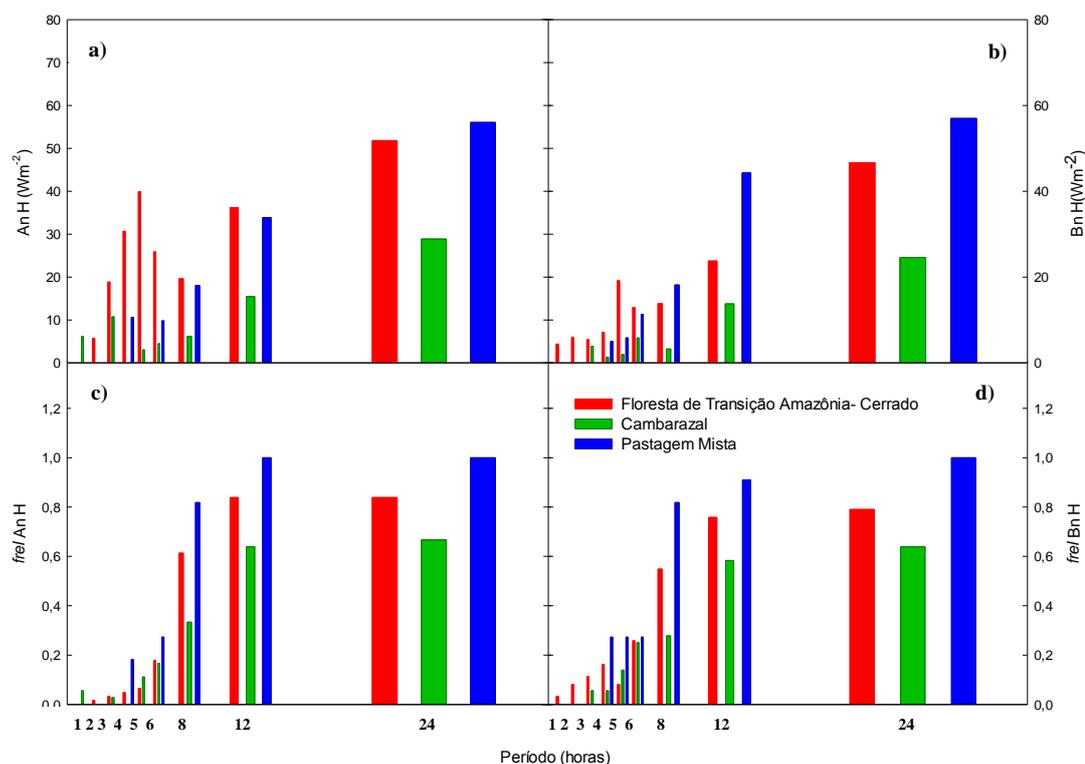


Figura 57: Comparação da média da variação do Fluxo do Calor Sensível das frequências dominantes em três ecossistemas, em a) para o Coeficiente An, em b) para o Coeficiente Bn; a incidência dos picos em relação a frequência relativa (*frel*), em c) para o Coeficiente An, em d) para o Coeficiente Bn.

A Pastagem Mista tem maior variação na amplitude do Fluxo de Calor Sensível (Figuras 57a e b), devido ter menos água, substância essa que tem um alto calor específico, conseqüentemente, o calor específico médio do ecossistema tem um menor valor, aumentando assim sua variação entre as estações seca e chuvosa. Já no Cambarazal, a variação da sua amplitude é a menor em relação aos três ecossistemas, devido ao seu alto índice de retenção de água, diminuindo assim sua variação.

4.3.5 Fluxo do Calor Latente (LE)

A Figura 58a, apresenta-se maiores valores para o pico de 24 horas para o Fluxo do Calor Latente em Floresta de Transição Amazônia - Cerrado, do que a Figura 58b, conseqüente o coeficiente An tem maior significância em relação ao coeficiente Bn. O ecossistema com maior amplitude de variação no Fluxo do Calor Latente foi da Floresta de Transição Amazônia - Cerrado e por último Pastagem.

As frequências dominantes são maiores que 0,000069Hz (período de 3 horas), apresentam em mais séries nos picos de 24, 12, 8 e 6 horas, diminuindo sua variação da amplitude exponencialmente até do período de 8 horas, em maior quantidade para Floresta de Transição Amazônia - Cerrado e para o Cambarazal aparece os picos de 6 e 5 horas, Figura 58c. Já a pico de 3 horas aparece apenas 2 vezes, frequência relativa de 0,014, para Floresta de Transição Amazônia - Cerrado com um valor de variação insignificante.

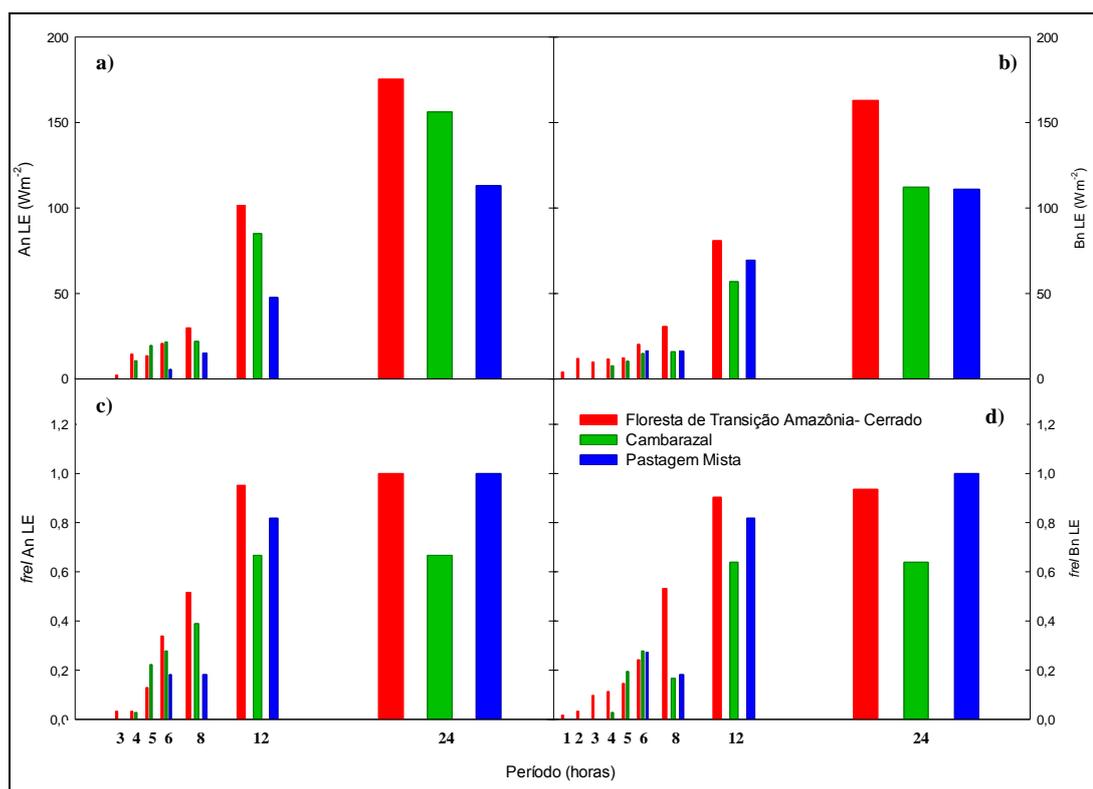


Figura 58: Comparação da média da variação do Fluxo do Calor Latente das frequências dominantes em três ecossistemas, em a) para o Coeficiente An, em b) para o Coeficiente Bn; a incidência dos picos em relação a frequência relativa (*frel*), em c) para o Coeficiente An, em d) para o Coeficiente Bn.

