

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL
LINHA DE PESQUISA: INTERAÇÃO BIOSFERA-ATMOSFERA

**ANÁLISE ESPECTRAL DE SÉRIES TEMPORAIS DE VARIÁVEIS
MICRO-CLIMATOLÓGICAS EM UMA ÁREA DE ECÓTONO
ENTRE OS BIOMAS AMAZÔNIA E CERRADO NO NORTE DE
MATO GROSSO.**

RUBENS TADEU GARCIA MARIANO

PROF. DR. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO
Orientador

Cuiabá-MT, Março de 2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL
LINHA DE PESQUISA: INTERAÇÃO BIOSFERA-ATMOSFERA

**ANÁLISE ESPECTRAL DE SÉRIES TEMPORAIS DE
VARIÁVEIS MICRO-CLIMATOLÓGICAS EM UMA ÁREA DE
ECÓTONO ENTRE OS BIOMAS AMAZÔNIA E CERRADO NO
NORTE DE MATO GROSSO.**

RUBENS TADEU GARCIA MARIANO

*Dissertação apresentada ao programa
de Pós-Graduação em Física Ambiental
da Universidade Federal de Mato
Grosso, como parte dos requisitos para
obtenção do título de mestre em Física e
Meio Ambiente.*

PROF. DR. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO
Orientador

Cuiabá-MT, Março de 2008.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: ANÁLISE ESPECTRAL DE SÉRIES TEMPORAIS DE VARIÁVEIS
MICRO-CLIMATOLÓGICAS EM UMA ÁREA DE ECÓTONO
ENTRE OS BIOMAS AMAZÔNIA E CERRADO NO NORTE DE
MATO GROSSO.**

AUTOR: RUBENS TADEU GARCIA MARIANO

Dissertação de mestrado defendida e aprovada em 24 de Março de 2008, pela comissão julgadora:

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

Prof Dr. George Louis Vourlitis
California State University San Marcos/CA/USA
Examinador Interno

Prof. Dr. Frederico Ayres de Oliveira Neto
Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT/Campus Rondonópolis
Examinador Externo

DEDICATÓRIA

*À veneração que toda mãe exprime,
à disciplina que todo pai simboliza,
à afeição que todo irmão inspira,
à dedicação que toda esposa instiga,
à coragem que todo filho suscita
e à cooperação que todo amigo fomenta,
dedico minhas horas de trabalho.*

AGRADECIMENTOS

- Agradeço a Deus pela dádiva da vida, imprescindível à evolução.
- Aos meus pais, Lucílio (*in memorian*) e Adir, pelo cumprimento do sagrado compromisso chamado família.
- A minha esposa Osmeiri pelo amor e devotamento incondicional à nossa união, demonstrado nos bons e maus momentos.
- Aos meus filhos Ana Laura e Lucas, usinas da minha vontade e motrizes do meu coração.
- As minhas irmãs Lucília (*in memorian*), Soraia e meu sobrinho Tullyo, pelos exemplos de coragem e retidão
- Ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Roberto de Paulo pelo empenho e amizade.
- Ao Prof. Dr. George Louis Vourlitis pela simpática presteza em me ajudar com as imagens mais recentes dos equipamentos.
- A todos os professores e colaboradores do curso pela visível dedicação.
- A minha amiga Aloma pela ajuda com a formatação.
- Ao amigo Mauro Massao (*in memorian*), meu incentivador e companheiro de república nos tempos da engenharia.
- A CNPQ pelo apoio financeiro.

Para os crentes, Deus está no princípio das coisas.
Para os cientistas, no final de toda reflexão.

Max Planck

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	iii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1 - FLORESTAS E MUDANÇAS NO CLIMA GLOBAL	4
2.1.1 – O Efeito Estufa.....	4
2.1.2 - A Floresta Amazônica e a emissão e absorção de carbono	5
2.1.3 – Floresta de transição ou ecótonos	9
2.2 – VARIÁVEIS MICRO-CLIMATOLÓGICAS	10
2.3 – ANÁLISE DE FOURIER.....	11
2.3.1 – Transformada de Fourier (FT)	12
2.3.2 – Transformada Discreta de Fourier (DFT)	13
2.3.3 – Transformada Rápida de Fourier (FFT).....	14
2.4 - ESPECTRO DE POTÊNCIAS.....	15
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1 - ÁREA DE ESTUDO – LOCALIZAÇÃO	18
3.2 - ÁREA DE ESTUDO – CARACTERIZAÇÃO GEOCLIMÁTICA ...	21
3.3 - INSTRUMENTOS DE MONITORAMENTO, MEDIÇÃO E ARMAZENAMENTO DE DADOS MICRO- METEOROLÓGICOS.....	23
3.4 - METODOLOGIA	28
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5 - CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
ANEXO	78
CÓDIGO FONTE DO PROGRAMA POWER SPECTRA.EXE	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Precipitação pluviométrica mensal e anual para a área do estudo (em mm)	22
Tabela 2: Freqüências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 289 (00h00min) e 307 (23h30min) do ano 1999.	35
Tabela 3: Freqüências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 31 (05h30min) e 63 (21h30min) do ano 2001.	38
Tabela 4: Freqüências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 73 (09h00min) e 124 (12h00min) do ano 2001.	41
Tabela 5: Freqüências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 128 (12h00min) e 164 (10h30min) do ano 2001.	44
Tabela 6: Freqüências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 341 (16h00min) e 365 (23h30min) do ano 2002.	47
Tabela 7: Freqüências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 32 (10h00min) e 52 (10h30min) do ano 2003.	50
Tabela 8: Freqüências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 218 (17h30min) e 242 (14h30min) do ano 2003.	53
Tabela 9: Freqüências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 243 (00h00min) e 269 (13h30min) do ano 2003.	56
Tabela 10: Freqüências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 109 (20h30min) e 146 (12h30min) do ano 2005.	59

Tabela 11: Frequências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 190 (13h00min) e 212 (14h00min) do ano 2005.	62
Tabela 12: Frequências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 190 (13h00min) e 212 (14h00min) do ano 2005.	65
Tabela 13: Frequências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 24 (12h30min) e 51 (09h00min) do ano 2006.	69
Tabela 14: Tabela resumo dos períodos $\tau(h)$, relativos às frequências dominantes das variáveis em estudo.	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa do desflorestamento na Região Amazônica.	6
Figura 2: Região que estabelece a fronteira de ocupação da Amazônia Brasileira, denominada “Arco do Desmatamento”.....	7
Figura 4: Desenho esquemático da torre equipada com instrumentos de monitoramento, medição e coleta de dados micro-meteorológicos, instalada no local do estudo.	19
Figura 5: Foto da torre	20
Figura 6: Localização da torre. Fonte: Google Earth.....	20
Figura 7: Ecossistemas da Amazônia /Vegetação e usos do solo em Mato Grosso. .	21
Figura 8: Representação esquemática do sistema de Correlação de Vórtices Turbulentos (Eddy Covariance).	23
Figura 9: Anemômetro-termômetro sônico tridimensional (SWS-211/3K; Tecnologias aplicadas Inc., Boulder, Colorado, E.U.A. e Analisador de gás infravermelho de caminho aberto (NOAA-ATDD, Cume de Carvalho, Tennessee, E.U.A.).....	25
Figura 10: Datalogger Campbell CR 10X	26
Figura 11: Palmtop PC Hewlett Packard 200 LX com fonte de energia	26
Figura 12: CSAT3 3-D Sonic Anemometer.....	27
Figura 14: Representação esquemática das relações entre os equipamentos em uso.	27
Figura 15: Tratamento de dados, apresentados em planilha do software Microsoft Excel, do fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE), em setembro de 2005.	28
Figura 16: Organização das séries temporais das variáveis em estudo em uma planilha Excel, evidenciando a data do registro em dias julianos.....	29
Figura 17: Exemplo do recurso da média feita com dados antecessor e posterior para preenchimento de lacunas nas séries temporais.	30
Figura 18: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), compreendida entre os dias 289 (00h00min) e 307 (23h30min) do ano 1999.	33

Figura 19: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m^2), compreendida entre os dias 289 (00h00min) e 307 (23h30min) do ano 1999.	33
Figura 20: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente LE (W/m^2), compreendida entre os dias 289 (00h00min) e 307 (23h30min) do ano 1999.	34
Figura 21: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), compreendida entre os dias 31 (05h30min) e 63 (21h30min) do ano 2001.	36
Figura 22: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m^2), compreendida entre os dias 31 (05h30min) e 63 (21h30min) do ano 2001.	36
Figura 23: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente LE (W/m^2), compreendida entre os dias 31 (05h30min) e 63 (21h30min) do ano 2001.	37
Figura 24: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), compreendida entre os dias 73 (09h00min) e 124 (12h00min) do ano 2001.	39
Figura 25: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m^2), compreendida entre os dias 73 (09h00min) e 124 (12h00min) do ano 2001.	39
Figura 26: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente LE (W/m^2), compreendida entre os dias 73 (09h00min) e 124 (12h00min) do ano 2001.	40
Figura 27: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), compreendida entre os dias 128 (12h00min) e 164 (10h30min) do ano 2001.	42
Figura 28: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m^2), compreendida entre os dias 128 (12h00min) e 164 (10h30min) do ano 2001.	42

Figura 29: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente LE (W/m^2), compreendida entre os dias 128 (12h00min) e 164 (10h30min) do ano 2001.	43
Figura 30: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), compreendida entre os dias 341 (16h00min) e 365 (23h30min) do ano 2002.	45
Figura 31: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m^2), compreendida entre os dias 341 (16h00min) e 365 (23h30min) do ano 2002.	45
Figura 32: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente LE (W/m^2), compreendida entre os dias 341 (16h00min) e 365 (23h30min) do ano 2002.	46
Figura 33: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), compreendida entre os dias 32 (10h00min) e 52 (10h30min) do ano 2003.	48
Figura 34: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m^2), compreendida entre os dias 32 (10h00min) e 52 (10h30min) do ano 2003.	48
Figura 35: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente LE (W/m^2), compreendida entre os dias 32 (10h00min) e 52 (10h30min) do ano 2003.	49
Figura 36: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), compreendida entre os dias 218 (17h30min) e 242 (14h30min) do ano 2003.	51
Figura 37: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m^2), compreendida entre os dias 218 (17h30min) e 242 (14h30min) do ano 2003.	51
Figura 38: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente LE (W/m^2), compreendida entre os dias 218 (17h30min) e 242 (14h30min) do ano 2003.	52

Figura 39: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T (°C), compreendida entre os dias 243 (00h00min) e 269 (13h30min) do ano 2003.	54
Figura 40: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m ²), compreendida entre os dias 243 (00h00min) e 269 (13h30min) do ano 2003.	54
Figura 41: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente LE (W/m ²), compreendida entre os dias 243 (00h00min) e 269 (13h30min) do ano 2003.	55
Figura 42: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T (°C), compreendida entre os dias 109 (20h30min) e 146 (12h30min) do ano 2005.	57
Figura 43: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m ²), compreendida entre os dias 109 (20h30min) e 146 (12h30min) do ano 2005.	57
Figura 44: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente LE (W/m ²), compreendida entre os dias 109 (20h30min) e 146 (12h30min) do ano 2005.	58
Figura 45: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T (°C), compreendida entre os dias 190 (13h00min) e 212 (14h00min) do ano 2005.	60
Figura 46: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m ²), compreendida entre os dias 190 (13h00min) e 212 (14h00min) do ano 2005.	60
Figura 47: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente LE (W/m ²), compreendida entre os dias 190 (13h00min) e 212 (14h00min) do ano 2005.	61
Figura 48: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T (°C), compreendida entre os dias 258 (1h00min) e 363 (10h30min) do ano 2005.	63

- Figura 49:** Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível **H** (W/m^2), compreendida entre os dias 258 (1h00min) e 363 (10h30min) do ano 2005. **63**
- Figura 50:** Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente **LE** (W/m^2), compreendida entre os dias 258 (1h00min) e 363 (10h30min) do ano 2005. **64**
- Figura 51:** Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura **T** ($^{\circ}\text{C}$), compreendida entre os dias 24 (12h30min) e 51 (09h00min) do ano 2006. **66**
- Figura 52:** Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível **H** (W/m^2), compreendida entre os dias 24 (12h30min) e 51 (09h00min) do ano 2006. **66**
- Figura 53:** Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente **LE** (W/m^2), compreendida entre os dias 24 (12h30min) e 51 (09h00min) do ano 2006. **67**

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ONU - Organização das Nações Unidas

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

SEPCT - Secretaria de Políticas e Programas de Ciência e Tecnologia

LBA -The Large Escale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia

FT – Transformada de Fourier (*Fourier Transform*)

DFT – Transformada Discreta de Fourier (*Discret Fourier Transform*)

FFT-Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform*)

POWSP – programa computacional “Power Spectra”

CFC’s - clorofluorocarbonetos

GEE - gases do efeito estufa

CO₂ - dióxido de carbono

CH₄ - metano

N₂O - óxido nitroso

ppm - partes por milhão

T- temperatura

P- pressão atmosférica

LE- fluxo de Calor Latente

H - fluxo de Calor Sensível

f - frequência

τ- Período

Hz – hertz

Gt - gigatoneladas

RESUMO

MARIANO, R. T. G. *Análise Espectral de séries temporais de variáveis micro-climatológicas em uma área de ecótono entre os biomas Amazônia e Cerrado no norte de Mato Grosso* - Cuiabá, 2008.100p Dissertação (Mestrado) Instituto de Física, Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

Neste trabalho foram utilizadas séries temporais de dados micro-climatológicos coletados num ecótono entre os biomas floresta tropical úmida e cerrado, buscando-se compreender melhor a periodicidade de algumas variáveis que, em face da influência de fenômenos de natureza fractal e parâmetros estocásticos de comportamento imprevisível, tornam os ambientes florestais sistemas bastante complexos. Os dados correspondentes às variáveis aqui tratadas, temperatura (T), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE), foram obtidos por correlação de vórtices turbulentos (Eddy Covariance), entre os anos de 1999 e 2006 em uma área cerca de 20 Km², no município de Sinop, Mato Grosso, Brasil (11° 24' 43,4" S; 55° 19' 25,7" O). Foram privilegiadas séries temporais contínuas de dados, sendo obtidas seis séries para a estação úmida e seis para a estação seca. Através da análise do espectro de potências, procurou-se identificar picos de frequências dominantes e comuns entre elas. Os períodos correspondentes às frequências determinadas foram: 24, 12, 8, 4, 3, 2, 1,5 e 1 horas, sendo que não foram observadas diferenças significativas entre as frequências dominantes das três variáveis estudadas. No período de chuvas foi observado um número maior de frequências dominantes. O período de 6 horas aparece como uma frequência dominante apenas na estação úmida.

Palavras-chave: Análise espectral, espectro de potências, variação temporal, frequências dominantes, séries temporais.

ABSTRACT

MARIANO, R.T.G. *Time series spectral analysis of micrometeorological variables in a transition forest at north of Mato Grosso*. Cuiabá, 2008. 100p. Máster thesis – Institute of Physical, Department of Physical, Federal University of Mato Grosso.

In this work it was analyzed time series of micrometeorological variables collected in a transition forest, aiming to better understand the temporal variation of some variables, which, due to the influence of phenomena with fractal profile and stochastic parameters with imprevisible behavior, led the forest environment to be considerable complex. The data of the considered variables, temperature (T), latent heat flux (H) and sensible heat flux (LE), were obtained by means of the eddy covariance method between 1999 and 2006, in a 20Km² area, located at Sinop, Mato Grosso, Brazil (11° 24' 43,4" S; 55°19'25,7"O). It was considered only continuous time series, six concerning wet season and six in dry season. By using power spectra analysis, it was identified peaks corresponding to the dominant frequencies which are common among the variables. The observed periods were: 24, 12, 8, 4, 3, 2, 1,5 and 1 hour, with no significant difference among the three studied variables. For the wet season it was observed a higher number of dominant frequencies. The 6 hr period was present only in the wet season.

Keywords: Spectral analysis, power spectrum, temporal variation, dominant frequencies, time series.

1. INTRODUÇÃO

A temperatura média global do planeta à superfície aumentou aproximadamente 1°C desde 1906, sendo que os anos mais quentes ocorreram de 1995 para cá. Hoje, é crescente o consenso na comunidade científica que o aquecimento global é o maior desafio ambiental enfrentado pela humanidade, ponderando nas análises e conclusões do recém-lançado quarto relatório do Grupo de Trabalho I do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) da ONU, de que as atividades humanas são, provavelmente, a causa principal desse aquecimento observado nos últimos 50 anos, apontando as emissões antropogênicas dos gases de efeito estufa (GEE), notadamente o dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) e CFCs, como também aerossóis, cujas concentrações atmosféricas são as mais altas em pelo menos 650 mil anos de história do planeta, configurando uma “forçante” climática, uma perturbação ao balanço de energia do planeta.

O relatório ainda projeta que até o final do século XXI a temperatura média global pode subir de 2°C a mais de 4°C e o nível médio do mar aumentar entre 28 cm e 59 cm. Na verdade, inúmeras evidências apontam não mais para uma possível mudança climática, mas indicam que já estamos convivendo com elas. Algum grau dessas mudanças já se tornou inevitável, se atinarmos para o fato de que a maioria dos GEEs tem longa vida, permanecendo na atmosfera de décadas a séculos até serem removidos. Cálculos recentes, utilizando sofisticados softwares matemáticos que simulam o clima global mostraram que, mesmo que a concentração desses gases fosse mantida constante, nos valores atuais, a temperatura continuaria a subir por mais de 200 anos e o nível do mar, por um milênio, devido à grande inércia térmica dos oceanos.

Do ponto de vista global, o balanço do gás carbônico é a principal preocupação, sendo o CO₂ o principal vilão do efeito estufa, mecanismo de aquecimento atmosférico estimulado pela ação antrópica.

Neste contexto, insere-se a floresta Amazônica, região que armazena mais de 100 Gt de carbono (C) em vegetação e solos, mas que nos últimos 30 anos, pela ação do homem, sofreu desflorestamento de uma área equivalente a 550 mil km², só no Brasil.

Ao contrário da política de ocupação desenfreada dos anos 70, que para a época era a melhor maneira de se assegurar a soberania territorial, hoje o conhecimento científico é um dado estratégico. Sob esta nova óptica, a região amazônica adquiriu *status*, não só por possuir uma gama variada de ecossistemas e grande riqueza em termos de diversidade biológica e étnica, mas por se transformar, devido as rápidas mudanças climáticas que vêm ocorrendo, num imenso laboratório natural para observações de como a floresta reage às intervenções humanas, com efeitos locais e os possíveis desdobramentos para o planeta.

O desflorestamento, a mais evidente atividade antrópica, leva a alterações no funcionamento dos ecossistemas, além de constituir incontestável fonte de gases do efeito estufa. Por outro lado, estudos com janelas temporais menores relatam que mesmo as florestas podem ser um sumidouro líquido de carbono.

A paradoxalidade dessas constatações, atesta a inerente dificuldade de estudo desse ambiente florestal, certamente devido à imensa variabilidade a que estão sujeitos os processos naturais envolvendo fenômenos biológicos, químicos e físicos comprovadamente complexos.

Diante das dificuldades já citadas, é essencial o estudo sistemático das variáveis envolvidas, para que a dinâmica dos ecossistemas seja mais bem compreendida. Isso pode ser feito lançando mão de técnicas de análise que sejam sensíveis às regularidades apresentadas por essas variáveis, bem como pela relação entre elas.

Uma vez que os ecossistemas se estendem por vastas regiões, não há disponibilidade de dados dispostos espacialmente cobrindo uma parte significativa dos mesmos. Assim, os dados referentes a variáveis micro-meteorológicas em geral são disponíveis em séries temporais, também denominadas séries históricas, que são caracterizadas por uma grande quantidade de dados obtidos em intervalos regulares de tempo, tomados em somente alguns pontos (geralmente em torres fixas). A análise de uma série temporal visa, primeiramente, modelar o fenômeno estudado, descrever

o comportamento do parâmetro em questão, fazer estimativas e identificar os fatores que influem nesse comportamento, buscando vínculos entre duas ou mais séries. Portanto, as técnicas de análise de séries temporais têm importância central para essa área de pesquisa.

Uma das técnicas mais utilizadas para a investigação de séries temporais é a análise espectral, que é uma ferramenta fundamental para a compreensão dos fenômenos físicos presentes em sistemas naturais. Ela é bastante utilizada para identificar as características espectrais apresentadas pela maioria dos sistemas físicos. O objetivo deste trabalho é estudar, através da análise do espectro de potências (*power spectrum*), a dinâmica que regula o comportamento de algumas variáveis micro-climatológicas, pela identificação de suas frequências, como principal característica de sua periodicidade dentro de sua variação temporal.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - FLORESTAS E MUDANÇAS NO CLIMA GLOBAL

2.1.1 – O Efeito Estufa

A atmosfera, a camada de ar que envolve o planeta Terra, é composta predominantemente dos gases Nitrogênio (N_2), Oxigênio (O_2) e Argônio (Ar), mas se fossem só estes os gases presentes na atmosfera, a temperatura média da Terra estaria abaixo de zero grau Celsius ($0^\circ C$) e a vida no planeta, tal como conhecemos, seria impossível. Contudo, a presença de outros gases que, transparentes à radiação de ondas curtas emitida pelo Sol, impedem a transmissão da radiação infravermelha da Terra (radiação térmica) que ocorre na forma de onda longa, constituinte do albedo terrestre. Esses gases denominados gases de efeito estufa (GEE), são compostos de moléculas que, ao longo da história da Terra, vêm sendo lançados de maneira natural na atmosfera, por erupções vulcânicas, por exemplo, sendo os mais importantes o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozônio (O_3) e vapor d'água (H_2O) (IPCC, 1990; BNDES, 1999; MOREIRA e SCHAWARTZMAN, 2000). Portanto, o efeito estufa é um processo natural, possibilitando a vida na superfície do planeta. Caso não existisse o efeito estufa natural, a temperatura média na superfície da Terra situar-se-ia na faixa de $-18^\circ C$. A temperatura média global na superfície da Terra com a presença do efeito estufa é de $15^\circ C$ (HOUGHTON, 1994).

Somando-se ao processo natural, algumas atividades do homem, estão resultando em contribuições adicionais para o efeito estufa, aumentando as concentrações de GEE na atmosfera, além de introduzirem novos gases com a mesma propriedade, mas resultantes apenas das atividades antrópicas, sendo os principais: hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF_6), clorofluorcarbonos (CFCs) e hidroclorofluorcarbonos (HCFCs)

(PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997, MOREIRA e SCHAWARTZMAN, 2000).

O vapor d'água é o mais abundante gás causador do efeito estufa natural, mas não sendo significativas as emissões de origem antropogênicas desse gás, pouca influência exerce nas alterações climáticas globais, cabendo ao dióxido de carbono (CO₂), o segundo gás de efeito estufa em importância, esse papel. A concentração desse gás na atmosfera cresceu principalmente pelo uso de combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural) em termelétricas, indústrias, automóveis e também pela devastação e queima de florestas. No Brasil, queimadas e desmatamentos liberam mais CO₂ na atmosfera que o parque industrial e a frota de veículos automotores somados.

2.1.2 - A Floresta Amazônica e a emissão e absorção de carbono

As florestas são consideradas os ecossistemas terrestres de maior diversidade biológica. Sendo as florestas tropicais úmidas, distribuídas pela América do Sul e Central, a África e a Ásia, responsáveis por cerca da metade da área total coberta por florestas no mundo. Porém, é nesse bioma que atualmente ocorre intensa degradação ambiental, sendo que de acordo com dados bio-climáticos, as florestas tropicais, que já chegaram a ocupar cerca de 15 milhões de km², foram reduzidas à metade, cobrindo atualmente em torno de 8,5 milhões de Km², o que corresponde a cerca de 6% da superfície terrestre (MYERS, 1992).

Situada na região norte da América do Sul, a floresta amazônica possui uma extensão de aproximadamente 7 milhões de Km², espalhada por territórios do Brasil, Venezuela, Colômbia, Peru, Bolívia, Equador, Suriname, Guiana e Guiana Francesa. A Amazônia Legal brasileira corresponde a quase 60% do território nacional, com uma superfície de aproximadamente 5 milhões de km², representando 78% da cobertura vegetal do país e abrangendo oito estados: Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e Maranhão. Além de rica fauna e flora, a Amazônia apresenta ampla diversidade de substrato geológico, solos, climas e a maior bacia hidrográfica do mundo.

A ocupação da Amazônia legal, nos últimos quarenta anos, ocorreu como consequência da geopolítica dos governos militares que a considerava região

estratégica, estabelecendo então, um projeto de integração nacional, que incluiu o estabelecimento dos chamados “eixos” e “pólos” de desenvolvimento, apropriação de terras para projetos agropecuários, reforma agrária, mineração e mais recentemente a produção de grãos (BECKER 1997, MACHADO 1998).

A região armazena mais de 100 gigatoneladas de carbono (C) em vegetação e solos. Mas, devido a essa política de ocupação, milhares de imigrantes precipitaram-se à Amazônia causando um pronunciado aumento nas taxas de desflorestamento, estimada em 550 mil Km² (Figura 1).

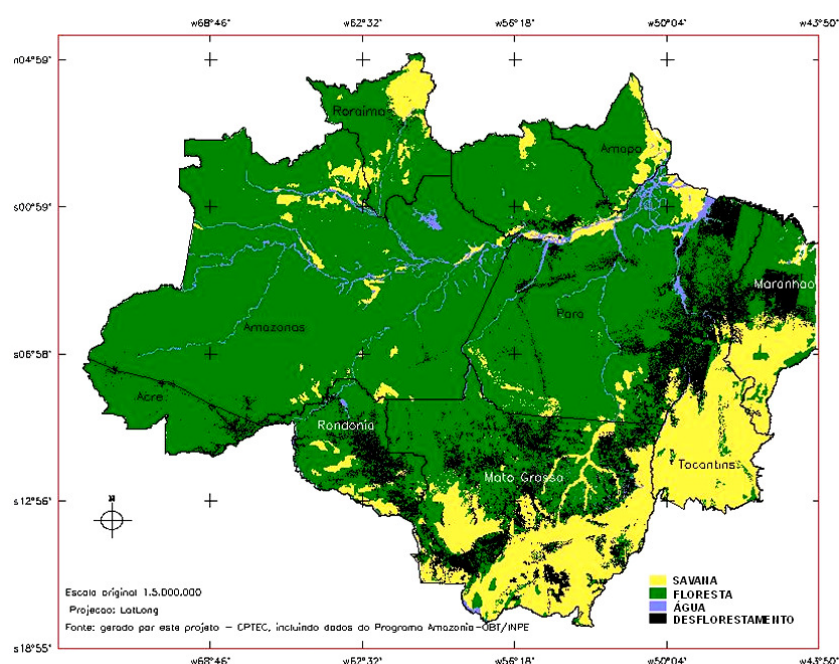


Figura 1: Mapa do desflorestamento na Região Amazônica.

Cerca de 1/4 das florestas tropicais do mundo está localizada no Brasil (CARVALHO *et al.*, 1998) e o carbono contido na Amazônia brasileira equivaleria a 14% do carbono contido em todos os sistemas terrestres. De acordo com HOUGHTON *et al.* (2000), o fluxo anual de carbono por desflorestamento e abandono de terras cultivadas na Amazônia no período 1989-1998 foi uma fonte de 0,2 Gt C por ano. O desflorestamento leva a alterações no funcionamento dos ecossistemas, gerando impactos sobre a estrutura e a fertilidade dos solos e sobre o ciclo hidrológico, e constitui importante fonte de gases do efeito estufa (SMITH *et al.* 1995, GASH *et al.* 1996, HOUGHTON *et al.* 2000).

O desmatamento na Amazônia Brasileira está concentrado em uma faixa que se estende pelo sul da região, desde o Maranhão até Rondônia. Este setor é comumente denominado “Arco do Desmatamento” (Figura 2). Nessa região é que se localiza a fronteira de ocupação da Amazônia, estabelecida principalmente através do uso do fogo no desmatamento (MOUTINHO & NEPSTAD, 1999).

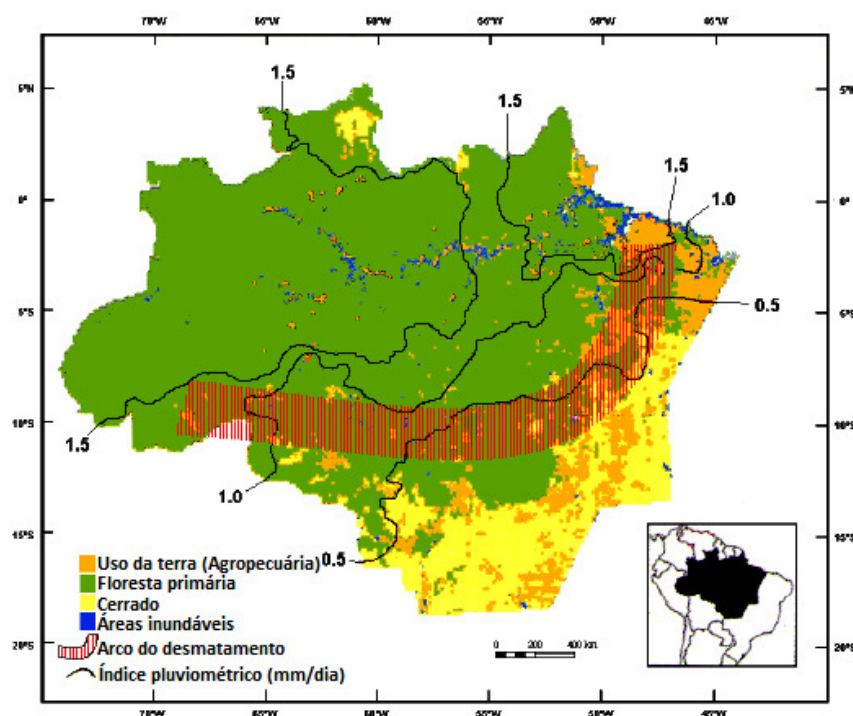


Figura 2: Região que estabelece a fronteira de ocupação da Amazônia Brasileira, denominada “Arco do Desmatamento”.

O uso do fogo, a chamada “queimada”, constitui prática amplamente inserida na cultura da Amazônia brasileira, como elemento do processo produtivo da região, inerente a expansão agrícola. Considerado um método barato para preparar a terra para o plantio de culturas, esse hábito causa, adicionalmente, um custo negativo. Além de afetar o solo, o ciclo hidrológico e a biodiversidade, um dos principais efeitos é a liberação de grandes quantidades de carbono para a atmosfera como resultado da queima de biomassa vegetal, pois metade do peso seco de uma árvore é carbono.

Estudos de campo recentes mostram que o desflorestamento e a queima de biomassa causam expressivas mudanças nos ciclos da água, da energia, do carbono e dos nutrientes, assim como na composição atmosférica no que diz respeito

à liberação de vapor d'água através da evapotranspiração, que propicia as chuvas que caem sobre a floresta, que em grande parte são geradas pela própria floresta.

As emissões anuais totais de CO₂ na Amazônia, derivadas do uso da terra e da mudança da manta ou camada húmífera, estão entre 150 e 200 megatoneladas de carbono (HOUGHTON *et al.*, 2000). Por outro lado, estudos sobre os ciclos do carbono e os estudos de inventário florestal (PHILLIPS *et al.*, 1998) indicam que a floresta intacta pode ser um absorvedouro de carbono em taxas que vão de 0,8 até a elevada cifra de 7 toneladas de C.ha⁻¹ anuais (MALHI *et al.*, 1998; MALHI *et al.*, 1999; ARAÚJO *et al.*, 2002; NOBRE *et al.*, 2000). Mas ainda não se sabe, em escala regional, se a floresta atua como um absorvedouro ou como uma fonte de emissão de carbono para a atmosfera (KELLER *et al.*, 1997).

Baseando-se nos resultados dos trabalhos citados, constata-se as inerentes dificuldades do estudo de ambientes florestais, devido às inúmeras variáveis ambientais envolvidas que se influenciam mutuamente seguindo um padrão natural não-linear, caracterizando-os como ambientes complexos. Portanto, pouco se sabe sobre a ascendência que teria sobre o clima global o uso da terra e a mudança da camada húmífera, bem como o impacto do desflorestamento na Amazônia. Segundo OLIVEIRA, (2004) o conhecimento das componentes envolvidas na interação entre a biosfera e a atmosfera é de extrema importância para a previsão da evolução do clima e da sustentabilidade do ecossistema como um todo e, devido a sua extensão, a Floresta Amazônica tem um importante papel no balanço global, de calor, umidade e de carbono.

Outra constatação nos permite asseverar que um melhor conhecimento da dinâmica das relações solo-planta-atmosfera da Amazônia, é ferramenta essencial para um desenvolvimento sustentável para a região, conceito de exploração econômica que não compromete a manutenção dos recursos naturais. Uma ferramenta essencial para se adquirir esse conhecimento é proporcionada pela utilização de técnicas de medição direta dos parâmetros micro-meteorológicos e dos fluxos atmosféricos de calor e massa nos ecossistemas florestais. Isso tem sido feito sistematicamente por uma rede de torres micro-meteorológicas distribuídas na região Amazônica, em busca de soluções para as questões científicas sobre a importância dos ciclos hidrológicos e de carbono na floresta tropical úmida sul-americana e às

incertezas associadas ao futuro destes ciclos. Esta rede é parte do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, (The Large Escale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia), mais conhecido por LBA, na sigla em inglês. O projeto é uma cooperação internacional liderado pelo Brasil e subordinado à Secretaria de Políticas e Programas de Ciência e Tecnologia (SEPCT) do Ministério de Ciência e Tecnologia, com o propósito de desvendar o complexo ecossistema da floresta. O experimento tem um amplo programa de coleta de dados micro meteorológicos, de medidas de fluxos de energia, CO₂ e vapor d'água através do método de covariância de vórtices turbulentos. As torres estão distribuídas em diversos tipos de clima, regime de precipitação e de cobertura vegetal, incluindo áreas de floresta e savanas alagáveis, floresta de transição (cerradão) e cerrado no Centro-Oeste. Os dados obtidos através de tais medidas, quando feitas por um período de tempo satisfatório podem fornecer bases para a validação de modelos bio-climáticos regionais e globais que acoplam os ciclos de água e carbono, em maiores escalas de tempo (BALDOCCHI & WILSON 2001).

2.1.3 – Floresta de transição ou ecótonos

Os biomas terrestres não apresentam uma interface de separação nítida entre si e sim zonas de transição, que podem interpenetrar-se ou confundir-se, denominadas ecótonos. A floresta Amazônica, maior extensão de floresta tropical permanente no mundo (FUJISAKA *et al.*, 1998), apresenta, no seu interior, vários outros tipos de florestas, tais como: matas de várzea, aluviões fluviais, mata de terra firme, igapó, caatingas do rio Negro, e algumas savanas esparsas podendo ser denominadas de Cerradão, constituindo uma zona de transição ou também denominada zona ecotonal (CECCON & MIRAMONTES, 1999).

As florestas de transição cobrem cerca de 129 mil Km² (IBGE, 1997), em sua grande parte na bacia Amazônica, e foi conceituada, como tendo uma fisionomia florestal composta de árvores mais espaçadas, com estrato arbustivo pouco denso e caracterizado pelas fanerófitas rosuladas, e pelas lianas lenhosas, com árvores perenes, de pálio alto (28-30 m, aproximadamente) e dossel fechado (VOURLITIS *et al.*, 2001), merecendo especial atenção no estado do Mato Grosso, onde forma 42%

do território, inserida numa região sujeita constantemente às ações antrópicas, o chamado arco do desmatamento, podendo sofrer modificação na sua composição e estrutura florestal e conseqüente alteração no microclima regional.

Estudos em florestas de transição possibilitam conhecer melhor esse ecossistema, em especial as trocas de massa e energia ainda pouco conhecidas e quantificadas, compreender sua influência e sua contribuição nas interações entre o clima e nas mudanças da cobertura vegetal. A compreensão do funcionamento das áreas de ecótono é fundamental para compreender os mecanismos de deslocamento dos biomas e o destino destes perante as mudanças ambientais (TANNUS, 2004).

2.2 – VARIÁVEIS MICRO-CLIMATOLÓGICAS

Variáveis micro-climatológicas como a temperatura e fluxos de energia e matéria estão sujeitas a influências mútuas e de outras variáveis que se caracterizam por periodicidades próprias. Por exemplo, todas elas são influenciadas pelo ciclo diário determinado pela rotação da Terra. Assim sendo, todas as variáveis micro-meteorológicas devem apresentar um ciclo de 24 horas ($\sim 1,16 \times 10^{-5}$ Hz). Algumas variáveis podem também ser sensíveis ao ciclo anual, ou mesmo ao efeito da translação da Lua em torno da Terra (BALDOCHI *et al.*, 2001).

Como cada variável recebe influência de diversos fatores caracterizados por diferentes períodos, o seu comportamento ao longo do tempo é bastante complexo. A complexidade do comportamento temporal dessas variáveis é, também, ampliada pela influência de fenômenos *quase periódicos*, de natureza fractal, e, ainda, de fatores estocásticos, os quais não podem ser caracterizados por períodos bem definidos (NICOLIS & PRIGOGINE, 1989).

Contudo, a determinação da componente periódica da variação temporal das variáveis micro-climatológicas é importante, pois ela está diretamente ligada a processos determinísticos relacionados às leis e fenômenos que podem ser descritos, na maioria das vezes, por expressões matemáticas. A determinação das principais frequências relacionadas às variáveis se constitui num primeiro passo para a compreensão da variabilidade temporal das mesmas (ABARBANEL *et al.*, 1993).

Tal estudo pode ser feito utilizando algumas técnicas conhecidas para a

análise de séries temporais. Dentre essas técnicas, uma das ferramentas mais empregadas é a análise de Fourier.

2.3 – ANÁLISE DE FOURIER

O matemático francês Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) descobriu que uma função periódica qualquer pode ser decomposta na soma de um número infinito de funções senoidais com diferentes frequências e amplitudes. Portanto, sendo $f(t)$ uma função periódica, de período fundamental T , temos:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot nt\right) + b_n \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot nt\right) \right]$$

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cdot \cos(\omega_0 nt) + b_n \cdot \sin(\omega_0 nt)]$$

Onde ω_0 = frequência fundamental da função $f(t)$

A expressão acima representa uma função periódica como uma série infinita de funções trigonométricas e por isso é conhecida como série trigonométrica de Fourier. As séries de Fourier podem ser calculadas pela forma trigonométrica ou pela forma complexa cuja representação, após alguma demonstração matemática, que não é escopo deste trabalho, pode ser dada por:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{i\omega_0 nt}$$

2.3.1 – Transformada de Fourier (FT)

É comum o estudo de sinais que são de natureza não periódica usando as técnicas de Fourier. Um dos métodos mais conhecidos para esta aplicação é a chamada Transformada de Fourier (FT), constituindo-se numa importante ferramenta matemática em aplicações práticas de ciência e de engenharia que permite representar, no domínio da frequência, um sinal a partir de sua representação no domínio do tempo. A Transformada de Fourier $F(\omega)$ de um sinal contínuo no tempo $f(t)$ é dada pela equação abaixo:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt$$

$F(\omega)$ constitui-se numa representação de $f(t)$ no domínio da frequência. Ela é obtida através da soma de um número infinito de exponenciais complexas de frequências diferentes. Ou seja, a transformada trabalha em princípio trasladando a função no domínio do tempo para uma função no domínio em frequência. O sinal pode então ser analisado pelo conteúdo da frequência, já que os coeficientes de Fourier da função transformada representam a contribuição de cada função seno e co-seno a cada frequência. Resolvendo a equação acima, tem-se que quanto maior for o resultado da integração, maior será a amplitude do componente em frequência correspondente. A frequência dominante contida no sinal corresponde àquela que produz o máximo valor da integral. Caso o valor da integral seja nulo para uma determinada frequência, então o sinal em análise não contém tal frequência no seu espectro.

Percebe-se que o método não define a localização das frequências no tempo. Esta característica não tem grande importância quando o sinal é do tipo estacionário. Uma transformada inversa de Fourier faria justamente o esperado, ou seja, transforma a informação no domínio em frequência para o domínio temporal.

A expressão abaixo caracteriza a chamada transformada inversa:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

2.3.2 – Transformada Discreta de Fourier (DFT)

Geralmente, a denominação Transformada de Fourier refere-se à transformada de Fourier para funções contínuas, mas existem sinais que não representam sinais contínuos no tempo, mas sim amostras do sinal (esse sinal é limitado no tempo, ou seja, é um sinal finito). Essas amostras podem ser definidas como sinais discretos ou sinais amostrados. Para se determinar a transformada de Fourier $F(\omega)$ de sinais amostrados e limitados no tempo, utiliza-se a transformada discreta de Fourier (DFT), que está diretamente associada ao processamento digital de sinais, pois existem algoritmos capazes de computá-la com grande eficiência.

Transformada de Fourier para sinais unidimensionais discretos:

$$F(\omega) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f(n) e^{\frac{-i2\pi\omega n}{N}}$$

Transformada Inversa de Fourier para sinais unidimensionais discretos:

$$f(n) = \frac{1}{N} \sum_{N=0}^{N-1} F(\omega) e^{\frac{i2\pi\omega n}{N}}$$

2.3.3 – Transformada Rápida de Fourier (FFT)

Uma variante da análise de Fourier bastante utilizada nas Ciências Ambientais é a “Transformada Rápida de Fourier” (Fast Fourier Transform, ou, simplesmente, FFT), que consiste num eficiente algoritmo da transformada discreta de Fourier dotada de uma rapidez não usual, tirando partido da estrutura repetitiva do cálculo. O desenvolvimento da FFT, nos anos 1960, proporcionou uma ferramenta usada em diversas atividades das engenharias civil, mecânica e elétrica, na química, física, tecnologia médica, astronomia e telecomunicações. A FFT é particularmente útil para analisar sistemas lineares, onde a análise é mais fácil no domínio da frequência do que no domínio original dos dados, em geral o tempo.

Os cálculos das equações apresentadas no item anterior exigem um alto esforço computacional. A computação da DFT para N pontos de amostragem de entrada, requer N^2 multiplicações complexas e $N^2 - N$ adições complexas, para obtermos N amostras no domínio da frequência. Este número de multiplicações e adições faz com que aplicações da DFT em tempo real sejam inviáveis. A Transformada Rápida de Fourier (FFT) é um algoritmo rápido para se implementar eficientemente a DFT, onde um número N de amostras do sinal de entrada são transformados em N pontos de frequência. O esforço computacional requerido é de $1/2 \log_2 N$ multiplicações e $\log_2 N$ adições. Então, para um sinal unidimensional de 512 amostras, por exemplo, a quantidade de cálculos efetuados, utilizando-se a transformada de Fourier convencional sobre essas amostras, é de $512 \cdot 512$, totalizando 262.144 cálculos. No entanto, através da utilização da FFT, a ordem de complexidade dos cálculos cai para $512 \cdot \log_2 512$, totalizando 4.608 cálculos. Este bom desempenho deriva-se do fato de o algoritmo da FFT reutilizar cálculos anteriores em outros pontos do sinal.

A FFT permite a geração de um espectro de frequências, conhecido pelo nome de “espectro de potências” (*power spectrum*), que consiste num gráfico, em escala logarítmica, dos módulos elevados ao quadrado dos coeficientes (amplitudes) das exponenciais imaginárias em função da frequência. A identificação de picos nesse gráfico permite a determinação de quais períodos são mais importantes dentro da variabilidade temporal total de uma determinada grandeza.

2.4 - ESPECTRO DE POTÊNCIAS

O espectro de potências é uma ferramenta largamente empregada nas ciências ambientais e intensamente utilizada desde a década de 80 BALDOCCHI, *et al.*, (2001), embora, para os ecossistemas brasileiros, ainda muito pouco esteja disponível na literatura. Um dos trabalhos pioneiros na proposição da utilização do espectro de potências no estudo de ecossistemas foi o de PLATT & DENMAN (1975). Segundo esses autores a mecânica estatística não-linear se apresenta como um novo paradigma na compreensão de sistemas complexos, especificamente no que se refere ao desenvolvimento de expressões matemáticas que podem se constituir numa aproximação satisfatória dos processos envolvidos na dinâmica dos ecossistemas. Ainda segundo esses autores, uma das principais características dos ecossistemas é a apresentação de periodicidades, mesmo quando as condições de contorno não são periódicas (PLATT & DENMAN, 1975). Para a investigação dos principais períodos relacionados ao comportamento temporal das variáveis envolvidas, os autores sugerem a utilização do método do espectro de potências.

Através do espectro de potências, pesquisadores vêm identificando as principais frequências relacionadas a dados micro-meteorológicos em diversos ecossistemas. Por exemplo, BALDOCCHI *et al.* (2001) identificaram, tomando-se dados da floresta temperada da reserva americana de Oak Ridge, como períodos dominantes intra-diários para a radiação incidente, temperatura, fluxo de carbono e fluxo de calor latente, os períodos de 24 e 12 horas, sendo que o fluxo de carbono apresenta alguns picos menos pronunciados para períodos menores (entre 1 e 5 horas). Já o espectro da velocidade do vento se apresenta menos coerente, com uma grande quantidade de picos.