4.3.6 Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente (PARI)

Na Figura 59a, o pico de 24 horas tem maior amplitude na Radiação Fotossinteticamente Ativa do que o mesmo pico na Figura 59b, portanto o coeficiente A_n tem uma maior influência nos três ecossistemas estudados.

As frequências dominantes estão entre os períodos 24 e 4 horas, com maior variação das amplitudes nas frequências menores de 0,00001157 e 0,000069 Hz (picos de 24 e 12 horas respectivamente). Para a Floresta em Floresta de Transição Amazônia - Cerrado e no Cambarazal aparecem variações menores nos ecossistemas nos picos de 6 e 5 horas.

A Figura 59c e d, as frequências dominantes que mais se repetem são os picos de 24, 12, 8 e 6 horas. Na Floresta de Transição Amazônia - Cerrado e Cambarazal aparecem os picos de 5, 4 e 3 horas, porém em poucas séries nos três ecossistemas.

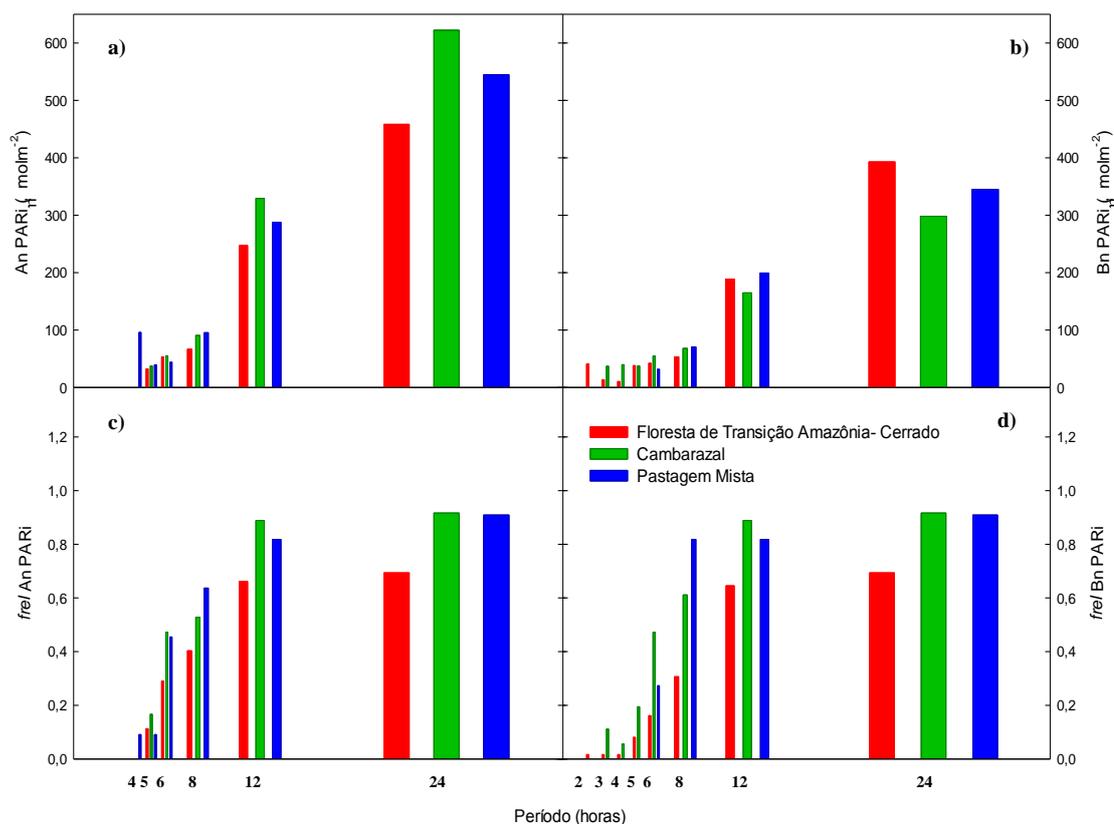


Figura 59: Comparação da média da variação da Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente das frequências dominantes em três ecossistemas, em a) para o Coeficiente A_n , em b) para o Coeficiente B_n ; a incidência dos picos em relação a frequência relativa (fre/P_n), em c) para o Coeficiente A_n , em d) para o Coeficiente B_n .

4.4 RELAÇÃO DE TODAS AS VARIÁVEIS EM CADA ECOSISTEMA

Os gráficos a seguir, referentes às Figuras de 60 a 62, sintetizam parte dos resultados obtidos neste trabalho, explicando assim o acoplamento entre as variáveis estudadas por ecossistema. São representados os valores correspondentes à razão entre o valor de cada coeficiente de Fourier (A_n e B_n) das variáveis que aparecem nos três ecossistemas e o coeficiente correspondente ao período de 24 horas, que é o mais intenso. Essa razão é graficada em função do período correspondente. Essa forma de apresentar os resultados se constitui numa espécie de normalização dos dados e representa-se a forma do espectro de variações das variáveis. Cada variável é representada com uma cor diferente, assim, podem-se comparar os espectros das diferentes variáveis para cada ecossistema.

Desses gráficos, Figuras 60 a 62, algumas conclusões importantes podem ser obtidas. Em primeiro, lugar, nota-se, de uma maneira geral, que os espectros da umidade relativa (UR) e temperatura (T) são semelhantes, conforme pode ser observado nos espectros de An Floresta de Transição Amazônia - Cerrado e An Cambarazal, Figuras 60a e 61a, principalmente. Espectros semelhantes sugerem forte acoplamento estrutural. Assim, pode-se afirmar que essas variáveis são mais fortemente acopladas entre si, especialmente nesses dois ecossistemas. Tal resultado é esperado tendo em vista o princípio da conservação de energia que, para a partição de energia na atmosfera, estabelece que parte da energia seja transformada em Fluxo de Calor Sensível (influenciando T) e outra parte em Fluxo do Calor Latente (influenciando UR).