O espectro de potências também exerceu um papel fundamental na teoria e prática da utilização do método da covariância de vórtices turbulentos (Eddy Covariance) para a determinação de fluxos de matéria e energia em ecossistemas (TONG & HIPPS, 1996). Através do espectro de potências, foi possível aos ecologistas estabelecerem a melhor frequência de coleta de dados brutos (em geral se utiliza 10 Hz) e para as médias móveis (entre 200 e 800 s).

O método se constitui, ainda, num importante instrumento na modelagem de processos micro-meteorológicos. Em particular, tem sido utilizado na modelagem de trocas líquidas de CO₂ entre a biosfera e atmosfera (GRIFFS & ROUSE, 2001). No que diz respeito ao estudo de fluxos de CO₂, contudo, o método tem sido considerado de importância fundamental para a compreensão de um modo geral dessa variável micro-meteorológica, cujo comportamento é relativamente complexo, mas que tem merecido central atenção da comunidade científica devido à questão das mudanças climáticas globais (HOLLINGER *et al.*, 2004).

O método do espectro de potências tem como principal base matemática a representação de uma função por uma série de Fourier. A função faria o papel do conjunto de dados experimentais, dispostos em função do tempo, de uma dada variável micro-climatológica, ou seja, uma série temporal {f_k}. A representação desse conjunto de dados com uma série de Fourier pode ser assim expressa:

$$f_k = A_0 + \sum_{n=1}^N A_n e^{\frac{-2\pi i k n}{N}}$$

Onde f_k representa o valor de uma variável tomado no k-ésimo instante de tempo e N é o número total de dados. A_n são coeficientes relacionados a frequências específicas.

O valor de cada frequência é dado por $\frac{n}{\Delta t}$, onde Δt é o intervalo de tempo correspondente à largura da série de dados utilizada na análise. Quanto maior for o valor relativo de A_n para um dado n, mais importante será a frequência $\frac{n}{\Delta t}$ para caracterizar o comportamento daquela variável.

Os valores de A_n podem ser calculados por:

$$A_n = \sum_{k=1}^N f_k e^{\frac{2\pi i k n}{N}}$$

E o espectro de potências, S_n , por:

$$S_n = |A_n|^2$$

S_n representa a intensidade da componente cuja frequência é $n/\Delta t$ no comportamento total de uma determinada variável.

Contudo, o cálculo dos valores de S_n não é tão simples. Algumas correções devem ser acrescentadas uma vez que o erro relacionado a S_n aumenta com valor de n , de tal forma que, para n tendendo a infinito, o erro se aproxima de 100% (PLATT & DENMAN, 1975). Contudo, é possível reduzir o erro de forma a não crescer com n dividindo-se os dados em sub-intervalos, calculando-se S_n para cada sub-intervalo, e, então, fazendo-se uma média dos valores calculados. Isso evita que o número de termos da somatória seja muito grande quando se calcula um valor de S_n (PLATT & DENMAN, 1975).

Neste trabalho, adaptou-se um algoritmo computacional escrito em linguagem C para o cálculo dos espectros de potência. O programa, powsp.exe, foi adaptado e compilado pelo Grupo de Pesquisa em Física Ambiental da UFMT.

Este é o primeiro trabalho que se propõe a calcular o espectro de potências a partir de dados micro-meteorológicos coletados na torre de Sinop, norte do estado de Mato Grosso (11° 24' 43,4" S; 55°19'25,7"O). Espera-se identificar as principais frequências relacionadas a essas variáveis e, a partir de então, contribuir para melhorar a compreensão sobre as mesmas.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - ÁREA DE ESTUDO – LOCALIZAÇÃO

Os dados micro-climatológicos utilizados neste trabalho foram coletados no município de Sinop, distante aproximadamente 560 Km de Cuiabá, capital o estado de Mato Grosso, Brasil (Figura 3), em uma área de floresta semi-decídua, de transição climática entre a floresta tropical da bacia amazônica central e a savana tropical da Amazônia oriental , pertencente à fazenda Maracaí, localizada a 50Km a nordeste da cidade, onde encontra-se instalada uma torre de ferro galvanizado com 42m de altura e seção horizontal de 2,0m x 2,0m (Figura 4 e Figura 5), nas coordenadas geográficas (latitude 11° 24' 43,4" S, longitude 55°19'25,7" O e altitude 423m) (Figura 6), equipada com instrumentos de monitoramento, medição e coleta de dados micro-climatológicos, dispostos em diferentes alturas ao longo da torre, pertencentes ao projeto Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) e, coordenados pelo Grupo de Pesquisa de Física e Meio Ambiente da Universidade Federal de Mato Grosso– UFMT.

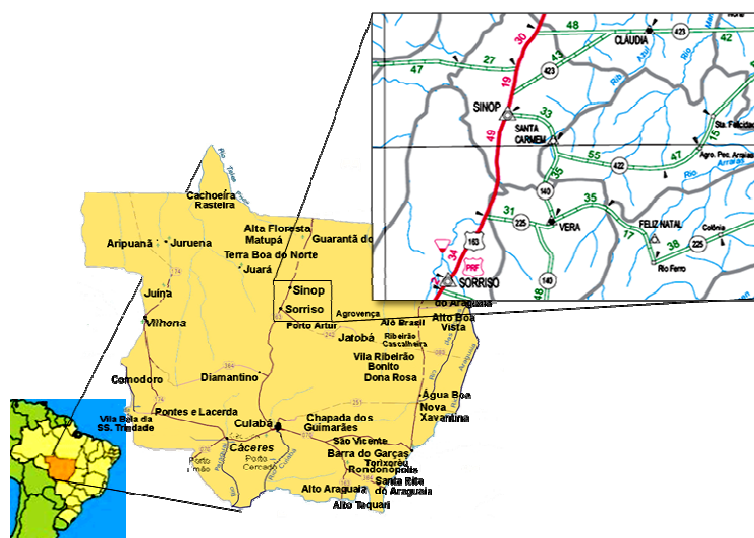


Figura 3: Mapa do local de estudo

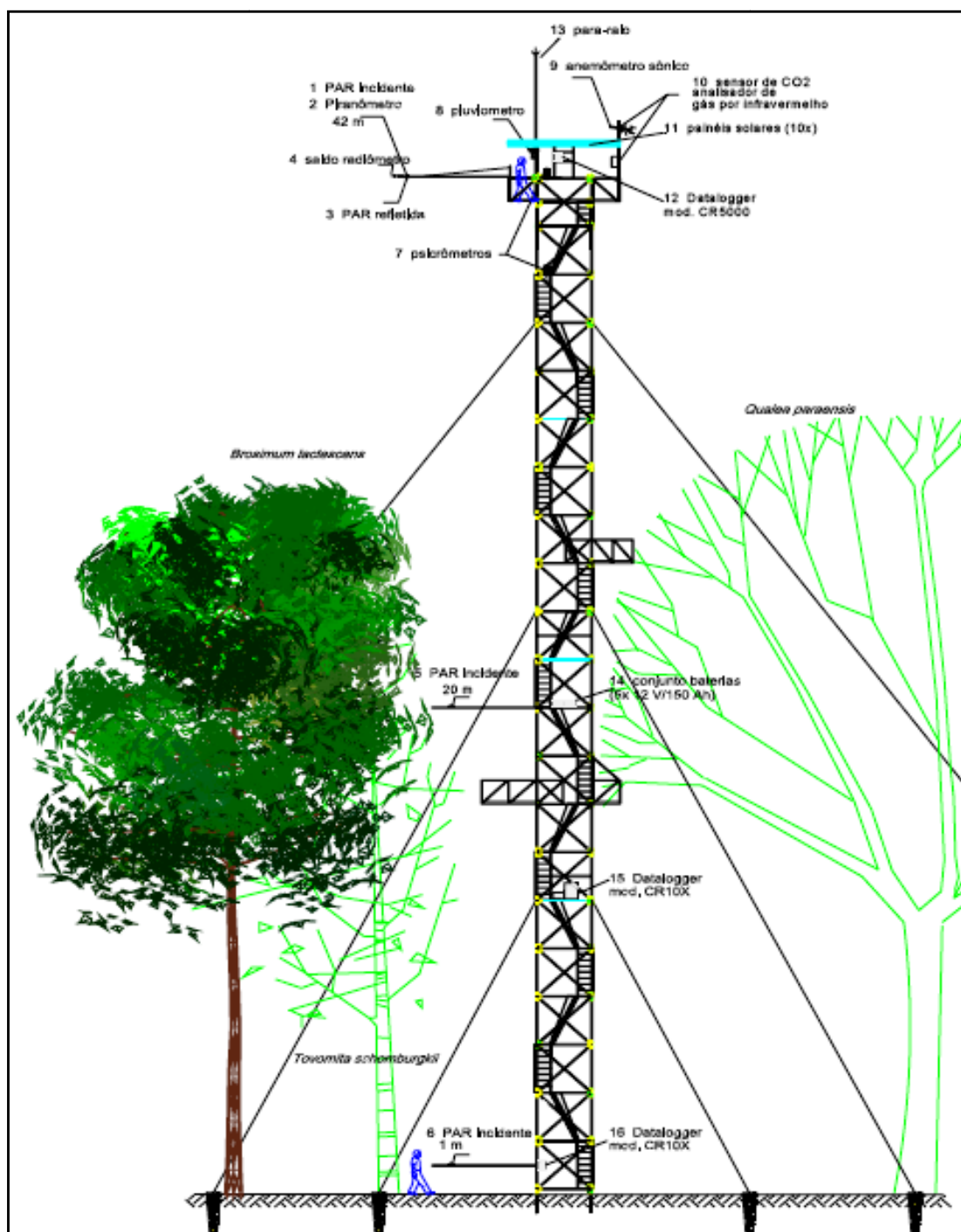


Figura 4: Desenho esquemático da torre equipada com instrumentos de monitoramento, medição e coleta de dados micro-meteorológicos, instalada no local do estudo.



Figura 5: Foto da torre.

Fonte: www.mct.gov.br/index.php/content/view/44038.html

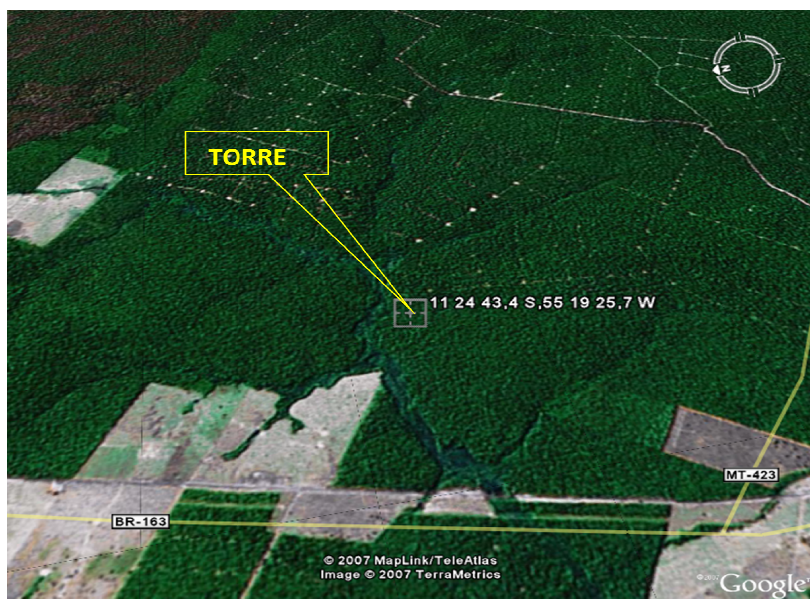


Figura 6: Localização da torre.

Fonte: Google Earth

3.2 - ÁREA DE ESTUDO – CARACTERIZAÇÃO GEOCLIMÁTICA

A área de estudo é constituída por uma floresta tropical úmida, típica floresta da região amazônica, localizada no ecótono com o cerrado, caracterizando então, uma região de transição entre dois dos maiores ecossistemas presentes na América do Sul (Figura 7).

A torre está instalada em área de floresta plana, com dossel apresentando certa regularidade, composto de árvores com altura entre 28 e 30m. As espécies mais abundantes no local são *Tomovita sp*, *Brosimum sp*, *Casearia sp*, *Qualea sp*, *Vochysia sp*, *Ocotea spixiana*, *Dinizia excelsa*, *Quina pteridophilla*, *Mezilaurus itauba*. (VOURLITIS *et al.*, 2002).

O solo da floresta estudada é arenoso, permeável, classificado como neossolo, quartzarênico, órtico do tipo A moderado e álico, assim estruturado: na profundidade de 50 cm, 83,4% corresponde à areia, 4,4% silte e 12,2% argila. É ácido, pH 4,2 a 2,5 cm de profundidade e com 2,05% de teor de CO₂ igualmente a 2,5 cm de profundidade (ALMEIDA, 2005).

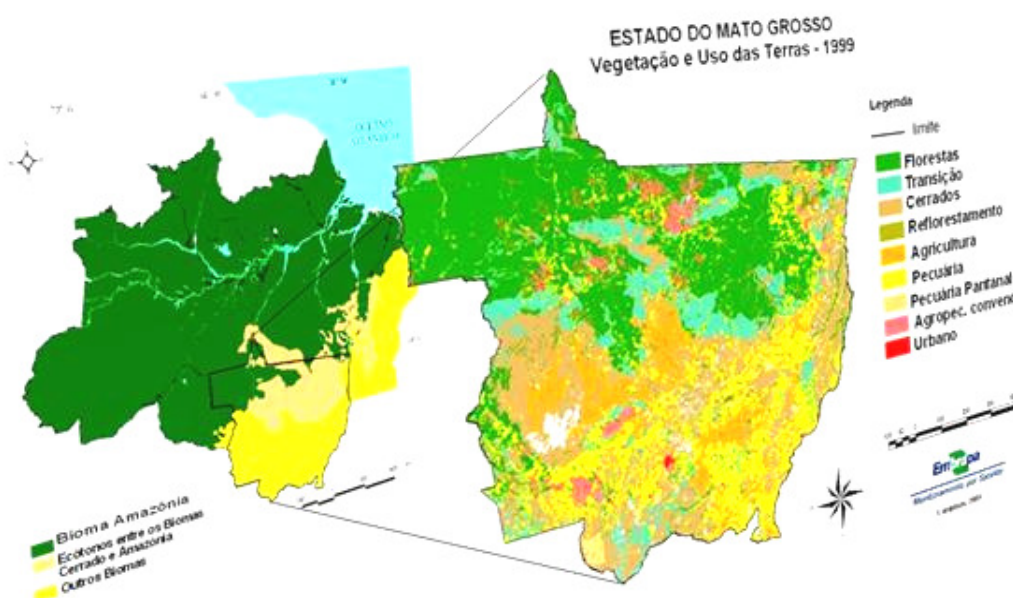


Figura 7: Ecossistemas da Amazônia /Vegetação e usos do solo em Mato Grosso.Fonte: EMBRAPA

Esta região, centro-norte do Estado, possui clima tropical chuvoso, quente e úmido (Aw na classificação climática de Köppen-Geiger), sendo uma transição entre o clima equatorial úmido da Amazônia e o tropical sazonal do Cerrado, apresentando uma média de precipitação anual, nas medições para o período de 2000 a 2006, de 2000 mm (Tabela 1). Caracteriza-se pela presença de estações bem definidas, sendo uma estação seca: de Junho a Agosto, uma estação úmida: de Dezembro a Março e duas estações de transição, a saber: úmida-seca, de Março a Maio e seca-úmida de Setembro a Novembro. Normalmente, a floresta de transição recebe cerca de 200 mm de chuva a menos por ano que a floresta tropical e 500 mm a mais do que o cerrado (VOURLITIS *et al.*, 2002). Caracteriza-se também, pela pequena amplitude térmica anual, e por temperaturas e umidades elevadas, com médias anuais oscilando entre 24°C e 27°C, (média histórica dos últimos 30 anos) sendo os meses de setembro e outubro os mais quentes com temperaturas máximas ao redor de 36°C.

Tabela 1: Precipitação pluviométrica mensal e anual para a área do estudo (em mm)

ANO MÊS	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
JAN	359	366	388	600	462	330	264
FEV	388	165	334	271	453	244	284
MAR	434	255	326	382	135	575	256
ABR	143	0	23	276	138	134	181
MAI	0	0	0	70	0	13	0
JUN	0	0	0	0	0	0	0
JUL	0	0	0	0	0	0	0
AGO	0	5	0	0	0	0	0
SET	90	177	62	25	16,7	75	104
OUT	82	189	172	273	127	172	381
NOV	253	365	218	382	408	175	176
DEZ	250	484	338	365	415	535	394
TOTAL	2645	2006	1861	2645	2154,7	2253	2040

3.3 - INSTRUMENTOS DE MONITORAMENTO, MEDIÇÃO E ARMAZENAMENTO DE DADOS MICRO-METEOROLÓGICOS

A quantificação por longos períodos de tempo dos fluxos de energia, água e carbono tanto em ecossistemas naturais quanto em sistemas manejados pode ser feita através de medidas diretas dos fluxos de calor, vapor de água e CO_2 com a utilização de técnicas micro-meteorológicas, como covariância de vórtices turbulentos (MIRANDA *et al.* 1997; ROCHA *et al.* 2002). Esta técnica micro-meteorológica quantifica a troca entre superfície vegetada e atmosfera da massa e energia diretamente, medindo o transporte turbulento de dióxido de carbono (CO_2), vapor d'água e calor. Passou a ser amplamente utilizada a partir da década de 1990, com o desenvolvimento de instrumentos de medida mais confiáveis e ferramentas computacionais de cálculo e armazenamento mais robustos para as condições de campo.

O sistema de Correlação de Vórtices Turbulentos (Eddy Covariance) consiste de quatro elementos básicos: um anemômetro-termômetro sônico tridimensional, um analisador infravermelho de gases $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ em circuito aberto (IRGA), um conversor/controlador analógico-digital, também conhecido como Data Packer e um computador portátil para aquisição e processamento dos dados. (Figura 8)

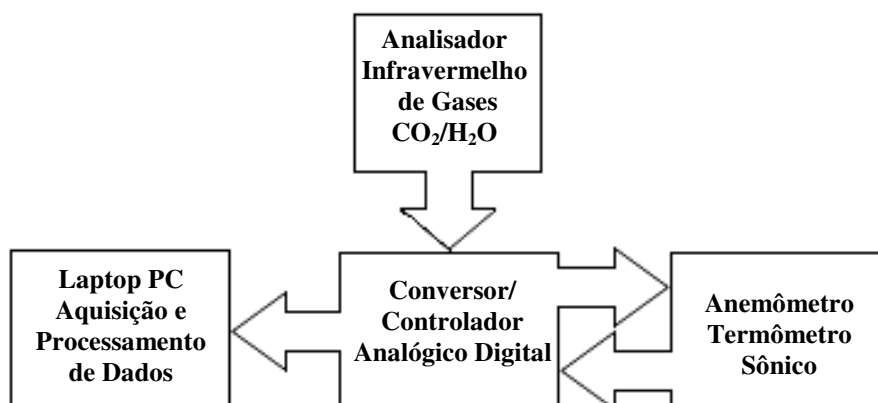


Figura 8: Representação esquemática do sistema de Correlação de Vórtices Turbulentos (Eddy Covariance). Fonte: (Vourlitis, 2004)

Os dados das variáveis micro-metereológicas utilizadas neste estudo foram obtidos a partir da utilização do método de Covariância de Vórtices Turbulentos ou “*Eddy Covariance*”, ou seja, o Fluxo de Calor Latente (LE), o Fluxo de Calor Sensível (H) e a Temperatura (T), foram medidos e coletados a partir de sensores instalados no alto da torre já anteriormente descrita, medindo as quantidades emitidas ou absorvidas de dióxido de carbono (CO₂) e o transporte turbulento de vapor d’água e calor.

Para as medidas de fluxo, de acordo com esse método os sensores são colocados de 12 a 14 m acima do dossel da floresta, denominada camada limite, que é a região na qual ocorrem os processos de trocas de energia e massa entre a vegetação e a atmosfera.

Até março de 2005 o sistema de correlação de vórtices turbulentos era composto por um anemômetro-termômetro sônico tridimensional (SWS-211/3K; Tecnologias aplicadas Inc., Boulder, Colorado, E.U.A.) e um analisador de gás infravermelho de caminho aberto (NOAA-ATDD, Cume de Carvalho, Tennessee, E.U.A.) (Figura 9), registrando, em frequência de pelo menos 10 Hz, a velocidade do vento, quantificadas por meio de ultra-som, em três componentes perpendiculares u , v , w (duas horizontais e uma vertical), temperatura do ar e concentração de vapor de água e de CO₂ no ar. Segundo MONCRIEFF *et al.*(1997), estas medidas feitas em alta frequência possibilitam o cálculo dos fluxos líquidos de calor sensível, calor latente (através das taxas de evapotranspiração) e de dióxido de carbono em escala de ecossistema.



Figura 9: Anemômetro-termômetro sônico tridimensional (SWS-211/3K; Tecnologias aplicadas Inc., Boulder, Colorado, E.U.A. e Analisador de gás infravermelho de caminho aberto (NOAA-ATDD, Cume de Carvalho, Tennessee, E.U.A.)

Esse sistema de aquisição de dados, composto pelas etapas de medição, processamento, armazenamento, recuperação desses dados e geração de planilhas eletrônicas, conta com um Datalogger (CR 10X, Campbell Scientific. Inc., Ogden, Utah, EUA) (Figura 10). Trata-se de um módulo metálico compacto e de grande robustez, mecânica e elétrica, ideais para as condições de campo, que interpreta sinais elétricos que os sensores produzem na entrada, convertendo-os em unidades de medidas e armazenando em seu módulo de memória. O sistema de aquisição de dados conta ainda com um laptop, o Palmtop PC Hewlett Packard 200 LX (Figura 11), coletando os dados micro-meteorológicos em intervalos de 0,1 s e calculando os fluxos de CO₂, calor sensível e calor latente, através de médias móveis de 200 s, utilizando o método de vórtices turbulentos, e posteriormente calculando médias a cada 30 min.

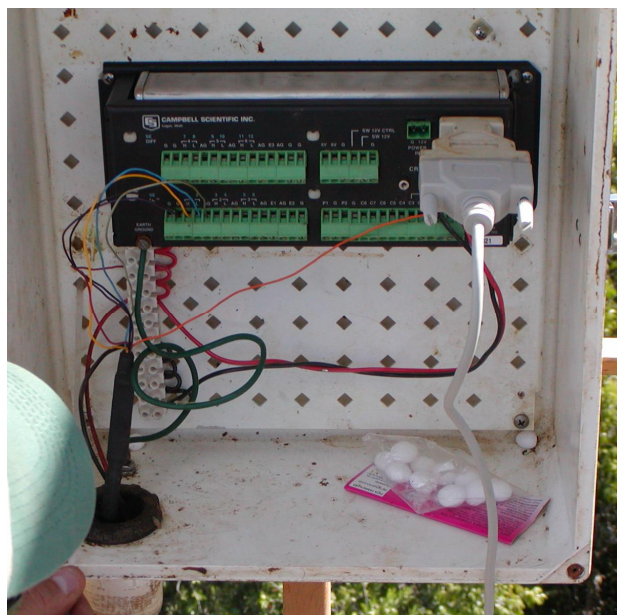


Figura 10: Datalogger Campbell CR 10X



Figura 11: Palmtop PC Hewlett Packard 200 LX com fonte de energia

A partir de março de 2005 o sistema de correlação de vórtices turbulentos foi incrementado com a instalação do anemômetro sônico CSAT3 3-D Anemometer Sonic, Campbell, USA, (Figura 12) e um novo Datalogger, o CR5000 Campbell, USA (Figura 13), dispensando a utilização de um computador portátil. Com os dados gerados criam-se planilhas do software Microsoft Excel, onde são analisados. (Figura 14)



Figura 12:CSAT3 3-D Sonic Anemometer



Figura 13: Datalogger CR5000

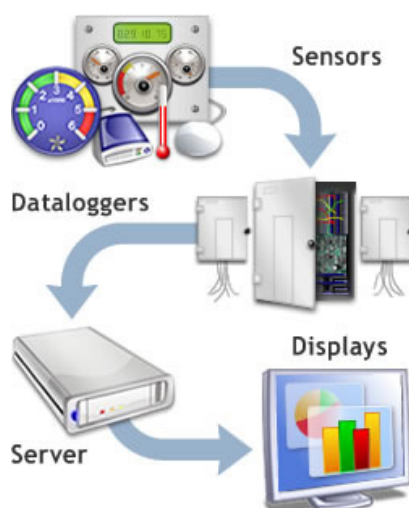


Figura 14: Representação esquemática das relações entre os equipamentos em uso.

3.4 - METODOLOGIA

Os equipamentos instalados na torre micro-meteorológica estão funcionando continuamente durante o dia todo, coletando os dados em intervalos de 0,1 segundos e as medidas são registradas a cada 30 minutos em forma de média, com isso podemos obter os dados da variação diária, mensal e anual de todas as medidas, utilizando uma ferramenta essencial para o conhecimento da dinâmica das relações solo-planta-atmosfera da área de estudo, ou seja, medição direta dos parâmetros micro-meteorológicos e dos fluxos atmosféricos de calor e massa pelo método de covariância turbulenta.

	A	B	C	D
1	TOA5	Sinop	CR5000	1472,0000
2	TIMESTAMP	Fc_irga	LE_irga	Hs
3	TS	umol/(m^2	W/m^2	W/m^2
4		Smp	Smp	Smp
5	15/9/2005 11:00	-8,8728	227,4940	157,6500
6	15/9/2005 11:30	-20,9276	284,9200	235,3050
7	15/9/2005 12:00	-21,2600	325,7250	206,5450
8	15/9/2005 12:30	-16,2362	321,7620	229,5240
9	15/9/2005 13:00	-17,7399	358,2375	222,8950
10	15/9/2005 13:30	-19,2435	394,7130	216,2660
11	15/9/2005 14:00	-11,0394	352,2250	154,7020
12	15/9/2005 14:30	-11,3607	314,6790	130,4790
13	15/9/2005 15:00	-8,2582	205,2650	80,7023
14	15/9/2005 15:30	-5,5246	158,0910	44,1372
15	15/9/2005 16:00	-3,6245	55,4150	17,2248
16	15/9/2005 16:30	-3,1747	98,4099	5,5224
17	15/9/2005 17:00	-0,2158	36,8869	-13,5647
18	15/9/2005 17:30	0,2072	3,4385	-5,3751
19	15/9/2005 18:00	2,3556	64,9062	-30,5971
20	15/9/2005 18:30	1,4870	33,3426	-16,5876
21	15/9/2005 19:00	0,6184	1,7790	-2,5781
22	15/9/2005 19:30	1,4278	-2,4177	1,0817
23	15/9/2005 20:00	0,5889	6,7986	0,8502
24	15/9/2005 20:30	7,9564	17,1019	-10,6525
25	15/9/2005 21:00	1,6740	7,6049	-1,2972
26	15/9/2005 21:30	-0,1196	-1,5142	-0,5208

Figura 15: Tratamento de dados, apresentados em planilha do software Microsoft Excel, do fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE), em setembro de 2005.

Foram utilizados no desenvolvimento deste estudo, as variáveis, Temperatura (T), Fluxo de Calor Latente (LE) e Fluxo de Calor Sensível (H) por apresentarem, segundo estudos anteriores, comportamento mais regular que o fluxo de CO₂ e velocidade do vento, portanto com frequências dominantes mais bem

definidas. Posteriormente, colocados em planilhas do software Microsoft Excel (Figura 15), esses dados caracterizam as séries temporais associadas a cada variável.

Para melhor visualização dos dados das variáveis envolvidas no estudo, criou-se uma nova planilha Excel, organizando-se esses dados que correspondem às médias registradas a cada 30 minutos, ou seja, 48 dados a cada 24 horas, colocando-os em colunas lado a lado, associados à hora e data juliana do registro.(Figura 16).

	A	B	C	D	E
1	Julian Day	Time	LE	H	T
2			(W/m ²)	(W/m ²)	(°C)
3	147	1630	95,29045	-4,53280	28,18792
4	147	1700	-1,46640	-0,92695	27,72327
5	147	1730	-1,10363	1,67189	26,73144
6	147	1800	11,00300	-2,67651	24,84585
7	147	1830	11,50994	-4,22946	23,26063
8	147	1900	-1,14838	0,80345	22,35462
9	147	1930	4,87197	3,23874	21,59940
10	147	2000	0,40140	-0,99280	21,27574
11	147	2030	0,37100	0,94147	20,19440
12	147	2100	-3,45216	-0,10545	20,13188
13	147	2130	1,26099	-2,98913	20,07058
14	147	2200	3,01921	1,51965	19,75304
15	147	2230	-10,87481	12,58083	18,70604
16	147	2300	6,04398	-4,88227	17,72769
17	147	2330	8,75999	-7,80535	17,38932
18	148	0	4,06728	-3,85580	18,17396
19	148	30	2,81004	-4,05656	17,99496
20	148	100	-5,38153	2,18412	17,40280
21	148	130	1,99450	-1,01977	17,21400
22	148	200	-0,50458	8,75351	16,34844
23	148	230	0,09221	4,99433	15,61897
24	148	300	-3,88703	8,49327	14,98636
25	148	330	-4,35925	-10,26921	15,28550
26	148	400	0,82284	-2,84925	15,54051

Figura 16: Organização das séries temporais das variáveis em estudo em uma planilha Excel, evidenciando a data do registro em dias julianos.

As séries históricas foram então organizadas com o máximo de valores em sequência possível, sem falhas, condição para o processamento dos dados pelo programa computacional “powsp.exe”, que gera espectros de frequências, conhecido pelo nome de “espectro de potências” (*power spectrum*), que nada mais são que gráficos que permitem determinar, através da identificação de seus picos, quais períodos, dentro da variação temporal do parâmetro, são mais importantes. Obviamente, as dificuldades em condições de campo e de manutenção do equipamento, geram falhas na medição e/ou armazenamento dos dados, produzindo

descontinuidade, limitando o número de dados das séries. Estas falhas ou ausência de dados podem ser de algumas horas ou de vários dias, impossibilitando, por exemplo, que nos anos 2000 e 2004 fosse obtida alguma série contínua de dados para estudo das variáveis escolhidas.

Um recurso para minimizar esse problema, foi lançar mão de uma média entre o dado registrado no horário antecessor e o dado registrado no horário posterior à lacuna encontrada (Figura 17). Naturalmente, este expediente é aceitável quando não há uma grande falha no registro dos dados.

C5038		fx =MÉDIA(C5037;C5039)			
	A	B	C	D	E
5027	348	400	2,78161	-2,74565	21,49519
5028	348	430	20,97095	-4,87632	21,32355
5029	348	500	17,43942	-6,02988	21,08203
5030	348	530	1,52077	-1,73291	20,91774
5031	348	600	19,30377	-5,12288	20,70074
5032	348	630	14,45284	-3,01897	20,54749
5033	348	700	30,08561	-3,09531	20,57937
5034	348	730	78,73799	-0,85926	20,91774
5035	348	800	53,68523	4,14876	21,17520
5036	348	830	77,90413	7,83772	21,48293
5037	348	900	204,66355	36,61650	22,22956
5038	348	930	314,08701	67,42301	23,20301
5039	348	1000	423,51048	98,22953	24,17645
5040	348	1030	596,26060	185,30619	25,09718
5041	348	1100	385,74507	103,48335	26,08288
5042	348	1130	410,21613	70,70841	26,63581
5043	348	1200	515,24703	105,32981	26,91043
5044	348	1230	427,12407	52,74563	27,08820
5045	348	1300	383,78892	79,43623	27,08698
5046	348	1330	457,69279	73,79650	27,59209
5047	348	1400	329,27333	9,31792	27,73308
5048	348	1430	165,09323	3,59894	27,62519
5049	348	1500	90,47812	-2,75416	26,81235
5050	348	1530	51,85080	-10,67247	24,99542
5051	348	1600	195,38905	-11,56376	23,72528
5052	348	1630	-132,25889	-0,87095	23,64805

Figura 17: Exemplo do recurso da média feita com dados antecessor e posterior para preenchimento de lacunas nas séries temporais.

Observou-se que as séries de dados de temperatura T (°C) são mais consistentes, apresentando menos falhas, mas muitos trechos de dados foram desprezados em prol de uma harmonização com os dados das outras variáveis, ou seja, a obtenção de três séries com o mesmo registro de data e hora de coleta para todos os dados, providência essencial para a análise dos gráficos gerados pelo programa “*power spectra*”.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os gráficos gerados ao se submeter as séries escolhidas ao processamento do programa “power spectra”, os chamados “espectros de potências”, que são representações, em escala logarítmica, dos módulos elevados ao quadrado dos coeficientes (amplitudes) das exponenciais imaginárias em função da frequência. Conforme já dito, a identificação de picos nesses gráficos permite a determinação de quais períodos são mais importantes dentro da variabilidade temporal total da grandeza em estudo. Convém salientar que estes gráficos comumente são apresentados com formatação dos eixos *log x log*, mas, neste trabalho foram obtidos melhores resultados com a formatação logarítmica somente para o eixo das ordenadas, relativo à grandeza S_n , sendo que o eixo das abscissas, que mostra as frequências em hertz (Hz), permaneceu no formato decimal.

No título dos gráficos, os três últimos dígitos correspondem ao número de intervalos que foi submetida a série temporal quando do seu processamento pelo programa “power spectra” (POWSP), sendo que o programa requer que o número de pontos de dados nos domínios original e da transformada seja uma potência inteira de 2, como 64, 128, 256, 512, 1024 e assim por diante. Esta escolha é feita por experimentação, analisando os resultados gráficos obtidos com as diversas opções de intervalos. Destas opções, o gráfico que apresentar picos de frequência mais bem definidos, mais salientes, por motivos óbvios, é escolhido.

As frequências foram anotadas no corpo do gráfico, com uma inclinação de 60° em relação ao eixo das abscissas, na forma de número científico (potências de 10), logo acima dos picos correspondentes. Para uma melhor visualização das frequências dominantes, todos os valores de frequências foram transcritos para uma tabela do software Microsoft Excel, previamente programado para o cálculo dos períodos correspondentes em segundos (s) minutos (min) e horas (h), para as três

variáveis em estudo, que é apresentada logo abaixo dos gráficos. Nestas tabelas são mais facilmente observados, principalmente na coluna do período em horas τ (h), valores comuns às três variáveis, notadamente nos períodos de 24 e 12 horas, evidenciando a influência da alternância entre dias e noites, caracterizada pela variação da insolação. Observa-se também, que muitas vezes, essa condição contempla apenas duas das variáveis, principalmente os fluxos de calor sensível (H) e calor latente (LE), sugerindo um maior comprometimento entre elas quanto à influência de fatores externos, ou mesmo influência mútua.

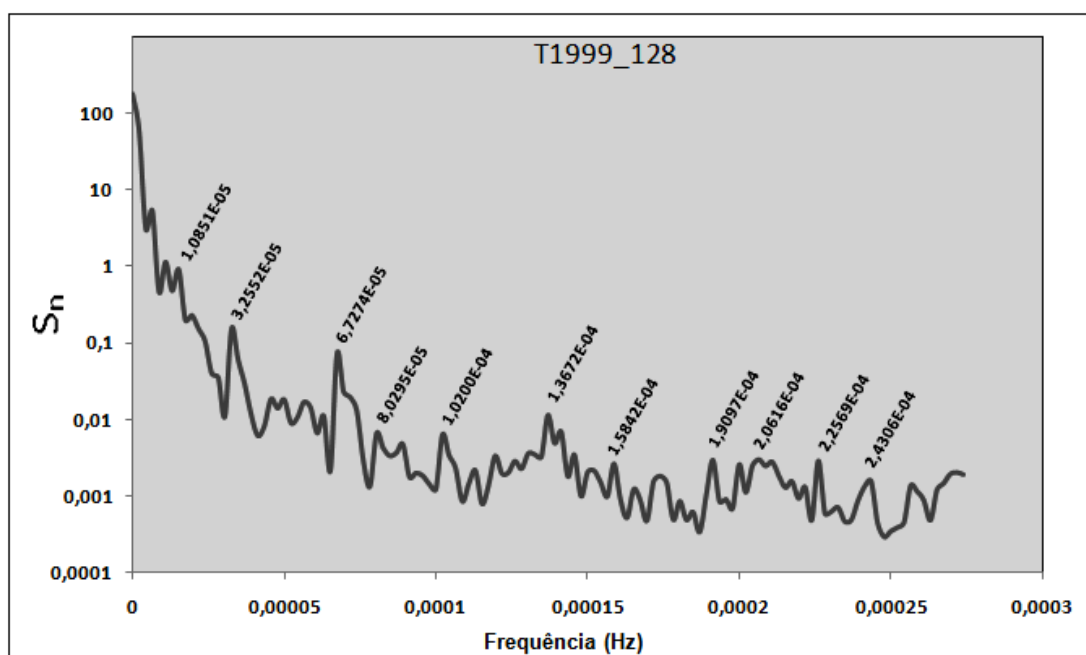


Figura 18: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T (°C), compreendida entre os dias 289 (00h00min) e 307 (23h30min) do ano 1999.

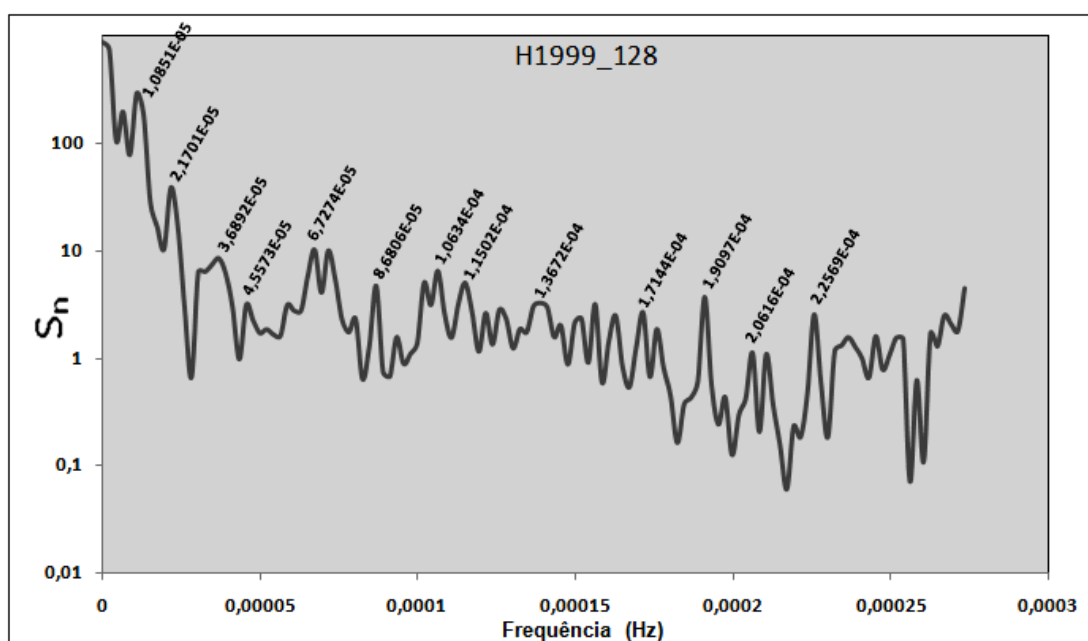


Figura 19: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m^2), compreendida entre os dias 289 (00h00min) e 307 (23h30min) do ano 1999.

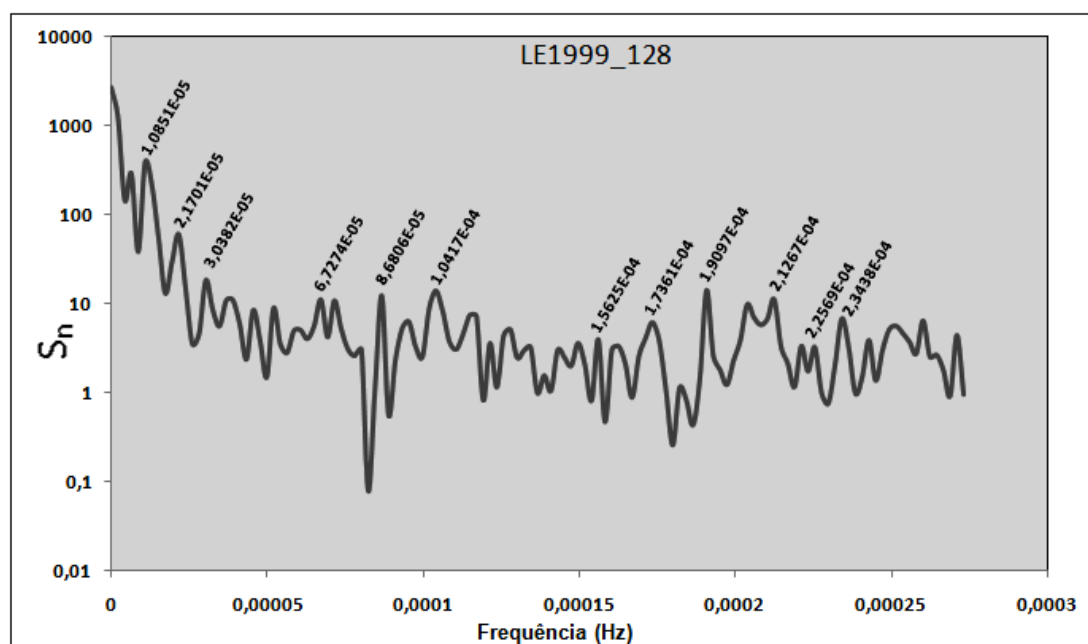


Figura 20: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente **LE** (W/m^2), compreendida entre os dias 289 (00h00min) e 307 (23h30min) do ano 1999.

Nas figuras 18, 19 e 20 são apresentados os espectros de potência das variáveis em estudo, obtidos a partir das respectivas séries temporais de cada variável, constituídas de 912 dados coletados entre os dias julianos 289 às 00h e 307 às 23h30min do ano 1999, que delimitam um período chuvoso do ano (outubro/novembro).

O critério adotado para a identificação de picos é a observação de valores mais pronunciados de S_n , separados por vales como, por exemplo, aquele correspondente à frequência de $3,25 \cdot 10^{-5}$ Hz na figura 18. A presença de dois picos muito próximos, como aqueles juntos a $6,727 \cdot 10^{-5}$ Hz na figura 19, foram identificados como uma única frequência dominante. O critério não é de todo objetivo, visto que, em alguns casos não fica claro que o máximo local é ou não um pico. Contudo, utilizando-se tal critério pode-se observar, nas figuras 18 e 20 que as frequências correspondentes aos picos são semelhantes, o que é um indício de que as variáveis estudadas estão acopladas entre si e/ou têm dependência semelhante com relação a outras variáveis.

Tabela 2: Frequências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 289 (00h00min) e 307 (23h30min) do ano 1999.

	f (Hz)	τ (s)	τ (min)	τ (h)
T1999_128	1,0851E-05	92159,95	1536,00	25,60
	3,2552E-05	30719,98	512,00	8,53
	6,7274E-05	14864,52	247,74	4,13
	8,0295E-05	12454,06	207,57	3,46
	1,0200E-04	9804,21	163,40	2,72
	1,3672E-04	7314,27	121,90	2,03
	1,5842E-04	6312,33	105,21	1,75
	1,9097E-04	5236,37	87,27	1,45
	2,0616E-04	4850,53	80,84	1,35
	2,2569E-04	4430,78	73,85	1,23
	2,4306E-04	4114,28	68,57	1,14
H1999_128	1,0851E-05	92159,95	1536,00	25,60
	2,1701E-05	46079,98	768,00	12,80
	3,6892E-05	27105,85	451,76	7,53
	4,5573E-05	21942,87	365,71	6,10
	6,7274E-05	14864,52	247,74	4,13
	8,6806E-05	11519,99	192,00	3,20
	1,0634E-04	9404,06	156,73	2,61
	1,1502E-04	8694,37	144,91	2,42
	1,3672E-04	7314,27	121,90	2,03
	1,7144E-04	5832,91	97,22	1,62
	1,9097E-04	5236,37	87,27	1,45
	2,0616E-04	4850,53	80,84	1,35
	2,2569E-04	4430,78	73,85	1,23
LE1999_128	1,0851E-05	92159,95	1536,00	25,60
	2,1701E-05	46079,98	768,00	12,80
	3,0382E-05	32914,33	548,57	9,14
	6,7274E-05	14864,52	247,74	4,13
	8,6806E-05	11519,99	192,00	3,20
	1,0417E-04	9599,97	160,00	2,67
	1,7361E-04	5760,00	96,00	1,60
	1,9097E-04	5236,37	87,27	1,45
	2,1267E-04	4702,03	78,37	1,31
	2,2569E-04	4430,78	73,85	1,23
	2,3438E-04	4266,67	71,11	1,19

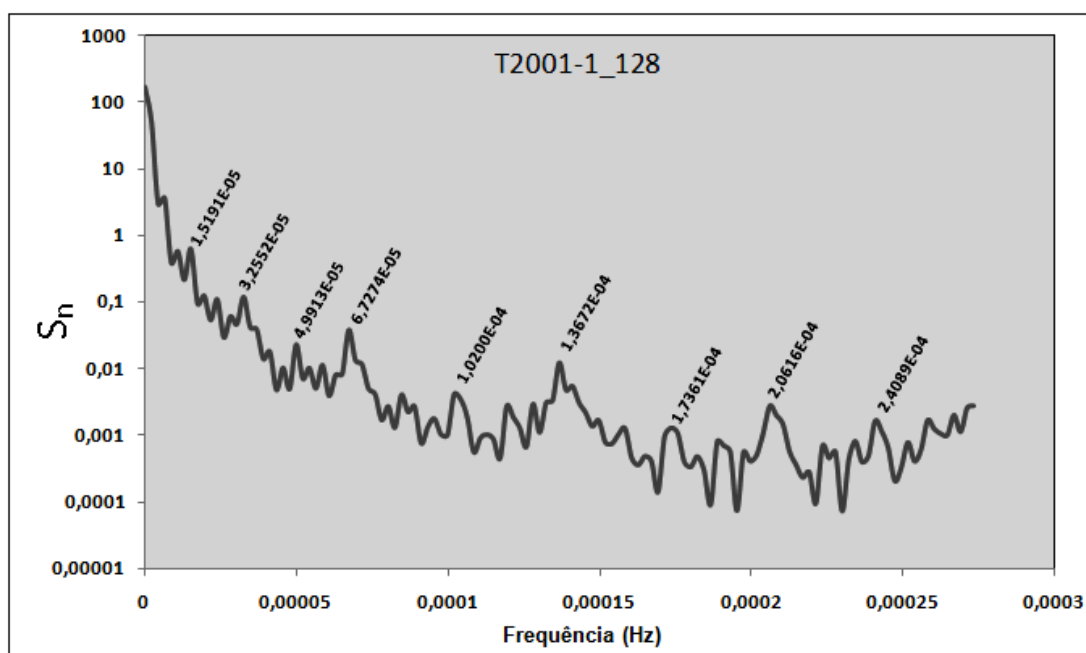


Figura 21: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), compreendida entre os dias 31 (05h30min) e 63 (21h30min) do ano 2001.