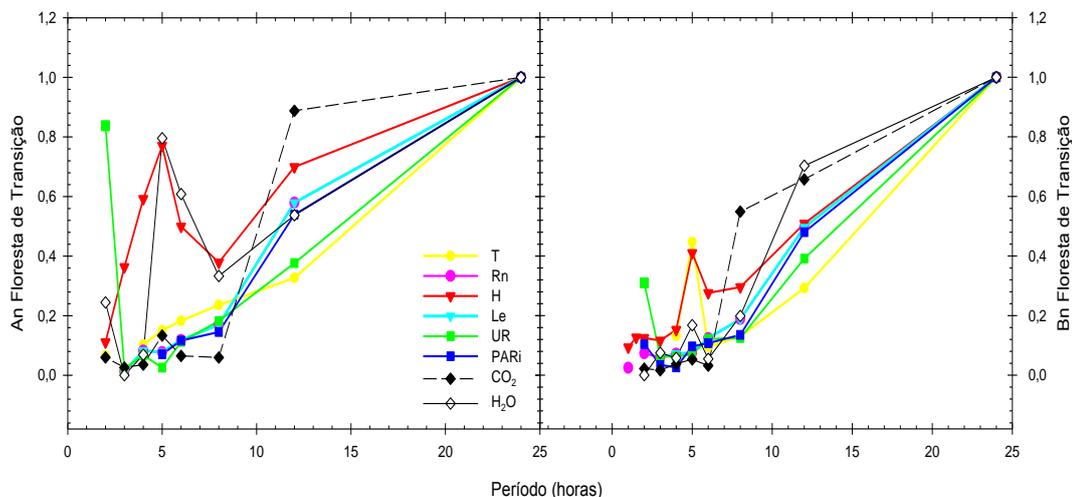


Figura 60: Comparação da média horária dos coeficientes A_n e B_n , respectivamente Figuras a e b, das variáveis estudadas na Floresta de Transição Amazônia- Cerrado .

Legenda: T: Temperatura, Rn: Radiação Líquida, H: Fluxo de Calor Sensível, LE: Fluxo de Calor Latente, UR: Umidade Relativa do Ar, PARi: Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente, H_2O : Contração de Água, CO_2 : Concentração de Gás Carbônico

O espectro para as variáveis correspondentes do A_n Cambarazal, Figura 61, sugere a existência de dois grupos de variáveis: um correspondente a UR e T, conforme já comentado, e outro correspondente aos fluxos (Pari, Rn, H e Le), já que esses últimos também apresentam espectros parecidos. Assim sendo, haveria uma tendência a que os fluxos estejam acoplados. Contudo, tal acoplamento é verificado com maior intensidade no Cambarazal (Figura 61), em primeiro lugar, e em Floresta de Transição Amazônia - Cerrado (Figura 60), com menos intensidade. As variáveis, na Pastagem, se mostram menos acopladas (Figura 62).

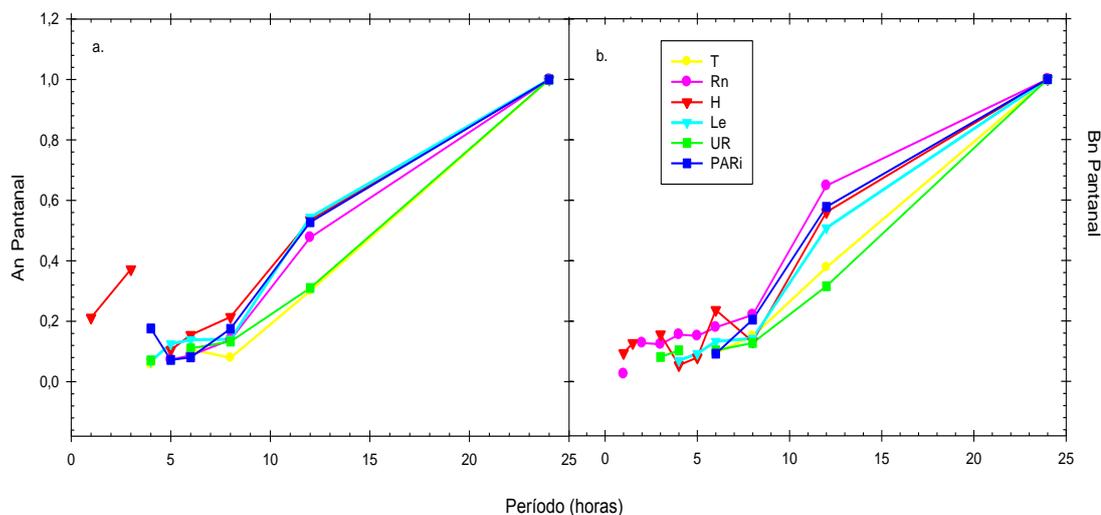


Figura 61: Comparação da média horária dos coeficientes An e Bn , respectivamente Figuras a e b, das variáveis estudadas no Cambarazal.

Legenda: T: Temperatura, Rn: Radiação Líquida, H: Fluxo de Calor Sensível, LE: Fluxo de Calor Latente, UR: Umidade Relativa do Ar, PARI: Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente

Contudo, observa-se também que, na pastagem, Figura 62, essas duas variáveis (UR e T) apresentam espectros diferentes, o que sugere um acoplamento mais fraco. Possivelmente, isso ocorra porque uma parte significativa da energia é transferida para solo, nas condições desse ecossistema.

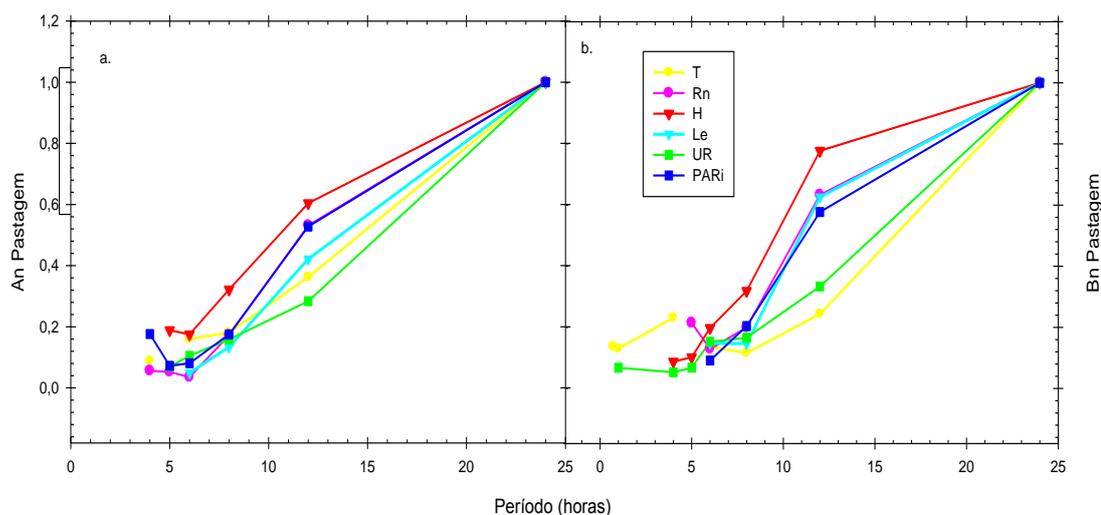


Figura 62: Comparação da média horária dos coeficientes An e Bn , respectivamente Figuras a e b, das variáveis estudadas na Pastagem Mista.