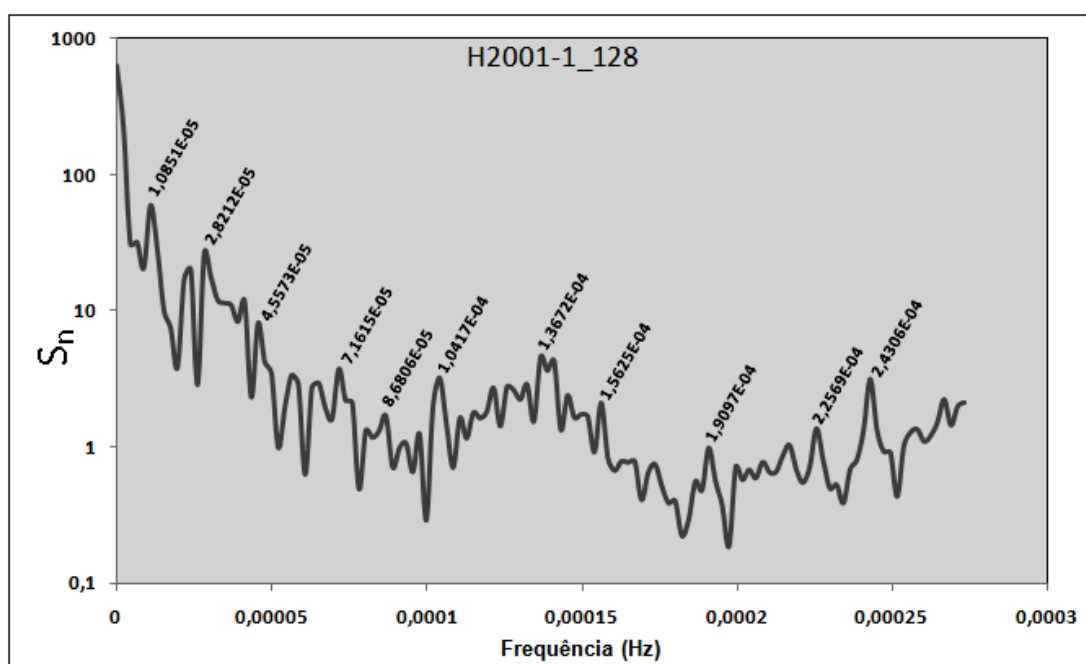


Figura 22: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m^2), compreendida entre os dias 31 (05h30min) e 63 (21h30min) do ano 2001.

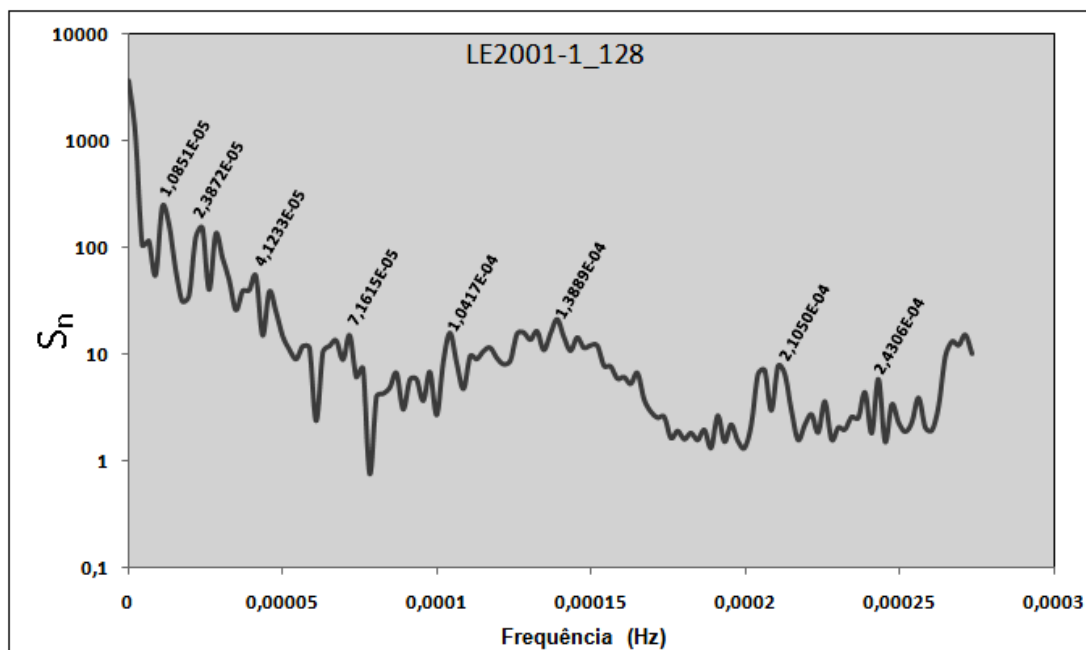


Figura 23: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente **LE** (W/m^2), compreendida entre os dias 31 (05h30min) e 63 (21h30min) do ano 2001.

Nas figuras 21, 22 e 23, são mostrados os espectros de potência das variáveis estudadas, sendo as séries temporais em questão, respectivas a cada variável, compreendidas entre os dias julianos 31 às 5h30min e 63 às 21h30min do ano 2001, proporcionando o acúmulo de 1569 dados coletados, em sua grande maioria no mês de fevereiro, num período chuvoso do ano.

Seguindo o mesmo critério anterior, destacamos as frequências dominantes pela identificação dos picos mais proeminentes da intensidade S_n , podendo-se observar repetição de algumas frequências em relação à série temporal anterior, para as três variáveis, notadamente a frequência de $1,0851 \cdot 10^{-5}$ Hz que corresponde ao período de aproximadamente 24 horas, denotando a influência sobre elas da alternância de incidência da radiação solar, característica do ciclo diário. Isso pode ser mais bem observado na tabela 3, onde são apresentados os valores das frequências (**f**) medidas em hertz (Hz), e os correspondentes períodos (**τ**) medidos em horas (h), minutos (min) e segundos (s).

Tabela 3: Frequências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 31 (05h30min) e 63 (21h30min) do ano 2001.

	f (Hz)	τ (s)	τ (min)	τ (h)
T2001-1_128	1,5191E-05	65828,45	1097,14	18,29
	3,2552E-05	30720,08	512,00	8,53
	4,9913E-05	20034,86	333,91	5,57
	6,7274E-05	14864,58	247,74	4,13
	1,0200E-04	9803,92	163,40	2,72
	1,3672E-04	7314,22	121,90	2,03
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	2,0616E-04	4850,60	80,84	1,35
	2,4089E-04	4151,27	69,19	1,15
H2001-1_128	1,0851E-05	92157,40	1535,96	25,60
	2,8212E-05	35445,91	590,77	9,85
	4,1233E-05	24252,42	404,21	6,74
	4,5573E-05	21942,82	365,71	6,10
	7,1615E-05	13963,56	232,73	3,88
	8,6806E-05	11519,94	192,00	3,20
	1,0417E-04	9599,69	159,99	2,67
	1,3672E-04	7314,22	121,90	2,03
	1,5625E-04	6400,00	106,67	1,78
	1,9097E-04	5236,42	87,27	1,45
	2,2569E-04	4430,86	73,85	1,23
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14
LE2001-1_128	1,0851E-05	92157,40	1535,96	25,60
	2,3872E-05	41890,08	698,17	11,64
	2,8212E-05	35445,91	590,77	9,85
	4,1233E-05	24252,42	404,21	6,74
	4,5573E-05	21942,82	365,71	6,10
	7,1615E-05	13963,56	232,73	3,88
	1,0417E-04	9599,69	159,99	2,67
	1,3889E-04	7199,94	120,00	2,00
	2,1050E-04	4750,59	79,18	1,32
	2,4089E-04	4151,27	69,19	1,15
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14

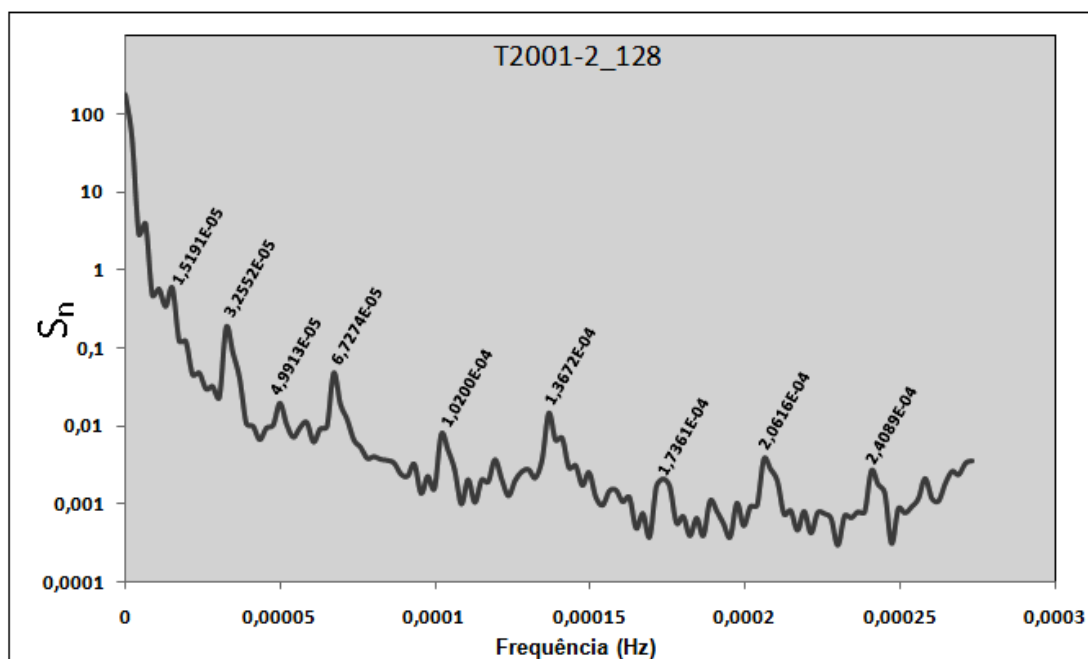


Figura 24: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), compreendida entre os dias 73 (09h00min) e 124 (12h00min) do ano 2001.

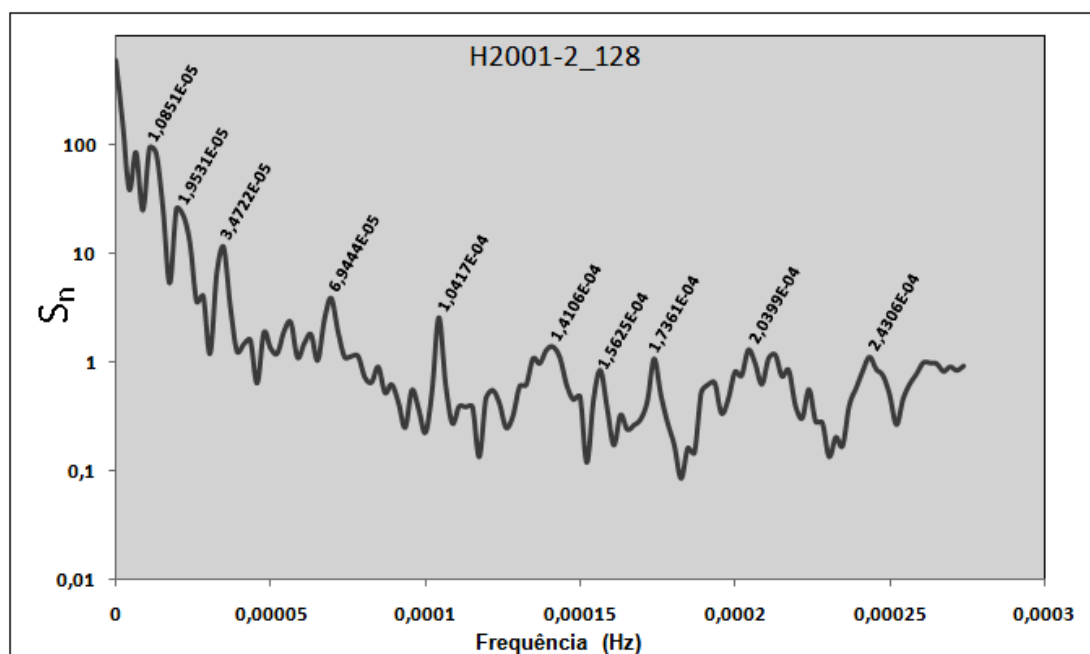


Figura 25: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m^2), compreendida entre os dias 73 (09h00min) e 124 (12h00min) do ano 2001.

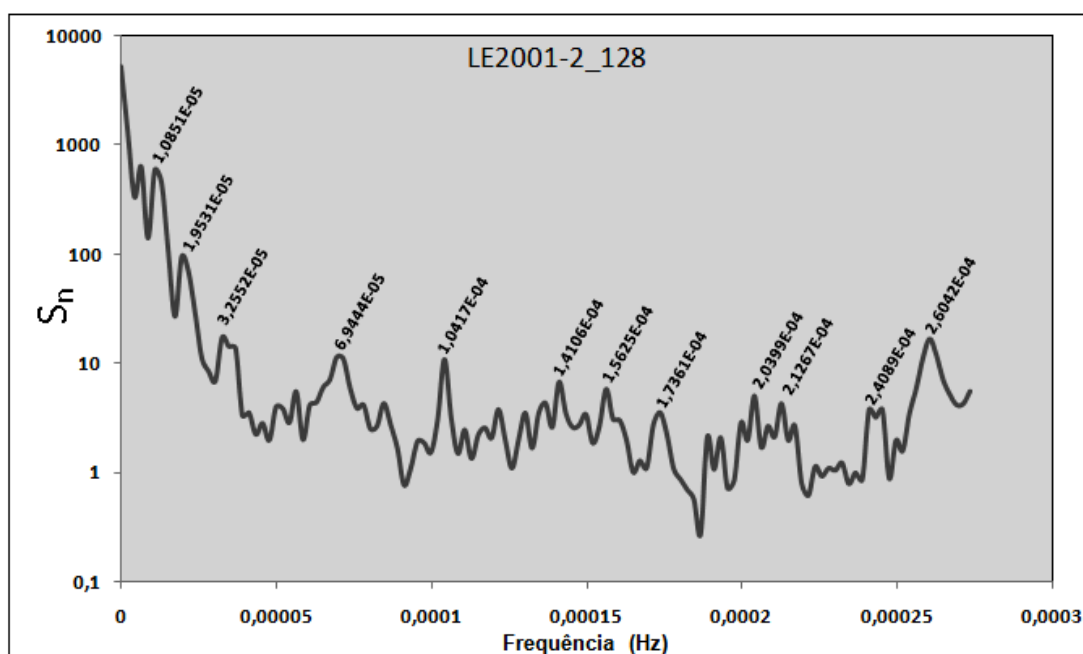


Figura 26: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente **LE** (W/m^2), compreendida entre os dias 73 (09h00minh) e 124 (12h00min) do ano 2001.

Nas figuras 24, 25 e 26, são mostrados os espectros de potência das séries temporais, respectivas a cada variável, compreendidas entre os dias julianos 73 às 9h e 124 às 12h do ano de 2001, acumulando 2455 dados relativos às médias das medições feitas entre meados de março até o início de maio, caracterizando um período da estação seca do ano.

Continuamos observando uma padronização de valores, principalmente os relativos às frequências menores, que correspondem aos maiores períodos, não obstante o aparecimento de valores novos, como por exemplo, a frequência $1,9531 \cdot 10^{-5}$ Hz, equivalente a um período de aproximadamente 14 horas, que aparece tanto para o Fluxo de Calor Sensível (H) como para o Fluxo de Calor Latente (LE). Na tabela 4 são apresentados esses valores que podem ser comparados aos valores da tabela 3.

Tabela 4: Frequências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 73 (09h00minh) e 124 (12h00min) do ano 2001.

	f (Hz)	τ (s)	τ (min)	τ (h)
T2001-2_128	1,5191E-05	65828,45	1097,14	18,29
	3,2552E-05	30720,08	512,00	8,53
	4,9913E-05	20034,86	333,91	5,57
	6,7274E-05	14864,58	247,74	4,13
	1,0200E-04	9803,92	163,40	2,72
	1,3672E-04	7314,22	121,90	2,03
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	2,0616E-04	4850,60	80,84	1,35
	2,4089E-04	4151,27	69,19	1,15
H2001-2_128	1,0851E-05	92157,40	1535,96	25,60
	1,9531E-05	51200,66	853,34	14,22
	3,4722E-05	28800,18	480,00	8,00
	6,9444E-05	14400,09	240,00	4,00
	1,0417E-04	9599,69	159,99	2,67
	1,4106E-04	7089,18	118,15	1,97
	1,5625E-04	6400,00	106,67	1,78
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	2,0399E-04	4902,20	81,70	1,36
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14
LE2001-2_128	1,0851E-05	92157,40	1535,96	25,60
	1,9531E-05	51200,66	853,34	14,22
	3,2552E-05	30720,08	512,00	8,53
	6,9444E-05	14400,09	240,00	4,00
	1,0417E-04	9599,69	159,99	2,67
	1,4106E-04	7089,18	118,15	1,97
	1,5625E-04	6400,00	106,67	1,78
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	2,0399E-04	4902,20	81,70	1,36
	2,1267E-04	4702,12	78,37	1,31
	2,6042E-04	3839,95	64,00	1,07

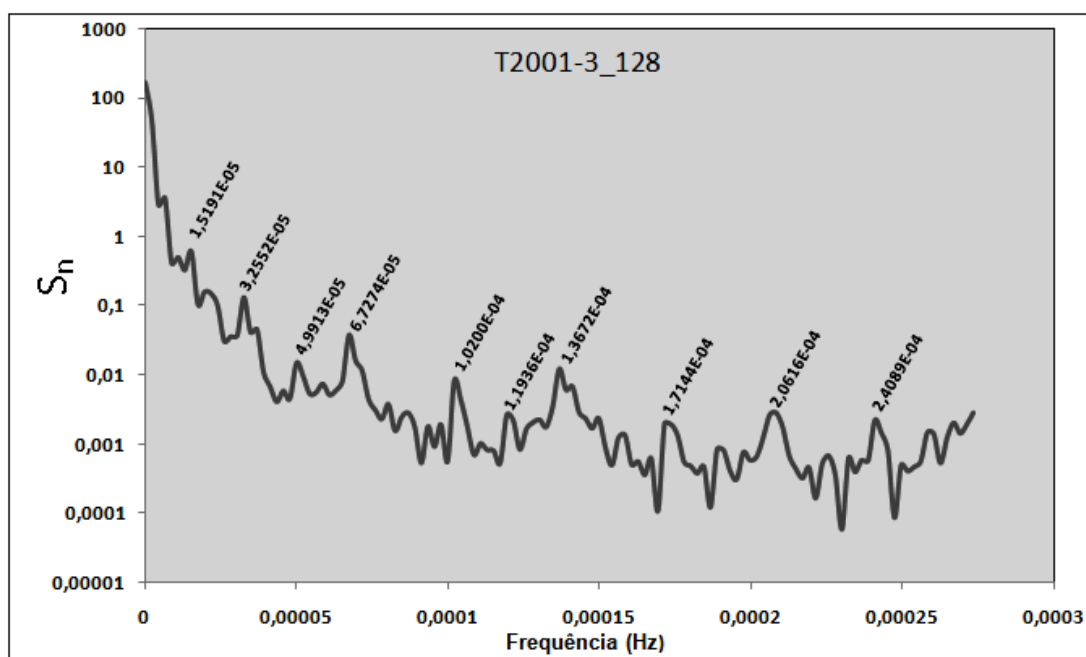


Figura 27: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), compreendida entre os dias 128 (12h00min) e 164 (10h30min) do ano 2001.

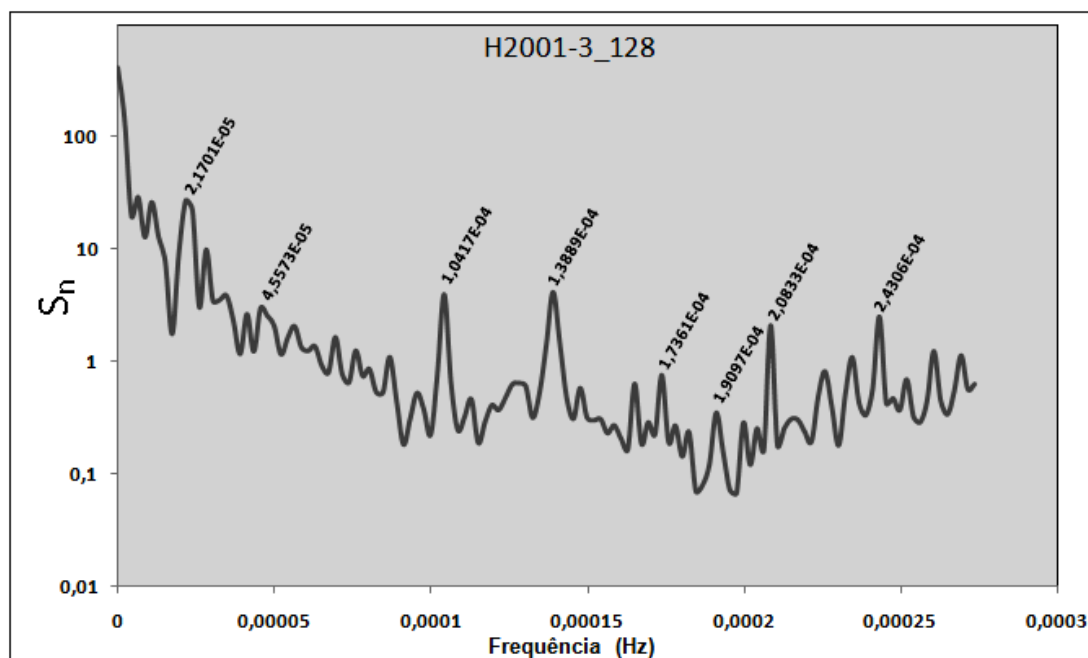


Figura 28: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m^2), compreendida entre os dias 128 (12h00min) e 164 (10h30min) do ano 2001.