Legenda: T: Temperatura, Rn: Radiação Líquida, H: Fluxo de Calor Sensível, LE: Fluxo de Calor Latente, UR: Umidade Relativa do Ar, PARI: Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente

Assim, pode-se levantar a hipótese de que a presença de água num ecossistema (que é a característica que mais fundamentalmente diferencia os três ecossistemas estudados) tem o efeito de produzir acoplamento entre as variáveis, que se manifesta nos dois grupos.

Quanto aos períodos menores (abaixo de 10 horas), eles parecem ser característica das variáveis H, principalmente, e T, ou seja, eventualmente essas variáveis podem apresentar variações significativas em intervalos de poucas horas. Um dos eventos que tem essa característica é a chegada de frentes frias, que faz com que a temperatura caia rapidamente. Contudo, há que se lembrar que, de acordo com os resultados deste trabalho, os períodos menores não são tão frequentes quanto os de 24 e 12 horas (os verdadeiros períodos dominantes). Assim sendo, eles somente podem estar associados a fenômenos eventuais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os resultados obtidos pela análise de Fourier dos dados sobre a Temperatura, Umidade Relativa do Ar, Radiação Líquida, Fluxo de Calor Sensível, Fluxo de Calor Latente, Radiação Fotossinteticamente Ativa, Concentração de Dióxido de Carbono e Concentração de Água, pode-se concluir que esse instrumento de investigação foi capaz de fornecer informações importantes sobre a dinâmica das variáveis microclimáticas.

As frequências dominantes com maior incidência e maior amplitude de variação nas variáveis estudadas em escala de tempo foram: 24, 12, 8 e 6 horas. Apareceram maiores frequências dominantes, porém com menor incidência e variabilidade, principalmente, em períodos de 5, 4 e 2 horas. Devido à Radiação Líquida ter os gráficos das médias com comportamentos semelhantes ao restante das variáveis, pode-se dizer que todos os picos estão relacionados com a radiação solar, enfraquecendo a hipótese de influência direta da dinâmica estomatal, como citado em Pinheiro, 2008: “que as maiores frequências seriam devido às atividades estomáticas”. Da mesma maneira, a hipótese da influência significativa dos *sunflecks* também se torna enfraquecida. Possivelmente, estes dois fenômenos acontecem em períodos em torno de uma hora ou em frequências ainda maiores.

As maiores frequências (5 a 2 h) podem ser por possíveis influências das nuvens e aerossóis. Ainda as possíveis diferenças na cobertura por nuvens podem ser a causa da maior amplitude de variação no Cambarazal pela radiação incidente, nos períodos estudados e menor variação na Floresta de Transição.

A comparação da intensidade dos picos de An e Bn das variáveis mostra que a análise de Fourier é uma técnica sensível às particularidades de cada ecossistema, portanto, trata-se de uma ferramenta importante para a compreensão da dinâmica dos ecossistemas.

A presença de água torna a característica que mais fundamentalmente diferencia os três ecossistemas estudados, produzindo o acoplamento entre as variáveis. Assim, pode-se levantar a hipótese de que a presença de água num ecossistema (que é) tem o efeito de produzir acoplamento entre as variáveis, que se

manifesta em dois grupos Tal hipótese poderá ser verificada em trabalhos futuros. Caso isso se confirme, modelos de dinâmica desses ecossistemas podem ser construídos em módulos (um para UR e T e outro para os fluxos), com posterior acoplamento computacional entre os mesmos.

A conclusão geral mais forte do trabalho é que, em todos os três ecossistemas estudados, a radiação solar incidente é o fenômeno que mais influencia o comportamento de todas as outras variáveis estudadas. Essa é uma conclusão que advém da semelhança entre os espectros apresentados por todas as variáveis. Todas as frequências dominantes significativas encontradas estão presentes no espectro da radiação solar incidente, ou seja, não há frequências que aparecem nos espectros de outras variáveis que não estejam presentes na radiação solar. Assim sendo, quaisquer modelos desenvolvidos para descrever a dinâmica desses ecossistemas devem levar tal fato em consideração.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- a) Fazer uso da mesma ferramenta, a Série de Fourier, para todas as variáveis estudadas, verificando os seus períodos em um tempo maior de dados contínuos, vários anos juntos, verificando assim a influência de outras frequências dominantes; tendo a análise de um período maior, em busca de explicar teoricamente os períodos encontrados nesta tese.
- b) Comparar os resultados da estação chuvosa com os resultados obtidos na estação seca.
- c) Fazer análises de séries temporais, usando outros métodos, como exemplo o wavelet (ondeletas), e comparar os resultados com a Série de Fourier. Encontrar também os períodos que são devido a dinâmica estomática e aos sunflecks, diminuindo as médias de 30 minutos.
- d) Analisar a influencia da presença de água num ecossistema e os seus efeitos de produzir acoplamento entre várias variáveis, realizado através da teoria da complexidade.

6 BIBLIOGRAFIA

6.1 BIBLIOGRAFIA CITADA

ADÂMOLI, J. **O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os cerrados: discussão sobre o conceito de complexo do Pantanal.** In Anais do 32º Congresso nacional da Sociedade Botânica do Brasil, Teresina, Universidade Federal do Piauí, J. p.109-119. 1982.

ANDERSON, D.E., VERMA, S.B., CLEMENT, R.E., BALDOCCHI, D.D., MATT, D.R., **Turbulence spectra of CO₂, water vapor, temperature and velocity over a deciduous forest.** Agric. For. Meteorol. 38, 81–99. 1986.

AMBRIZZI, T. et al. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais.** Relatório 3. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, fevereiro 2007.

ARAÚJO, F. P. DE & CASTRO NETO, M. T. DE. Influência de fatores fisiológicos de plantas-matrizes e de épocas do ano no pegamento de diferentes métodos de enxertia do umbuzeiro. **Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal** - SP, v. 24, n. 3, p. 752-755, Dez. 2002.

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

BALDOCCHI, D. D., HUTCHINSON, B. A. On estimating canopy photosynthesis and stomatal conductance in a deciduous forest with clumped foliage. **Tree Physiol.** 2:155-68 1986.

BALDOCCHI, D. D., MATT, D. R., HUTCHINSON, B. A., MCMILLEN, R. T. _ Solar radiation within an oak-hickory forest: an evaluation of the extinction coefficients for several radiation components for fully-leafed and leafless periods. **Agric. Forest Meteorol.** 32:307- 22. 1984

BALDOCCHI, D., FALGE, E., GU, L., OLSON, R., HOLLINGER, D., RUNNINGFE, S., ANTHONI, P., BERNHOFER, C., DAVIS, K., EVANS, R., FUENTES, J., GOLDSTEIN, A., KATUL G., LAW, B., LEE, X., MALHI Y., MEYERS, T., MUNGER, W., OECHEL, W., PAW K. T., PILEGAARD, K., SCHMID H. P., VALENTINIS, R., VERMA, S., VESALA, T.; WILSON, K. AND WOFYSY, S.; FLUXNET: a new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem scale carbon dioxide, water vapor, and energy flux densities. *Bull. Am. Meteorol.Soc.* 82, 2415–2434. 2001.

BALDOCCHI, D.D, LAW, B. E, ANTHONI, P. M. On measuring and modeling energy fluxes above the floor of a homogeneous and heterogeneous conifer forest *Agricultural and Forest Meteorology* 102 187–206.2000

BALDOCCHI, D.D., MEYERS, T.P., Trace gas exchange at the floor of a deciduous forest I. Evaporation and CO₂ efflux. *J. Geophys. Res. Atmos.* 96, 7271–7285. 1991.

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.* vl.107, p.1–27. 2001.

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.* v.107, p.1–27. 2001.

BERNARDES, M. Uma análise da variabilidade do fluxo de momentum na camada superficial atmosférica em condições instáveis. Curitiba 2008. Tese do Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia do Setor de Tecnologia e Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná. 191P

BIUDES, M. S., CAMPELO JÚNIOR, J. H., NOGUEIRA, J. S. e SANCHES, L. Estimativa do balanço de energia em Cambarazal e pastagem no norte do pantanal pelo método da razão de bowen. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.2, 135-143, 2009

BIUDES, M. S.; **Balanço de energia em área de vegetação monodominante de cambará e pastagem no norte do pantanal** - Tese apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade Federal de Mato Grosso. 2008.

BRASWELL, B.H., SCHIMEL, D.S., LINDER, E., MOORE III, B. **The response of global terrestrial ecosystems to interannual temperature variability.** *Science* 278, 870–872. 1997

BROKAW, N.L.V., The definition of treefall gap and its effect on measures of forest dynamics. *Biotropica*, 14, pp. 158–160. 1982.

CAMPELO JÚNIOR, J. H.; LOBO, F. A.; NOGUEIRA, J. S.; BIUDES. M. S.; **Massa e energia na RPPN SESC-Pantanal**. Relatório de Pesquisa. Programa PELD - Site 12 – Pantanal Norte. Ministério da Educação. Universidade Federal de Mato Grosso. 20 p., Dezembro, 2007.

CARVALHO, L. M. V. **Climatologia estatística**. USP, 2005.

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, v.25 n.º.3 p. 732-741, set a dez 2005.

CHAZDON, R. L.; PEARCY, R.W.. Sunflecks and photosynthesis in plant canopies. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Biol.*,Percy, R.W. 1991.

COUTERON, P. R. P.; NICOLINI, E. A.; PAGET, D. Predicting tropical forest stand structure parameters from Fourier transform of very high-resolution remotely sensed canopy images. **Methodological insights**. 2005

COX, P. et al. Increase risk of Amazonian Drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature*, Londres, v.453, p.212-16, 2008

DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; SEMIR, J.; SANTOS, F. A. M.; LEITÃO-FILHO

FETCHER, N.; OBERBAUER, S.F.; CHAZDON, R.L. Physiological ecology of plants. In: McDADE, L.A.; BAWA, K.S.; HESPENHEIDE, H.A.; HARTSHORN, G.S. Editora La Selva: ecology and natural history of a neotropical rain forest, Chicago and London, **The University Press**, 1994, p. 128-141.

FRAGA, C. I. M. **Evapotranspiração e fator de desacoplamento em área de Cambarazal no Pantanal**. 2009, 56f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Instituto de Física, Universidade federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2009.

FRANKLIN, J.F., DYRNESS, C.T., **Natural vegetation of Oregon and Washington. General Technical Report, PNW-8. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, Portland, OR**. 1973.

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.

GU, L., J. D. FUENTES, H. H. SHUGART, R. M. STAEBLER, AND T. A. BLACK, Responses of net ecosystem exchanges of carbon dioxide to changes in

cloudiness: Results from two North American deciduous forests. **J. Geophys. Res.**, 104, 31 421– 31 434. 1999:

HARTER, IVANI BIERHALS **Análise de precipitação em Pelotas-RS utilizando transformada wavelet de Morlet** – Pelotas, 2004. – 85f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

HEUSSER, L., HEUSSER, C., KLECZKOWSKI, A., CROWHURST, S., **A 50,000-yr pollen record from Chile of South American millennial-scale climate instability during the last glaciation.** *Quart. Res.* 52, 154–158. 1999.

KAIMAL, J.C., FINNIGAN, J.J., *Atmospheric Boundary Layer Flows: Their Structure and Measurement.* **Oxford University Press**, New York, 289 pp. 1994.

KAIMAL, J.C., WYNGAARD, J.C., Haugen, D.A. et al., Spectral characteristics of surface layer turbulence. **Quart J. Royal Meteorol. Soc.** 98, 563–589. 1972.

KALOS, M.H. and WHITLOCK, P.A. **Monte Carlo Methods.** John Wiley & Sons. 2008.

KIMBALL, B.A., **Canopy gas exchange: gas exchange with soil.** In: *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production.* Agronomy Society of America, pp. 215–226. 1983.

LANDSBERG, J.J.: **Physiological Ecology of Forest Production.** CSIRO, Division of Forest Research. Austrália, 1986.

LAW, B.E., WARING, R.H., ANTHONI, P.M., ABER, J.D., Measurements of gross and net ecosystem productivity and water vapor exchange of a *Pinus ponderosa* ecosystem, and an evaluation of two generalized models, **Global Change Biol.**, in press. 2000.

LIU, J.S. **Monte Carlo Strategies in Scientific Computing.** Springer. 2008

MARENCO R. A.; VIEIRA, G. Specific leaf area and photosynthetic parameters of tree species in the forest understorey as a function of the microsite light environment in Central Amazonia. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 17, p. 265-278, 2005.

MARENGO, J. A. et al. **Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI:** Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações

climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, fevereiro 2007.

MARENGO, J. A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*, n.78, p.79-96, 2004.

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**. 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.1, p.214, 2007.

MARENGO, J. A.; Valverde, M. C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, v. 8, p.5-28, 2007.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos avançados**. São Paulo, v. 22, n. 63, 2008 .