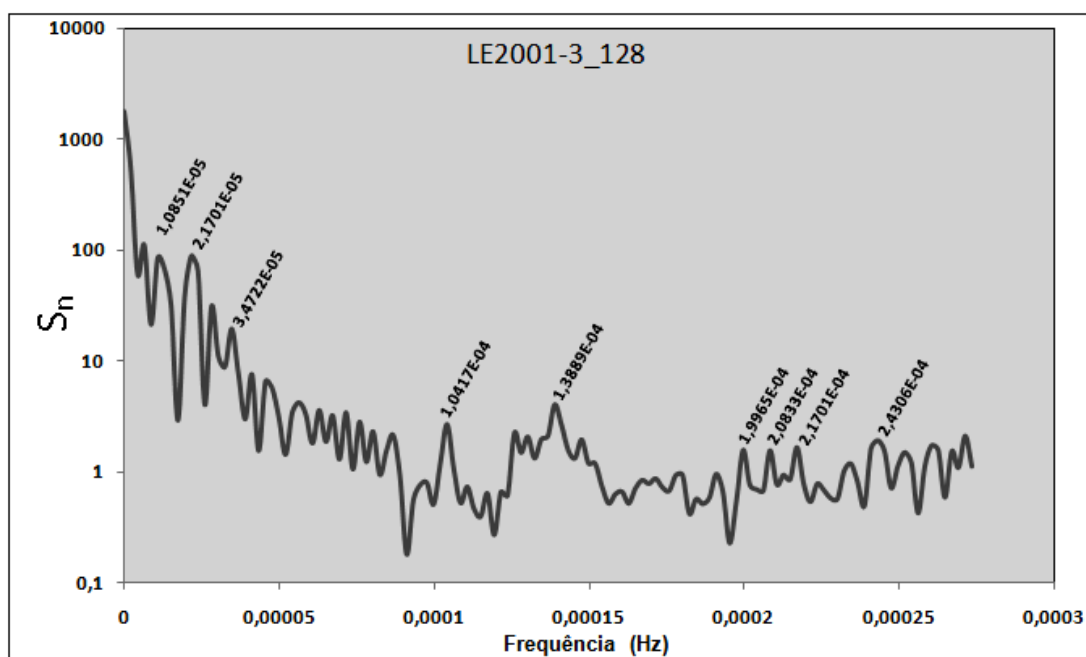


Figura 29: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente **LE** (W/m^2), compreendida entre os dias 128 (12h00min) e 164 (10h30min) do ano 2001.

Nas figuras 27, 28 e 29, são mostrados os espectros de potência das séries temporais, respectivas a cada variável estudada, compreendidas entre os dias julianos 128 às 12h e 164 às 10h30min, do ano de 2001, constituídas a partir de 48 médias diárias, perfazendo um total de 1726 dados coletados nos meses de maio e junho, portanto relativos à estação seca do ano.

Na tabela 5 estão anotadas as frequências mais significativas observadas nos gráficos, e seus correspondentes períodos, que dão a idéia da variabilidade temporal das grandezas estudadas. Cada valor de período identificado significa uma tendência a que o valor da variável estudada se repita naquele intervalo de tempo.

Tabela 5: Frequências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 128 (12h00min) e 164 (10h30min) do ano 2001.

	f (Hz)	τ (s)	τ (min)	τ (h)
T2001-3_128	1,5191E-05	65828,45	1097,14	18,29
	3,2552E-05	30720,08	512,00	8,53
	4,9913E-05	20034,86	333,91	5,57
	6,7274E-05	14864,58	247,74	4,13
	1,0200E-04	9803,92	163,40	2,72
	1,1936E-04	8378,02	139,63	2,33
	1,3672E-04	7314,22	121,90	2,03
	1,7144E-04	5832,94	97,22	1,62
	2,0616E-04	4850,60	80,84	1,35
	2,4089E-04	4151,27	69,19	1,15
H2001-3_128	2,1701E-05	46080,83	768,01	12,80
	4,5573E-05	21942,82	365,71	6,10
	1,0417E-04	9599,69	159,99	2,67
	1,3889E-04	7199,94	120,00	2,00
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	1,9097E-04	5236,42	87,27	1,45
	2,0833E-04	4800,08	80,00	1,33
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14
LE2001-3_128	1,0851E-05	92157,40	1535,96	25,60
	2,1701E-05	46080,83	768,01	12,80
	3,4722E-05	28800,18	480,00	8,00
	1,0417E-04	9599,69	159,99	2,67
	1,3889E-04	7199,94	120,00	2,00
	1,9965E-04	5008,77	83,48	1,39
	2,0833E-04	4800,08	80,00	1,33
	2,1701E-04	4608,08	76,80	1,28
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14

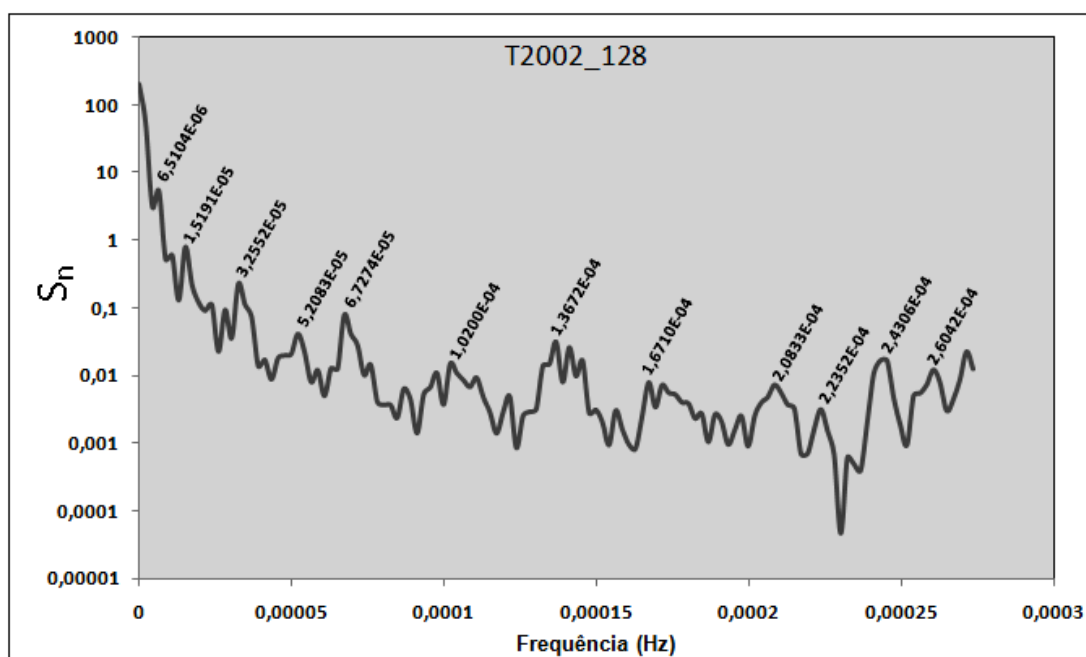


Figura 30: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), compreendida entre os dias 341 (16h00min) e 365 (23h30min) do ano 2002.

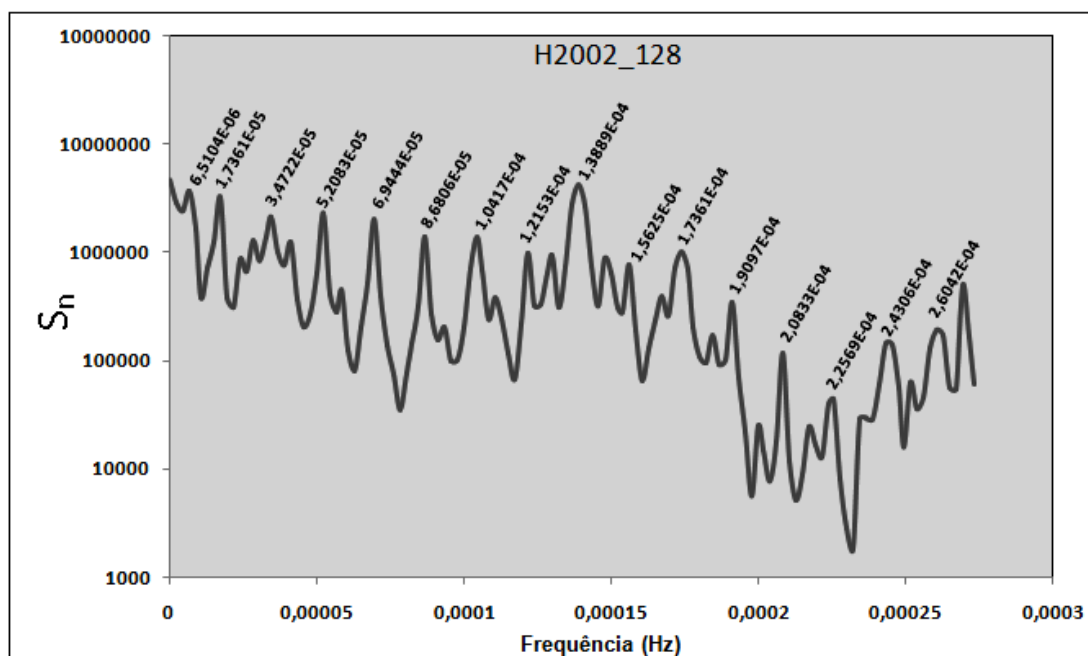


Figura 31: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m^2), compreendida entre os dias 341 (16h00min) e 365 (23h30min) do ano 2002.

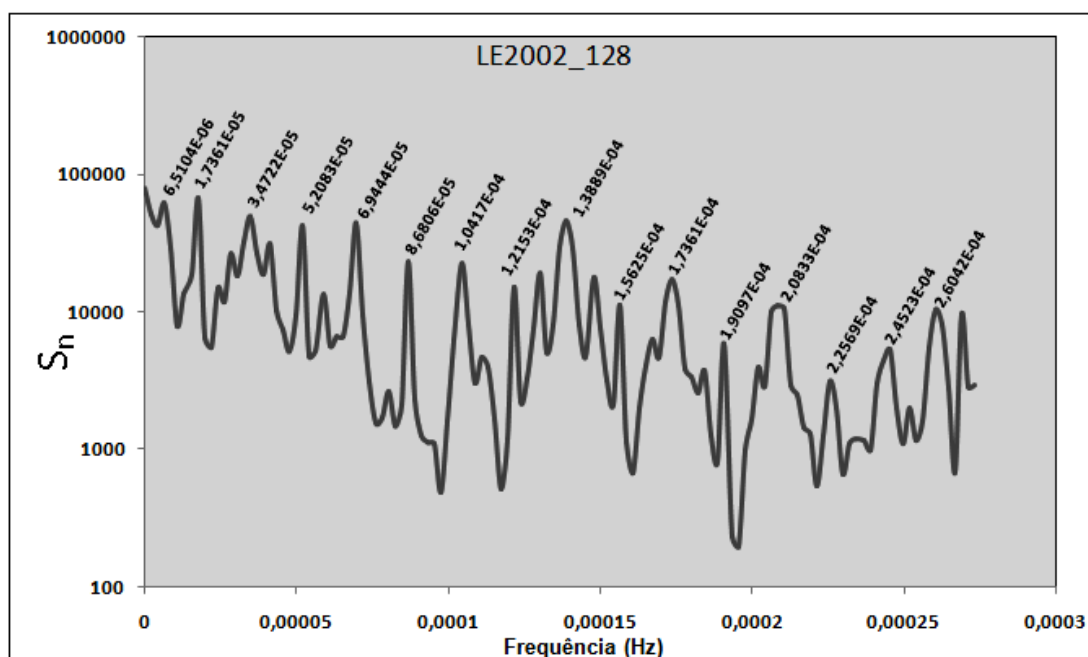


Figura 32: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente **LE** (W/m^2), compreendida entre os dias 341 (16h00min) e 365 (23h30min) do ano 2002.

Nas figuras 30, 31 e 32 temos os gráficos gerados pelo programa “*power spectra*”, os chamados espectros de potência das variáveis em estudo, sendo as séries temporais utilizadas, delimitadas pelos dias julianos 341 às 16h e 365 às 23h30min do ano de 2002, perfazendo 1168 dados obtidos a partir das médias feitas a cada 30 minutos, dos valores coletados para cada uma das variáveis em estudo, basicamente no mês de dezembro, caracterizando um período úmido do ano.

A tabela 6 mostra as frequências anotadas como sendo as mais evidentes ou dominantes e os correspondentes períodos, podendo-se constatar, principalmente na coluna do período em horas, o mesmo padrão de variação observado nos gráficos gerados a partir das séries temporais anteriores, para as três variáveis em estudo.

Tabela 6: Frequências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 341 (16h00min) e 365 (23h30min) do ano 2002.

	f (Hz)	τ (s)	τ (min)	τ (h)
T2002_128	1,5191E-05	65828,45	1097,14	18,29
	3,2552E-05	30720,08	512,00	8,53
	5,2083E-05	19200,12	320,00	5,33
	6,7274E-05	14864,58	247,74	4,13
	1,0200E-04	9803,92	163,40	2,72
	1,3672E-04	7314,22	121,90	2,03
	1,6710E-04	5984,44	99,74	1,66
	2,0833E-04	4800,08	80,00	1,33
	2,2352E-04	4473,87	74,56	1,24
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14
	2,6042E-04	3839,95	64,00	1,07
H2002_128	1,7361E-05	57600,37	960,01	16,00
	3,4722E-05	28800,18	480,00	8,00
	5,2083E-05	19200,12	320,00	5,33
	6,9444E-05	14400,09	240,00	4,00
	8,6806E-05	11519,94	192,00	3,20
	1,0417E-04	9599,69	159,99	2,67
	1,2153E-04	8228,42	137,14	2,29
	1,3889E-04	7199,94	120,00	2,00
	1,5625E-04	6400,00	106,67	1,78
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	1,9097E-04	5236,42	87,27	1,45
	2,0833E-04	4800,08	80,00	1,33
	2,2569E-04	4430,86	73,85	1,23
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14
	2,6042E-04	3839,95	64,00	1,07
LE2002_128	1,7361E-05	57600,37	960,01	16,00
	3,4722E-05	28800,18	480,00	8,00
	5,2083E-05	19200,12	320,00	5,33
	6,9444E-05	14400,09	240,00	4,00
	8,6806E-05	11519,94	192,00	3,20
	1,0417E-04	9599,69	159,99	2,67
	1,2153E-04	8228,42	137,14	2,29
	1,3889E-04	7199,94	120,00	2,00
	1,5625E-04	6400,00	106,67	1,78
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	1,9097E-04	5236,42	87,27	1,45
	2,0833E-04	4800,08	80,00	1,33
	2,2569E-04	4430,86	73,85	1,23
	2,4523E-04	4077,80	67,96	1,13
	2,6042E-04	3839,95	64,00	1,07

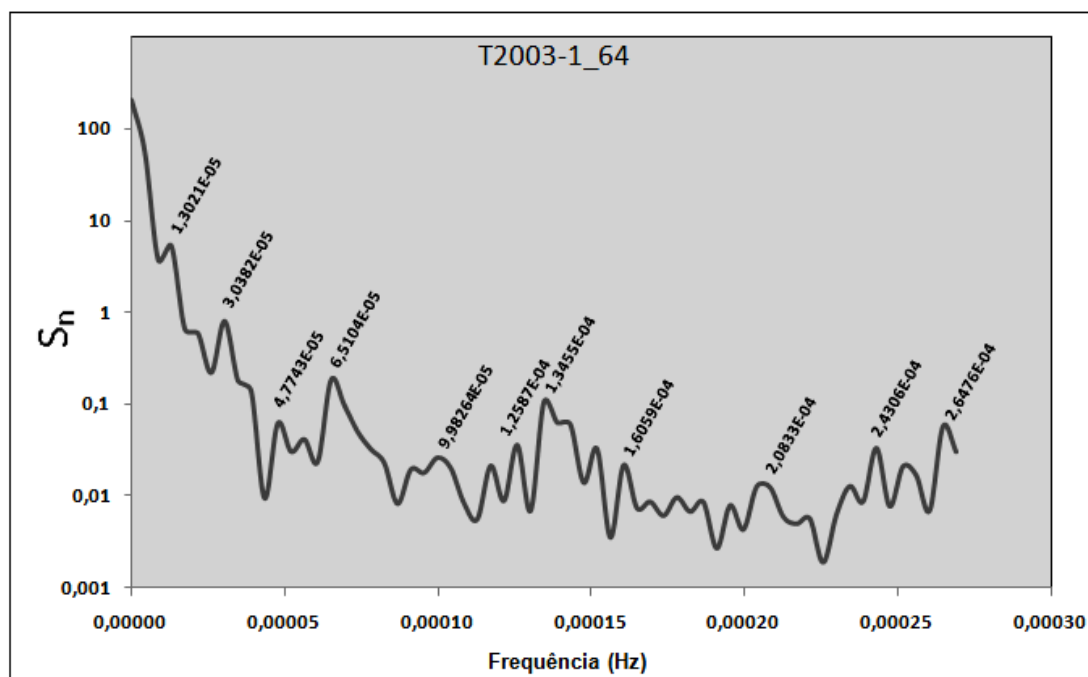


Figura 33: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), compreendida entre os dias 32 (10h00min) e 52 (10h30min) do ano 2003.

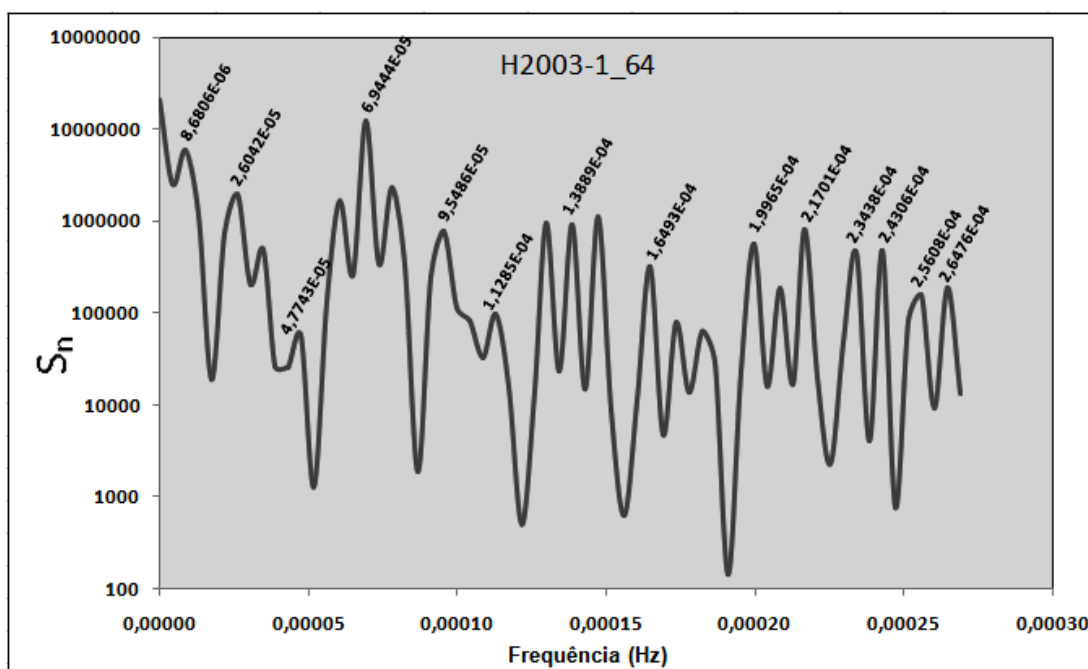


Figura 34: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m^2), compreendida entre os dias 32 (10h00min) e 52 (10h30min) do ano 2003.

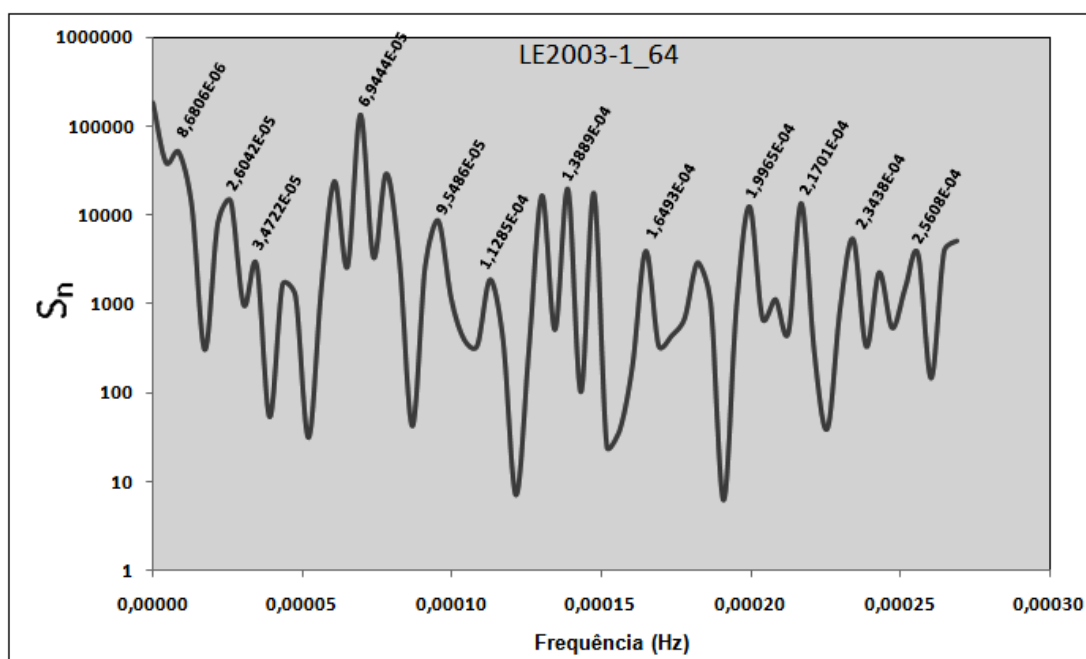


Figura 35: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente **LE** (W/m^2), compreendida entre os dias 32 (10h00min) e 52 (10h30min) do ano 2003.