MARIANO, R.T.G. **Análise Espectral de séries temporais de variáveis micrometeorológicas em uma área de ecótono entre os biomas Amazônia e Cerrado no norte de Mato Grosso**, 2008. 83p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental)- Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

MENDENHALL, W. *Beginning Statistics* **Publisher: Duxbury Pr 1993**

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

Ministério do Meio Ambiente (MMA) O relatório brasileiro sobre mudanças climáticas. Brasília, 2007

MORETTIN, P.A. e TOLOI, C.M. **Análise de Séries Temporais**. São Paulo. Edgard Blusher. 538p. 2006.

NEEFF, T., DUTRA, L. V., DOS SANTOS, J. R., FREITAS, C. C. and ARAUJO, L. S. Power spectrum analysis of SAR data for spatial forest characterization in Amazônia **International Journal of Remote Sensing** V. 26, No. 13, 10 July 2005

NEEFF, T., DUTRA, L.V., DOS SANTOS, J.R., FREITAS, C.C. and ARAUJO, L.S., Tropical forest measurement by interferometric height modeling and P-band radar backscatter. **Forest Science**, 2005

PANOFISKY, H.A., Dutton, J.A.. Atmospheric Turbulence: Models and Methods for Engineering Applications. **Wiley**, New York 1984

PEARCY, R.W. Sunflecks and photosynthesis in plant canopies. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Biol.*, 41: 421-453. 1990.

PEREIRA, M. R. R. **Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus* sp. W. (HILL ex. MAIDEN) submetidos a diferentes níveis de água no solo.** Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP. Botucatu, SP. 53 f. 2006.

PINHEIRO, M.R. - **Freqüências dominantes de variáveis micrometeorológicas de uma Floresta de Transição do norte de Mato Grosso pelo método das Séries de Fourier**, 2008. 50p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

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

PRADO, M. F. do. **Modelagem primária da temperatura do ar em uma Floresta de Transição Amazônia-cerrado no norte de Mato Grosso**. 2011. 63 f. Dissertação de mestrado do programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT

PRIANTE FILHO, N., VOURLITIS, G.L.; HAYASHI, M.M.S.; NOGUEIRA, J.S.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; NUNES, P.C.; SOUZA, L.S.; COUTO, E.G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, J.L.; MIRANDA, E.J.; PRIANTE, P.C.; FRITZEN, C.L.; LACERDA, M.; PEREIRA, L.C.; BIUDES, M.S.; SULI, G.S.; SHIRAIWA, S.; PAULO, S.R.; SILVEIRA, M.; Comparison of the Mass and Energy Exchange of a Pasture and a Mature Transitional Tropical Forest of a Southern Amazon Basin During the Wet-Dry Season Transition. **Global Change Biology**, Urbana - IL - USA, v.10, p. 863-876. 2004.

RANDERSON, J.T., FIELD, C.B., FUNG, I.Y., TANS, P.P. **Increases in early season ecosystem uptake explain recent changes in the seasonal cycle of atmospheric CO₂ at high northern latitudes.** *Geophys. Res. Lett.* 26, 2765–2768. 1999.

RENSHAW, E., Spectral techniques in spatial analysis. **Forest Ecology and Management**, 94, pp. 165–174. 1997.

RIDGEWELL, A.J., WATSON, A.J., RAYMO, M.E. **Is the spectral signature of the 100-yr glacial cycle consistent with a Milankovitch origin?** *Paleoceanography* 4, 437–440. 1999.

ROBERT, C.P. & CASELLA, G. **Monte Carlo Statistical Methods**. Springer. 2010.

RUNYON, J., WARING, R.H., GOWARD, S.N., WELLES, J.M., Environmental limits on net primary production and light-use efficiency across the Oregon transect. **Ecol. Applications** 4, 226–237. 1994.

SANCHES, L.; ANDRADE, N.L.R.; NOGUEIRA, J.S.; BIUDES, M.S.; VOURLITIS, G.L. Índice de área foliar em Floresta de Transição Amazônia Cerrado em diferentes métodos de estimativa. **Ciência e Natura**, v.30, n.1, p.57-69, 2008.

SILVA, L. M. O. da. **Uma aplicação de árvores de decisão, redes neurais e KNN para a identificação de modelos ARMA não sazonais e sazonais**. Rio de Janeiro : PUCRio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2005. 145 f. ; 30 cm Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

SILVA, S. Teixeira **Consistência dos períodos dominantes das variáveis micrometeorológicas da Floresta de Transição no norte de Mato Grosso utilizando análise de Fourier**.2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá

SOUZA, Reinaldo C., CAMARGO, Maria E., (2004) **Análise e Previsão de Séries Temporais: os Modelos ARIMA**, s/e, Rio de Janeiro, 2ª edição.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. “**Plant Physiology**”. 2nd Ed.; Benjamin Cummings Pub., California 1998.

TONG, H., HIPPS, L. E.. The effect of turbulence on the light environment of alfafa **Agricultural and Forest Meteorology**. 1996

VAN DER HOVEN, I. Power spectrum of horizontal wind speed in the frequency range from 0.0007 to 900 cycles per hour. **J. Meteorol.** 14, 160. 1957

VAREJÃO, M.A.S. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital 2. Recife. 531p. 2006.

VERMA, S. B. Micrometeorological methods for measuring surface fluxes of massandenergy. **Remote Sensing Reviews**, v. 5, p. 99-115. 1990.

VERMAAS, WIM. Uma Introdução à fotossíntese e suas Aplicações "**The World & I**" páginas 158-165. 1998.

VIDAL, L.A. **Estudo da dinâmica de variáveis micrometeorológicas da estação meteorológica de superfície do destacamento de controle do espaço aéreo de**

Cuiabá. 2009. 79p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

VIERA, E. L.; SOUZA, G. S. de; SANTOS, A. R.; SANTOS SILVA, J. **Manual de Fisiologia Vegetal.** São Luis. EDUFMA. 230p. 2010.

VILLATE, J. E. **Introdução aos sistemas dinâmicos: uma abordagem prática com Máxima** Stanford, California, USA. de 2007

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**, v. 9, n. 27.2005.

VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. de S.; RAITER, F.; HOEGER, W.; CAMPELO JR, J. H. Effects of meteorological variations of the CO₂ exchange of a Brazilian transitional tropical **Forest. Ecological Applications.** v. 14(4), p. S89-S100, 2004.

VOURLITIS, G.L. NOGUEIRA, J.S., LOBO, F.A., SENDALL, K.M., PAULO, S.R., DIAS, C.A.A., PINTO JR, O.B., ANDRADE, N.L.R., - Energy balance and canopy conductance of a tropical semi-deciduous forest of the southern Amazon Basin. **Water resources research**, v. 44, w 03412, 2008.

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.; 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

WEISHAMPEL, J.F., GODIN, J.R. and HENEBRY, G.M., Pantropical dynamics of 'intact' rain forest canopy texture. **Global Ecology and Biogeography**, 10, pp. 389–397. 2001.

WILKS, D. S.: **Statistical methods in the Atmospheric Sciences**. Academic Press, NY, 468 pp Publisher: Academic Press. 1995

WILSON, K. B., AND D. D. BALDOCCHI: Estimating annual net ecosystem exchange of carbon over five years at a deciduous forest in the southern United States. **Agric. For. Meteor.**, 100, 1–18. 2000

WIRTH, R., WEBER, B. and RYEL, R.J., Spatial and temporal variability of canopy structure in a tropical moist forest. **Acta Oecologica**, 22, pp. 235–244. 2001.

6.2 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AGUIAR, R.G. **Fluxos de massa e energia em uma Floresta tropical no sudoeste da Amazônia**. 2005. 59p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

ANDRAE, M. O.; CRUTZEN, P. J. Atmospheric aerosols: biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry. **Science**, v. 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, v. 5, p.99-115. 1990.

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, v. 5, p.99-115. 1990.

BALDOCCHI, D.D; HICKS, B.B; MEYERS, T.P. – Measuring Biosphere-Atmosphere Exchanges of Biologically Related Gases With Micrometeorological Methods. **Ecology**, v. 69, n.5, p. 1331-1340, out. 1988.

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

CAMPOS, Z. Effect of habitat on survival of eggs and sex ratio of hatchlings of *Caiman crocodilus yacare* in the Pantanal, Brazil. **Journal of Herpetology** 27:127-132. 1993.

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, v.59, n.3, p.44-47. ISSN 0009-6725.

CAPISTRANO, V.B. **Análise de Séries Temporais de Variáveis Micrometeorológicas Medidas em Sinop Mato Grosso Utilizando a Teoria da Complexidade.** 2007. 47p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

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

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, v. 26, nº. 3, 2004. Disponível em: www.scielo.br. Acesso em: 06 Nov 2007.

CHODAT, R.&VISCHER,W. 1977. **La végétation du Paraguay.** (J.C. Vaduz, ed.). 558p. (Historiae Naturalis Classica, 51). Reimpressão da edição de 1916.

DINIZ, G.L.; FONSECA, M.; CAMPELO, J.H. Análise Harmônica do Regime de Precipitação em duas Localidades da Baixada Cuiabana. **Biomatemática.** v.18, n.18, p.37-48. 2008.

EASTMAN, J.R. IDRISI - A grid-based geographical analyses system. Clark university, Worcester, MA., USA. EITEN, G. 1972. The cerrado vegetation of Brazil. **Botanical Review** 38:201-341. 1990.

EITEN, G. Brazilian savannas. In Ecology of tropical savannas (B.J.Huntley&B.H. Walker, eds.), **Springer-Verlag.**, Berlin, p.25-47. 1982.

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).

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.

H.F. Structure, distribution of species and inundation in a riparian forest of Rio Paraguai, Pantanal, Brazil. **Flora**, v. 200, 119-135, Maio, 2005.

HUECK, K. Bosques chaquenhos e extração de tanino no Brasil. **Revista Brasileira**

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, v. 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: 17/11/10

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.

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

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**, v. 8, nº 1, p. 164-167. 2004.

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.

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

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, V. 34, nº. 4, 2004 . Disponível em: www.scielo.br. Acesso em: 30 Out 2007.

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 mqi.USP. São Paulo. 2002

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

PALÚ, A.E.R. **Determinação do tempo de defasagem mais adequado para análise de sereis temporais de variáveis micrometeorológicos medidas numa Floresta de Transição no norte de Mato Grosso,** 2008. 38p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

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

RATTER, J.A. **Transitions between cerrado and forest vegetation in Brazil. In Nature and dynamics of forest-savanna boundaries** (P.A. Furley, J.Proctor & J.A. Ratter,eds.). Ed. Chapman & Hall, London, p.417-427. 1992.

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, v. 35, n.2. 2005.

SILVA, J.S.V. & ABDON, M.M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 33:1703-1711. 1998.

SILVA, J.S.V., ABDON, M.M., BOOCK, A. & SILVA, M.P. Fitofisionomias dominantes em parte das sub-regiões do Nabileque e Miranda, Sul do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 33:1713-1719. 1998.

TISSIANI, A. S. de O.. **Composição da comunidade de scarabaeidae coprófagos (insecta, coleoptera), em uma área na região norte do Pantanal de Mato Grosso.** 88f. 2009. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação do Instituto de Biociências. Cuiabá – MT.

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.

WILSON, K. B., BALDOCCHI, D. D. AND HANSON, P. J. Spatial and seasonal variability of photosynthesis parameters and their relationship to leaf nitrogen in a deciduous forest. **Tree Physiol.**, 20, 787– 797. 2000:.

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.

ANEXOS

1. Código fonte do Programa Fourier.exe

```
/* Expansão Fourier */
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
FILE *fp_data;
char rdFN[300],rdFName[300];
int number_of_data;
float Dat[4010],CoefA[4010], CoefB[4010];

main()
{
    int i,j,n;
    float PIVal, ParamL;
    float somaA, somaB;
    PIVal = 3.141593;
    strcpy(rdFName,"c:\\fourier\\");
    printf("\nThe data must be in the folder c:\\fourier\\ \n\n");
    printf("\nPlease enter the data file name:\n");
    scanf("%s",rdFN);
    strcat(rdFName,rdFN);
    printf("\nPlease enter the number of data to be read (Max = 4000):\n");
    scanf("%d",&number_of_data);
    if((fp_data = fopen(rdFName,"r"))==NULL)
    {
        printf("Cannot open input file\n");
        printf("%s\n",rdFName);
        scanf("%s",rdFN);
        return 1;
    }
    printf("\nReading data...\n");
    for(j=0;j<number_of_data;j++){
        fscanf(fp_data,"%f",&Dat[j]);
        printf("\nOrigDat[%d] = %f\n",j,Dat[j]);
        //scanf("%s",rdFN);
    }
    //scanf("%s",rdFN);
    somaA=0.0;
    somaB=0.0;
    ParamL = (float)number_of_data/2;
    printf("\nCalculating coefficients...\n");
    CoefB[0]=0.0;
    for(j=0;j<number_of_data;j++){
        somaA+=Dat[j];
    }
    CoefA[0]=somaA/(2.0*ParamL);
    for(n=1;n<number_of_data;n++){
        somaA=0.0;
        somaB=0.0;
        for(i=1;i<number_of_data;i++){
            somaA+=Dat[i]*cos((float)(n*i)*PIVal/ParamL);
            somaB+=Dat[i]*sin((float)(n*i)*PIVal/ParamL);
        }
        CoefA[n]=somaA/ParamL;
        CoefB[n]=somaB/ParamL;
    }
    //printf("\nInformation = %f\n",soma);
}
```

```

//scanf("%d",tao);
fclose(fp_data);
printf("\nSaving coefficients...\n");
strcpy(rdFName,"c:\\fourier\\result.txt");
if((fp_data = fopen(rdFName,"w"))==NULL)
    {
printf("Cannot open output file\n");
printf("%s\n",rdFName);
scanf("%s",rdFN);
return 1;
    }
for(j=0;j<number_of_data;j++){
fprintf(fp_data,"%d\t%f\t%f\n",j,CoefA[j],CoefB[j]);
    }
fclose(fp_data);
}