As figuras 33, 34 e 35 mostram os espectros de potência para as variáveis em estudo, das séries temporais para cada uma delas, compostas de 961 dados coletados através das médias a cada 30 minutos, entre os dias julianos 32 às 10h e 52 às 10h30min do ano 2003, sendo que, das medições feitas obteve-se uma série contínua de dados exclusivamente no mês de fevereiro, sabidamente um mês pertencente ao período úmido do ano.

Na tabela 7 temos as frequências dominantes e os correspondentes períodos, podendo-se observar a incrível semelhança entre os dados obtidos para o Fluxo de Calor Sensível (H) e o Fluxo de Calor Latente (LE), demonstrando um evidente acoplamento entre essas variáveis, pelo menos no período de tempo correspondente à série temporal usada, que pelo número reduzido de dados contínuos obtidos, nos revelou ser bastante curto. Essa semelhança é também observada comparando os gráficos 34 e 35.

Tabela 7: Frequências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 32 (10h00min) e 52 (10h30min) do ano 2003.

	f (Hz)	τ (s)	τ (min)	τ (h)
T2003-1_64	1,3021E-05	76799,02	1279,98	21,33
	3,0382E-05	32914,23	548,57	9,14
	4,7743E-05	20945,48	349,09	5,82
	6,5104E-05	15360,04	256,00	4,27
	9,9826E-05	10017,39	166,96	2,78
	1,2587E-04	7944,70	132,41	2,21
	1,3455E-04	7432,18	123,87	2,06
	1,6059E-04	6227,04	103,78	1,73
	2,0833E-04	4800,08	80,00	1,33
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14
	2,6476E-04	3777,01	62,95	1,05
H2003-1_64	2,6042E-05	38399,51	639,99	10,67
	3,4722E-05	28800,18	480,00	8,00
	4,7743E-05	20945,48	349,09	5,82
	6,9444E-05	14400,09	240,00	4,00
	7,8125E-05	12800,00	213,33	3,56
	9,5486E-05	10472,74	174,55	2,91
	1,1285E-04	8861,32	147,69	2,46
	1,3021E-04	7679,90	128,00	2,13
	1,3889E-04	7199,94	120,00	2,00
	1,4757E-04	6776,45	112,94	1,88
	1,6493E-04	6063,18	101,05	1,68
	1,9965E-04	5008,77	83,48	1,39
	2,1701E-04	4608,08	76,80	1,28
	2,3438E-04	4266,58	71,11	1,19
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14
	2,5608E-04	3905,03	65,08	1,08
	2,6476E-04	3777,01	62,95	1,05
LE2003-1_64	2,6042E-05	38399,51	639,99	10,67
	3,4722E-05	28800,18	480,00	8,00
	6,9444E-05	14400,09	240,00	4,00
	7,8125E-05	12800,00	213,33	3,56
	9,5486E-05	10472,74	174,55	2,91
	1,1285E-04	8861,32	147,69	2,46
	1,3021E-04	7679,90	128,00	2,13
	1,3889E-04	7199,94	120,00	2,00
	1,4757E-04	6776,45	112,94	1,88
	1,6493E-04	6063,18	101,05	1,68
	1,9965E-04	5008,77	83,48	1,39
	2,1701E-04	4608,08	76,80	1,28
	2,3438E-04	4266,58	71,11	1,19
	2,5608E-04	3905,03	65,08	1,08

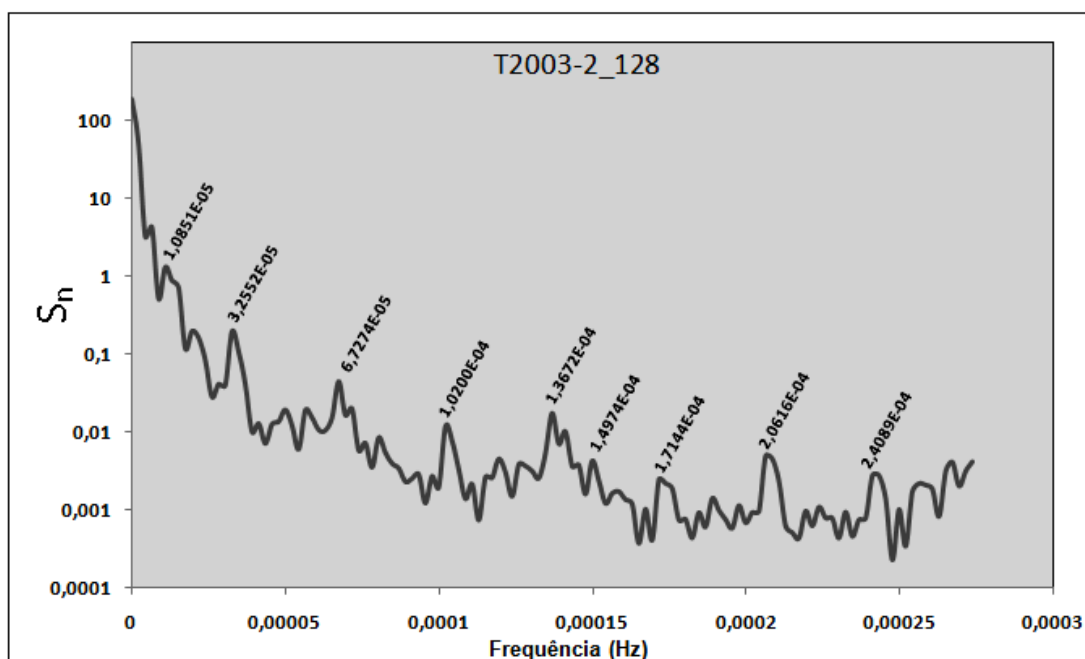


Figura 36: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), compreendida entre os dias 218 (17h30min) e 242 (14h30min) do ano 2003.

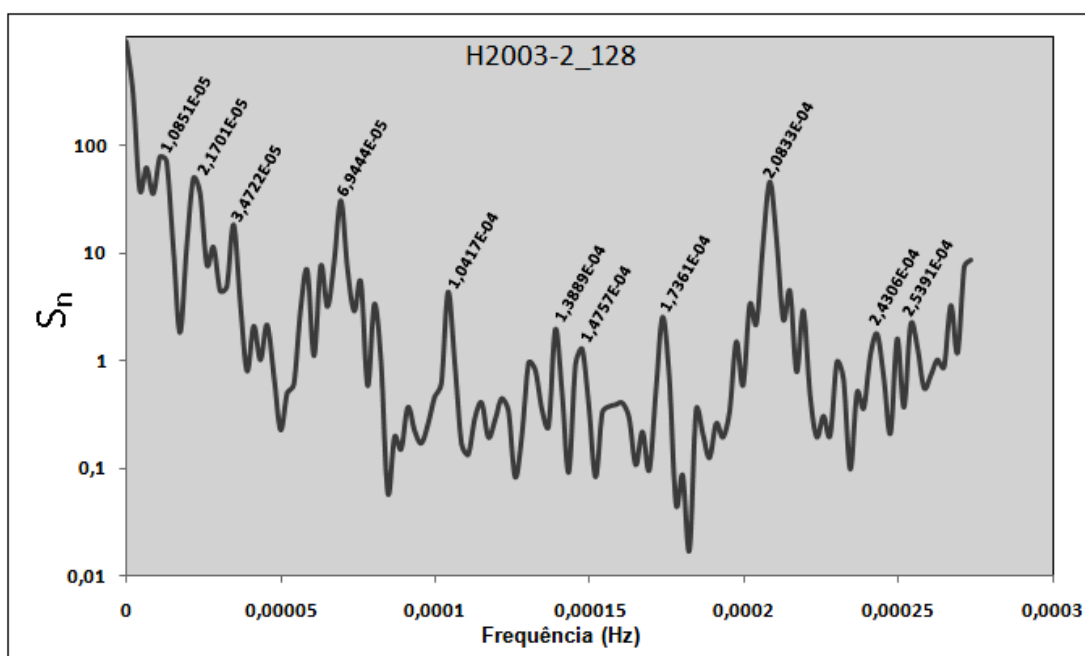


Figura 37: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m^2), compreendida entre os dias 218 (17h30min) e 242 (14h30min) do ano 2003.

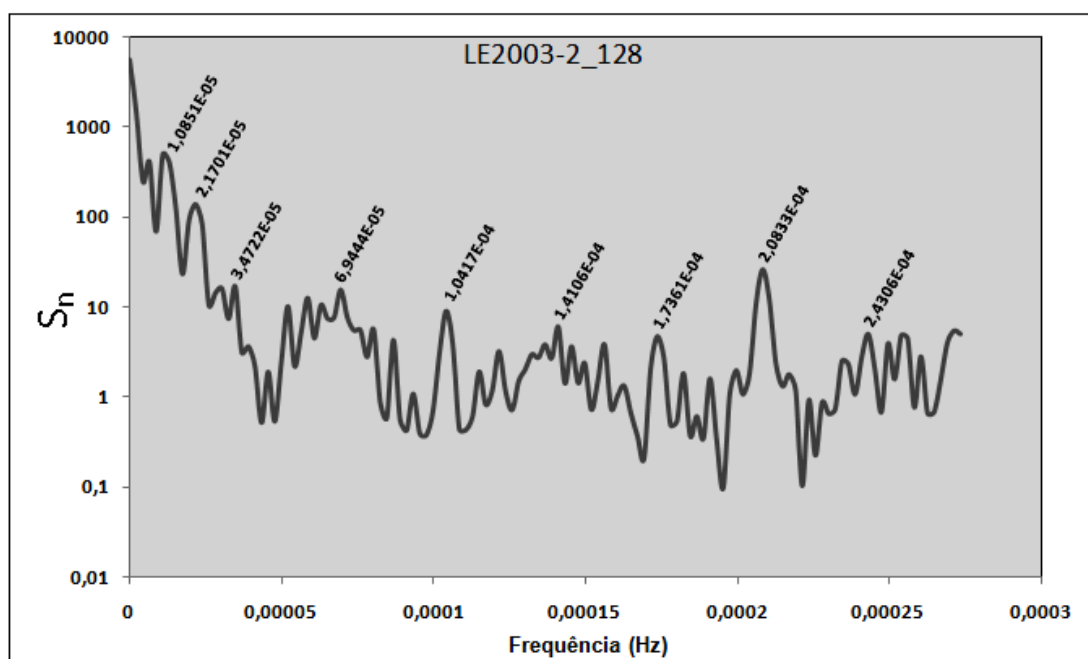


Figura 38: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente **LE** (W/m^2), compreendida entre os dias 218 (17h30min) e 242 (14h30min) do ano 2003.

As figuras 36, 37 e 38 são gráficos chamados espectros de potência, gerados a partir do processamento, pelo programa *power spectra*, das séries temporais de dados contínuos, obtidos pelas medições tomadas no local da pesquisa, das variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias julianos 218 às 17h30min e 242 às 14h30min do ano 2003, gerando uma sequência de 1147 dados que atestam o comportamento das variáveis em estudo num mês reconhecidamente pertencente à estação seca o ano, o mês de agosto.

A tabela 8, a exemplo das anteriores, traz as frequências dominantes obtidas pela observação dos gráficos, e os respectivos períodos. Nota-se uma regularidade na variação do período para as três variáveis.

Tabela 8: Frequências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 218 (17h30min) e 242 (14h30min) do ano 2003.

	f (Hz)	τ (s)	τ (min)	τ (h)
T2003-2_128	1,0851E-05	92157,40	1535,96	25,60
	3,2552E-05	30720,08	512,00	8,53
	6,7274E-05	14864,58	247,74	4,13
	1,0200E-04	9803,92	163,40	2,72
	1,3672E-04	7314,22	121,90	2,03
	1,4974E-04	6678,24	111,30	1,86
	1,7144E-04	5832,94	97,22	1,62
	2,0616E-04	4850,60	80,84	1,35
	2,4089E-04	4151,27	69,19	1,15
H2003-2_128	1,0851E-05	92157,40	1535,96	25,60
	2,1701E-05	46080,83	768,01	12,80
	3,4722E-05	28800,18	480,00	8,00
	6,9444E-05	14400,09	240,00	4,00
	1,0417E-04	9599,69	159,99	2,67
	1,3889E-04	7199,94	120,00	2,00
	1,4757E-04	6776,45	112,94	1,88
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	2,0833E-04	4800,08	80,00	1,33
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14
	2,5391E-04	3938,40	65,64	1,09
LE2003-2_128	1,0851E-05	92157,40	1535,96	25,60
	2,1701E-05	46080,83	768,01	12,80
	3,4722E-05	28800,18	480,00	8,00
	6,9444E-05	14400,09	240,00	4,00
	1,0417E-04	9599,69	159,99	2,67
	1,4106E-04	7089,18	118,15	1,97
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	2,0833E-04	4800,08	80,00	1,33
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14

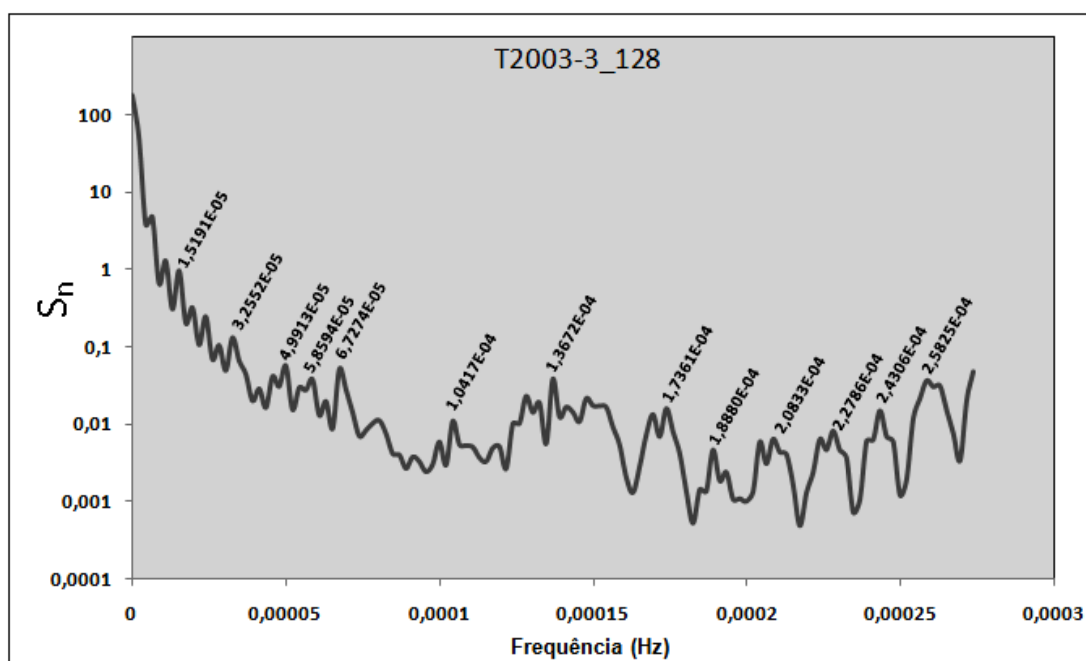


Figura 39: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T (°C), compreendida entre os dias 243 (00h00min) e 269 (13h30min) do ano 2003.

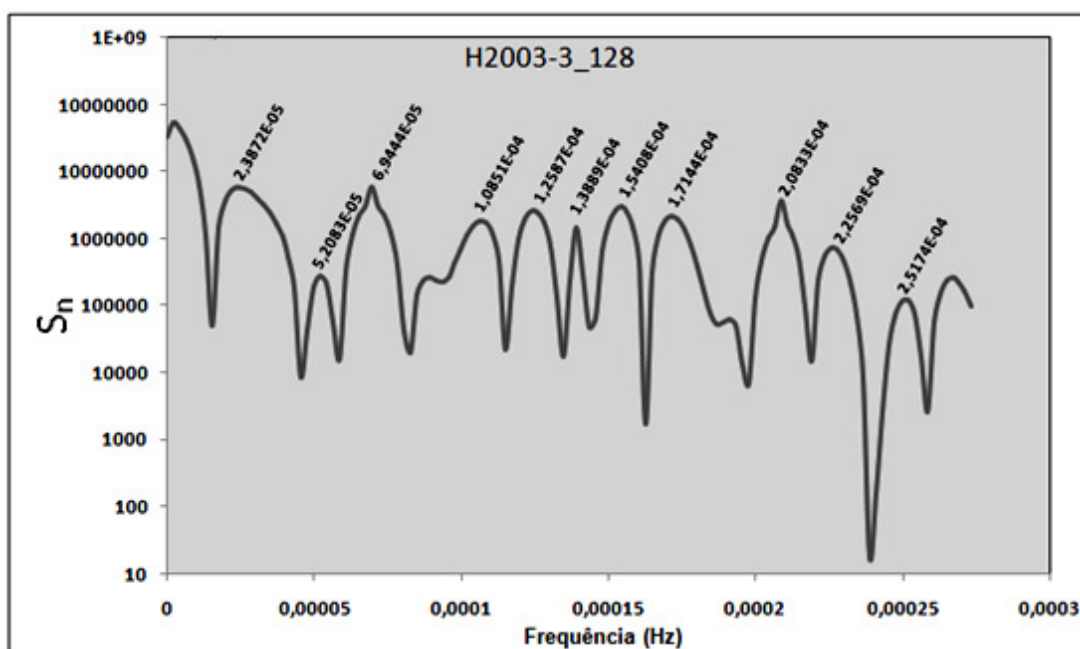


Figura 40: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m²), compreendida entre os dias 243 (00h00min) e 269 (13h30min) do ano 2003.

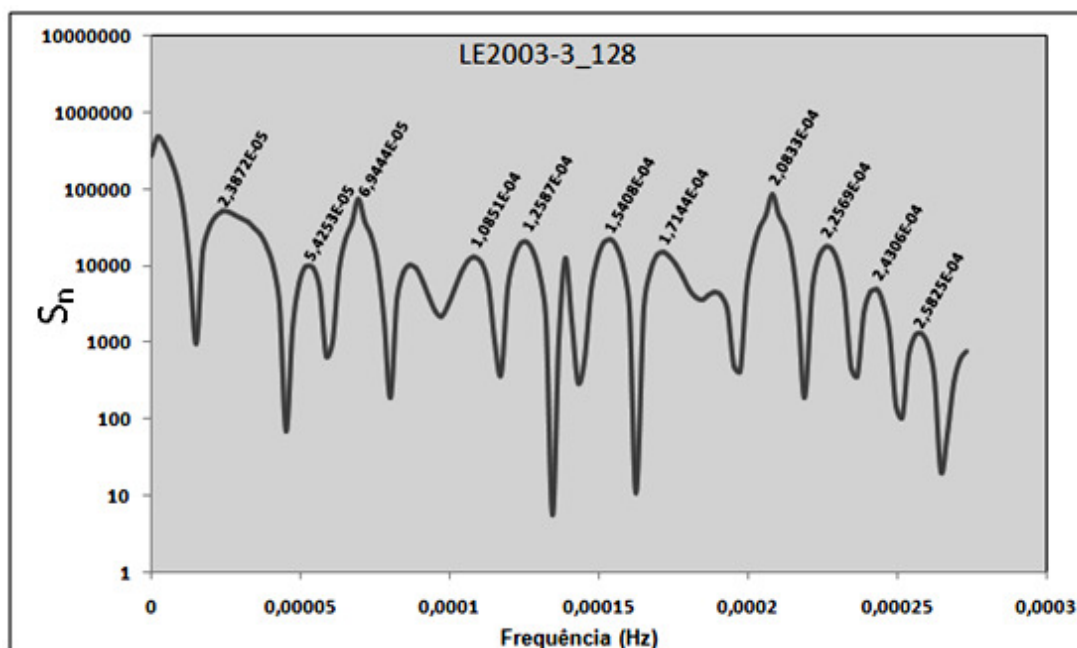


Figura 41: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente **LE** (W/m^2), compreendida entre os dias 243 (00h00min) e 269 (13h30min) do ano 2003.

As figuras 39, 40 e 41 são os espectros de potência das variáveis Temperatura (T), Fluxo de Calor Sensível (H) e Fluxo de Calor Latente (LE), respectivamente, obtidos a partir do processamento pelo programa *power spectra*, das séries temporais dessas variáveis, com 1276 dados cada uma, coletados entre os dias julianos 243 às 00h e 269 às 13h30min do ano 2003. Esse intervalo de dias corresponde ao mês de setembro, portanto dentro do período caracterizado como estação seca do ano.

Na tabela 9 podemos observar as frequências dominantes de cada variável e, a exemplo da tabela 8, verificamos a coincidência de dados entre as variáveis, Fluxo de Calor Sensível (H) e Fluxo de Calor Latente (LE), evidenciando mais uma vez, a influência mútua e/ou de outras variáveis ou fatores que determinam o seu comportamento temporal.