```

2. Código fonte do Programa ErrFourier.exe

```

/* Expansão ao Fourier */
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <time.h>
FILE *fp_data;

char rdFN[300],rdFName[300];
int number_of_data;
//float Dat[1800], Dat_Original[1800], CoefA[1800], CoefB[1800];
float ErrDat[3010], ErrCoefA[1301], ErrCoefB[1301];
float MEDIAA[1301], MEDIAB[1301];

main()
{
    int i,j,n,k, iii;
    float PIVal, ParamL;
    float somaA, somaB, soma, media;
    int t_interval;
    float Dat[3010], Dat_Original[3010], CoefA[1301], CoefB[1301];
    PIVal = 3.141593;
    strcpy(rdFName,"c:\\fourier\\");
    printf("\nThe data must be in the folder c:\\fourier\\ \n\n");
    printf("\nPlease enter the data file name:\n");
    scanf("%s",rdFN);
    strcat(rdFName,rdFN);
    printf("\nPlease enter the number of data to be read (Max = 4000):\n");
    scanf("%d",&number_of_data);
    printf("\nPlease enter the time interval (in minutes) between two
consecutive data:\n");
    scanf("%d",&t_interval);
    t_interval=1440/t_interval; //calcula quantos dados ao longo de um dia
    if((fp_data = fopen(rdFName,"r"))==NULL)
    {
        printf("Cannot open input file\n");
        printf("%s\n",rdFName);
        scanf("%s",rdFN);
    }
    return 1;
}

printf("\nReading data...\n");
for(j=0;j<number_of_data;j++){
fscanf(fp_data,"%f",&Dat[j]);

```

```

        printf("\nOrigDat[%d] = %f\n",j,Dat[j]);
//scanf("%s",rdFN);
    }
//scanf("%s",rdFN);
//Estima o erro dos dados
for(j=0;j<t_interval;j++){
    k=0;
    soma=0;
    while((j+k*t_interval)<number_of_data){
        soma+=Dat[j+k*t_interval];
        k++; }
    media=soma/(float)k;
    k=0;
    while((j+k*t_interval)<number_of_data){
        soma+=pow((Dat[j+k*t_interval]-media),2);
        k++; }
    media=soma/(float)(k-1);
    ErrDat[j]=sqrt(media);
//printf("\nOrigDat[%d] = %f\n",j,Dat[j]);
}
for(j=0;j<t_interval;j++){
    k=1;
    while((j+k*t_interval)<number_of_data){
        ErrDat[j+k*t_interval]=ErrDat[j];
        k++; }
}
for(j=0;j<number_of_data;j++)
Dat_Original[j]=Dat[j];
for(j=0;j<1301;j++){
    MEDIAA[j]=0.0;
    MEDIAB[j]=0.0;
    ErrCoefA[j]=0.0;
    ErrCoefB[j]=0.0;
}
}

// Calculo da media dos coeficientes
for(iii=0;iii<100;iii++){
    randomize();
    for(j=0;j<number_of_data;j++)
Dat[j]=Dat_Original[j]+((2.0*(float)(rand()% 1000)-1000.0)/1000.0)*ErrDat[j];
// Calcula os coeficientes
somaA=0.0;
somaB=0.0;
ParamL = (float)number_of_data/2;
printf("\nCalculating coefficients...\n");
CoefB[0]=0.0;
for(j=0;j<number_of_data;j++){
    somaA+=Dat[j];
}
CoefA[0]=somaA/(2.0*ParamL);
for(n=1;n<1301;n++){
    somaA=0.0;
    somaB=0.0;
    for(i=1;i<number_of_data;i++){
        somaA+=Dat[i]*cos((float)(n*i)*PIval/ParamL);
        somaB+=Dat[i]*sin((float)(n*i)*PIval/ParamL);
    }
    CoefA[n]=somaA/ParamL;
    CoefB[n]=somaB/ParamL;
}
}

```

```

        MEDIAA[n]+=CoefA[n];
        MEDIAB[n]+=CoefB[n];
    }

    for(n=0;n<1301;n++){
        MEDIAA[n]/=100.0;
        MEDIAB[n]/=100.0;
    }

// Calculo desvio-padrao dos coeficientes
    for(iii=0;iii<100;iii++){
        randomize();
        //for(j=0;j<number_of_data;j++)
        Dat[j]=Dat_Original[j]+((2.0*(float)(rand()% 1000)-1000.0)/1000.0)*ErrDat[j];
        // Calcula os coeficientes
        somaA=0.0;
        somaB=0.0;
        ParamL = (float)number_of_data/2;
        printf("\nCalculating coefficients...\n");
        CoefB[0]=0.0;
        for(j=0;j<number_of_data;j++){
            somaA+=Dat[j];
        }
        CoefA[0]=somaA/(2.0*ParamL);
        for(n=1;n<1301;n++){
            somaA=0.0;
            somaB=0.0;
            for(i=1;i<number_of_data;i++){
                somaA+=Dat[i]*cos((float)(n*i)*PIVal/ParamL);
                somaB+=Dat[i]*sin((float)(n*i)*PIVal/ParamL);
            }
            CoefA[n]=somaA/ParamL;
            CoefB[n]=somaB/ParamL;
            ErrCoefA[n]=pow(CoefA[n]-MEDIAA[n],2);
            ErrCoefB[n]=pow(CoefB[n]-MEDIAB[n],2);
        }

        for(n=0;n<1301;n++){
            ErrCoefA[n]/=100.0;
            ErrCoefB[n]/=100.0;
            ErrCoefA[n]=sqrt(ErrCoefA[n]);
            ErrCoefB[n]=sqrt(ErrCoefB[n]);
        }

        //printf("\nInformation = %f\n",soma);
        //scanf("%d",&tao);
        fclose(fp_data);
        printf("\nSaving coefficients...\n");
        strcpy(rdFName,"c:\\fourier\\result.txt");
        if((fp_data = fopen(rdFName,"w"))==NULL)
        {
            printf("Cannot open output file\n");
            printf("%s\n",rdFName);
            scanf("%s",&rdFN);
            return 1;
        }
        for(j=0;j<1301;j++){
            fprintf(fp_data,"%d\t%f\t%f\n",j,ErrCoefA[j],ErrCoefB[j]);
        }
        fclose(fp_data);
    }

return(0);

```