Tabela 9: Frequências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 243 (00h00min) e 269 (13h30min) do ano 2003.

	f (Hz)	τ (s)	τ (min)	τ (h)
T2003-3_128	1,5191E-05	65828,45	1097,14	18,29
	3,2552E-05	30720,08	512,00	8,53
	4,9913E-05	20034,86	333,91	5,57
	5,8594E-05	17066,59	284,44	4,74
	6,7274E-05	14864,58	247,74	4,13
	1,0417E-04	9599,69	159,99	2,67
	1,3672E-04	7314,22	121,90	2,03
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	1,8880E-04	5296,61	88,28	1,47
	2,0833E-04	4800,08	80,00	1,33
	2,2786E-04	4388,66	73,14	1,22
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14
	2,5825E-04	3872,22	64,54	1,08
H2003-3_128	2,3872E-05	41890,08	698,17	11,64
	5,2083E-05	19200,12	320,00	5,33
	6,9444E-05	14400,09	240,00	4,00
	1,0851E-04	9215,74	153,60	2,56
	1,2587E-04	7944,70	132,41	2,21
	1,3889E-04	7199,94	120,00	2,00
	1,5408E-04	6490,13	108,17	1,80
	1,7144E-04	5832,94	97,22	1,62
	2,0833E-04	4800,08	80,00	1,33
	2,2569E-04	4430,86	73,85	1,23
	2,5174E-04	3972,35	66,21	1,10
LE2003-3_128	2,3872E-05	41890,08	698,17	11,64
	5,4253E-05	18432,16	307,20	5,12
	6,9444E-05	14400,09	240,00	4,00
	1,0851E-04	9215,74	153,60	2,56
	1,2587E-04	7944,70	132,41	2,21
	1,5408E-04	6490,13	108,17	1,80
	1,7144E-04	5832,94	97,22	1,62
	2,0833E-04	4800,08	80,00	1,33
	2,2569E-04	4430,86	73,85	1,23
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14
	2,5825E-04	3872,22	64,54	1,08

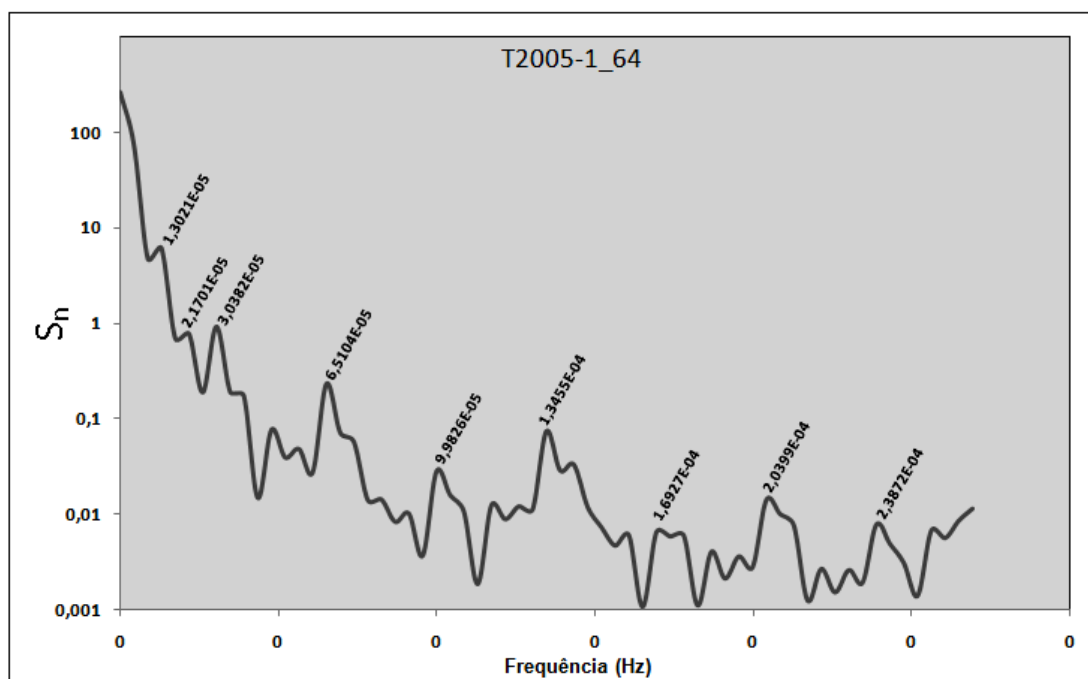


Figura 42: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T (°C), compreendida entre os dias 109 (20h30min) e 146 (12h30min) do ano 2005.

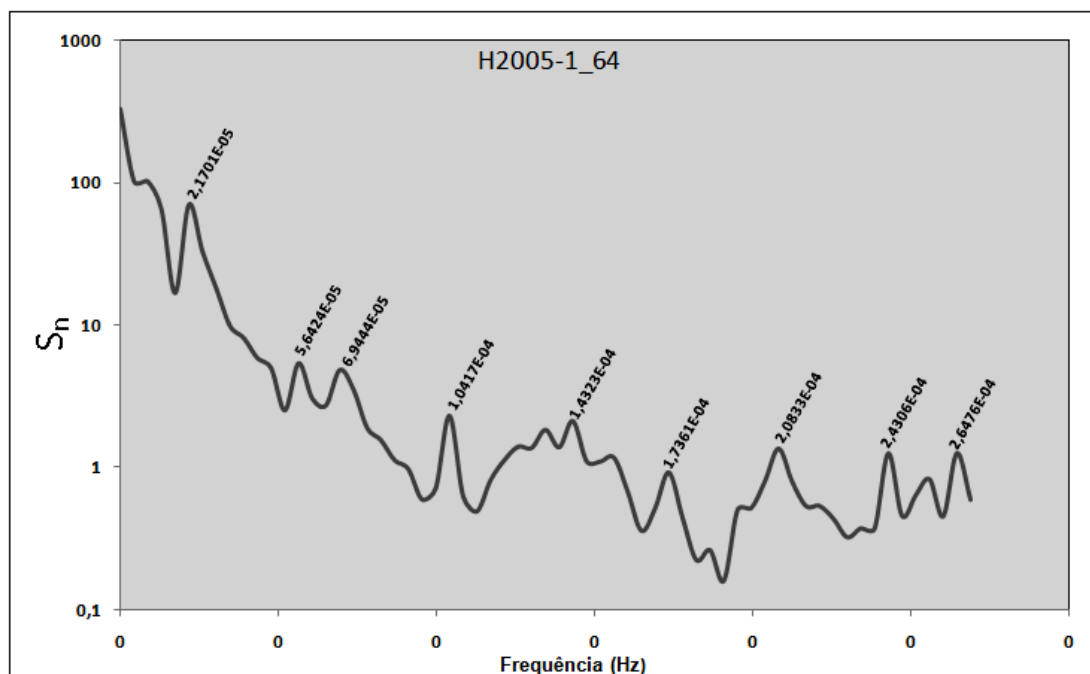


Figura 43: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m²), compreendida entre os dias 109 (20h30min) e 146 (12h30min) do ano 2005.

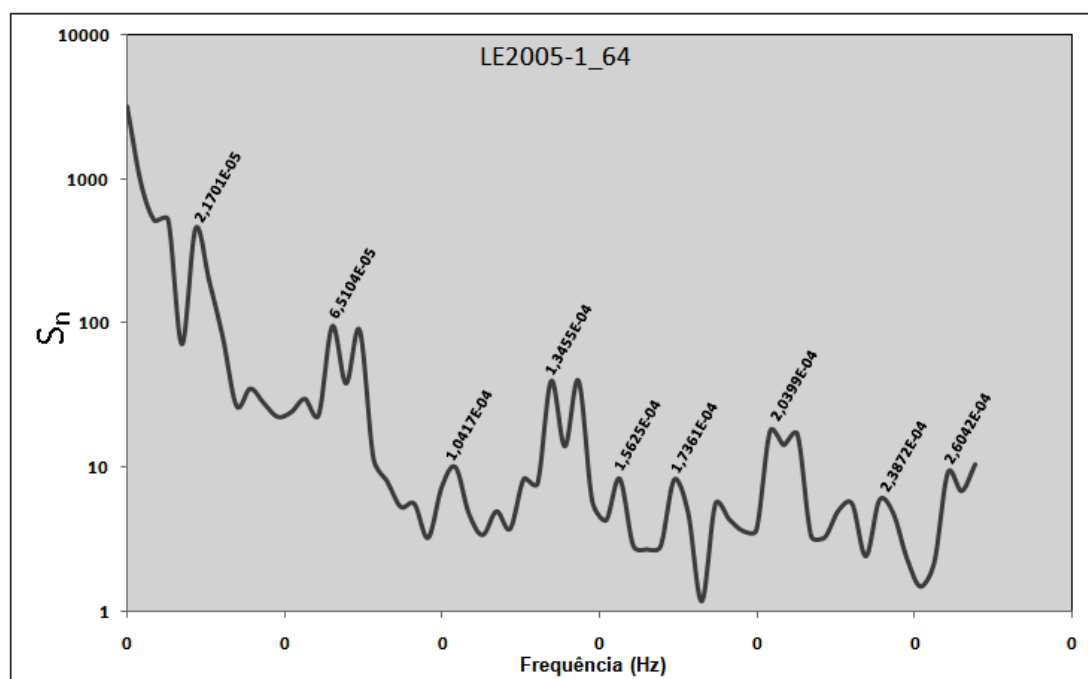


Figura 44: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente **LE** (W/m^2), compreendida entre os dias 109 (20h30min) e 146 (12h30min) do ano 2005.

As figuras 42, 43 e 44 mostram os gráficos referentes aos espectros de potência, construídos a partir das respectivas séries temporais, cada uma contendo 1761 dados, que representam as médias de 30 minutos de medições ininterruptas feitas no local de estudo das variáveis micro-climatológicas pesquisadas. As séries temporais obtidas são limitadas por eventuais falhas nas medições, ocasionadas por diversos fatores, o que não é aceito pelo programa *power spectra*, que necessita de uma série contínua de dados. Por isso, por exemplo, estas séries, estão delimitadas pelos dias julianos 109 às 20h30min e 146 às 12h30min, sendo então desprezados os trechos onde havia falhas em pelo menos uma das variáveis.

Na tabela 10 estão relacionadas as frequências dominantes, que também podem ser observadas nos gráficos, e os respectivos períodos relacionados, que permitem confirmar a dependência das variáveis estudadas ao ciclo diário de insolação, caracterizado pela presença constante dos períodos de 24 e 12 horas.

Tabela 10: Frequências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 109 (20h30min) e 146 (12h30min) do ano 2005.

	f (Hz)	τ (s)	τ (min)	τ (h)
T2005-1_64	1,3021E-05	76799,02	1279,98	21,33
	2,17E-05	46080,83	768,01	12,80
	3,0382E-05	32914,23	548,57	9,14
	6,5104E-05	15360,04	256,00	4,27
	9,9826E-05	10017,43	166,96	2,78
	1,3455E-04	7432,18	123,87	2,06
	1,6927E-04	5907,72	98,46	1,64
	2,0399E-04	4902,20	81,70	1,36
	2,3872E-04	4189,01	69,82	1,16
H2005-1_64	2,1701E-05	46080,83	768,01	12,80
	5,6424E-05	17722,95	295,38	4,92
	6,9444E-05	14400,09	240,00	4,00
	1,0417E-04	9599,69	159,99	2,67
	1,4323E-04	6981,78	116,36	1,94
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	2,0833E-04	4800,08	80,00	1,33
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14
	2,6476E-04	3777,01	62,95	1,05
LE2005-1_64	2,1701E-05	46080,83	768,01	12,80
	6,5104E-05	15360,04	256,00	4,27
	1,0417E-04	9599,69	159,99	2,67
	1,3455E-04	7432,18	123,87	2,06
	1,56E-04	6400,00	106,67	1,78
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	2,0399E-04	4902,20	81,70	1,36
	2,3872E-04	4189,01	69,82	1,16
	2,6042E-04	3839,95	64,00	1,07

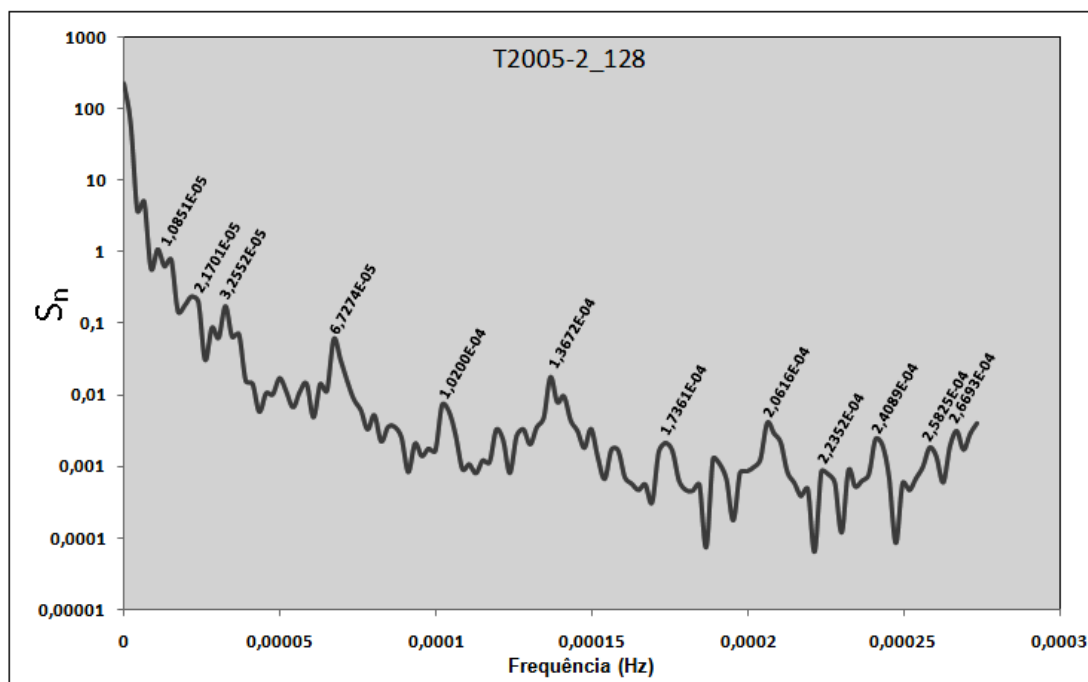


Figura 45: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), compreendida entre os dias 190 (13h00min) e 212 (14h00min) do ano 2005.

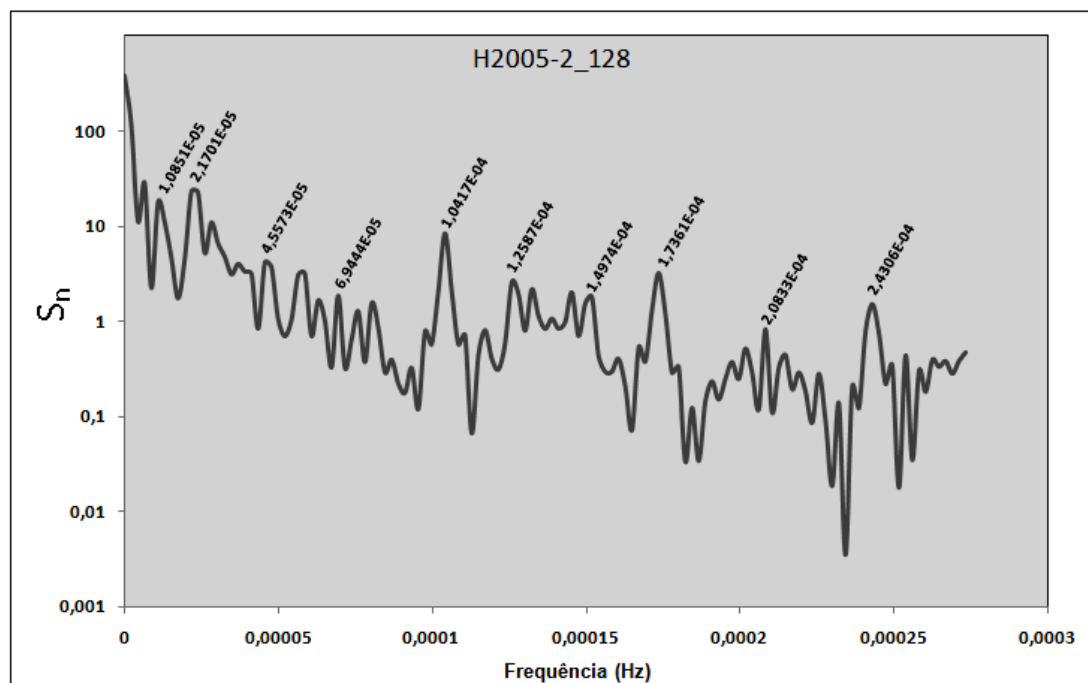


Figura 46: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m^2), compreendida entre os dias 190 (13h00min) e 212 (14h00min) do ano 2005.

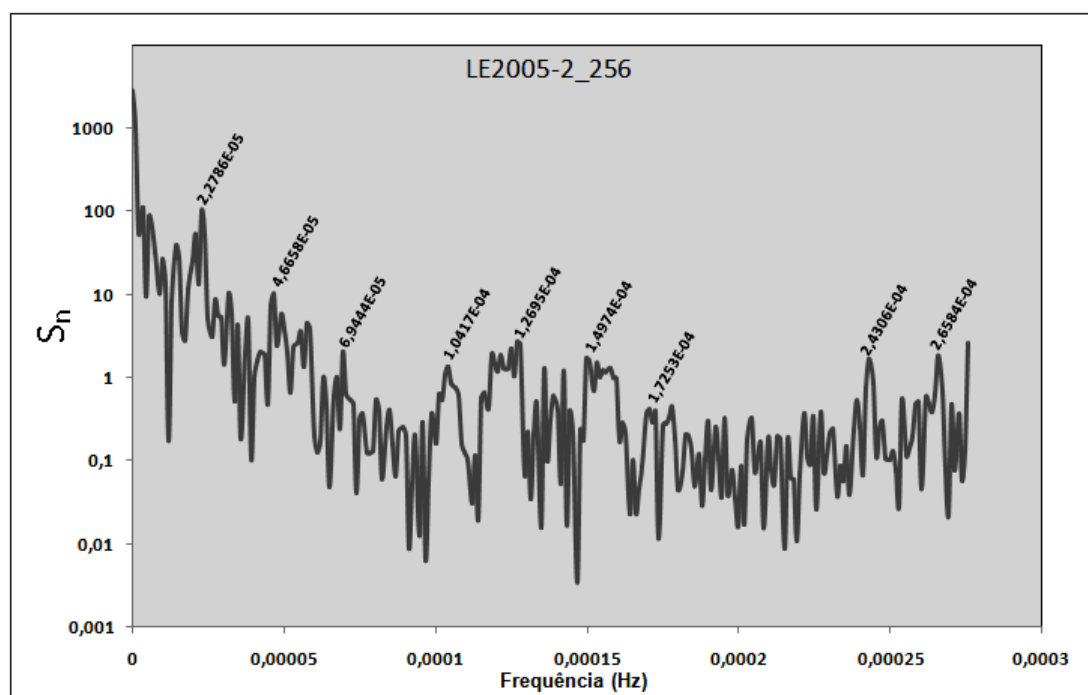


Figura 47: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente LE (W/m^2), compreendida entre os dias 190 (13h00min) e 212 (14h00min) do ano 2005.

As figuras 45, 46 e 47 são os espectros de potência, gráficos que permitem visualizar as principais frequências das variáveis em estudo, a partir das séries temporais de cada uma delas que, neste caso, delimitadas pelos dias julianos 190 às 13 horas e 212 às 14 horas do ano 2005, e acumulando 48 dados diários, reúnem 1059 dados contínuos, permitindo análise do comportamento das grandezas pesquisadas, no mês de julho, reconhecidamente pertencente à estação seca do ano.

Na figura 47 observa-se, no título do gráfico, que o número de intervalos escolhido para o processamento desta série temporal é diferente das demais para o mesmo espaço de tempo. Na verdade, não há necessidade que sejam iguais, apenas foi escolhida a melhor resposta gráfica para os intervalos testados.

A tabela 11 apresenta as frequências significativas para cada uma das variáveis e os períodos correspondentes, mantendo-se o procedimento adotado até aqui.

Tabela 11: Frequências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 190 (13h00min) e 212 (14h00min) do ano 2005.

	f (Hz)	τ (s)	τ (min)	τ (h)
T2005-2_128	1,0851E-05	92157,40	1535,96	25,60
	2,1701E-05	46080,83	768,01	12,80
	3,2552E-05	30720,08	512,00	8,53
	6,7274E-05	14864,58	247,74	4,13
	1,0200E-04	9803,92	163,40	2,72
	1,3672E-04	7314,22	121,90	2,03
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	2,0616E-04	4850,60	80,84	1,35
	2,2352E-04	4473,87	74,56	1,24
	2,4089E-04	4151,27	69,19	1,15
	2,5825E-04	3872,22	64,54	1,08
	2,6693E-04	3746,30	62,44	1,04
H2005-2_128	1,0851E-05	92157,40	1535,96	25,60
	2,1701E-05	46080,83	768,01	12,80
	4,5573E-05	21942,82	365,71	6,10
	6,9444E-05	14400,09	240,00	4,00
	1,0417E-04	9599,69	159,99	2,67
	1,2587E-04	7944,70	132,41	2,21
	1,4974E-04	6678,24	111,30	1,86
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	2,0833E-04	4800,08	80,00	1,33
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14
LE2005-2_256	2,2786E-05	43886,60	731,44	12,19
	4,6658E-05	21432,55	357,21	5,95
	6,9444E-05	14400,09	240,00	4,00
	1,0417E-04	9599,69	159,99	2,67
	1,2695E-04	7877,12	131,29	2,19
	1,4974E-04	6678,24	111,30	1,86
	1,7253E-04	5796,09	96,60	1,61
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14
	2,6584E-04	3761,66	62,69	1,04

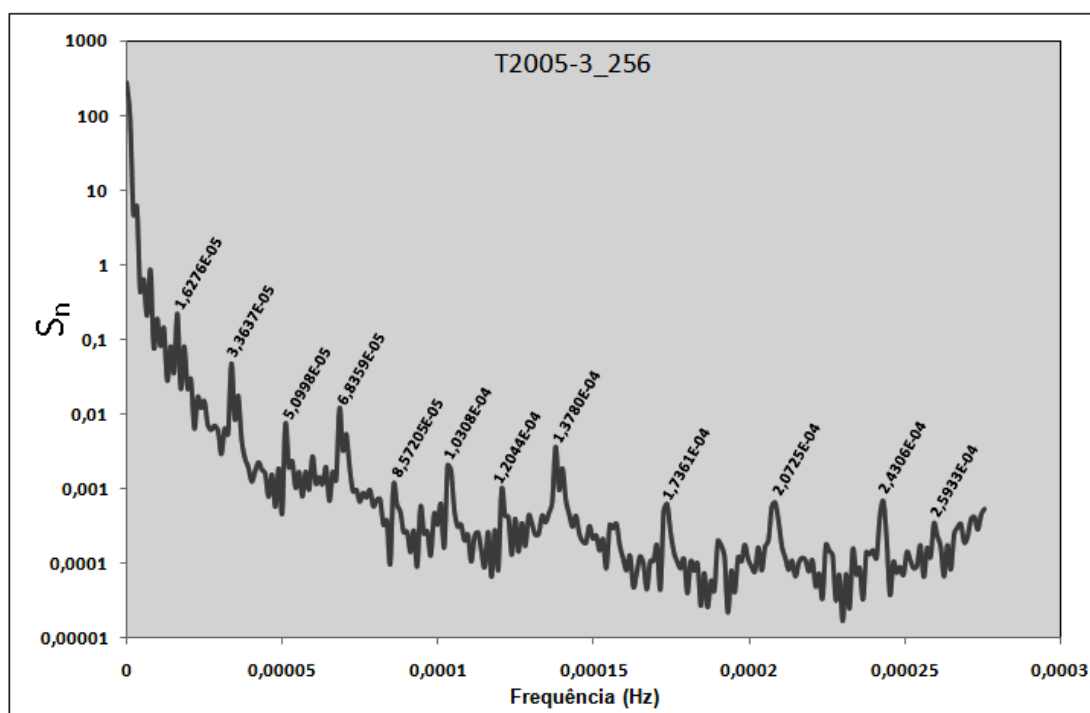


Figura 48: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), compreendida entre os dias 258 (1h00min) e 363 (10h30min) do ano 2005.

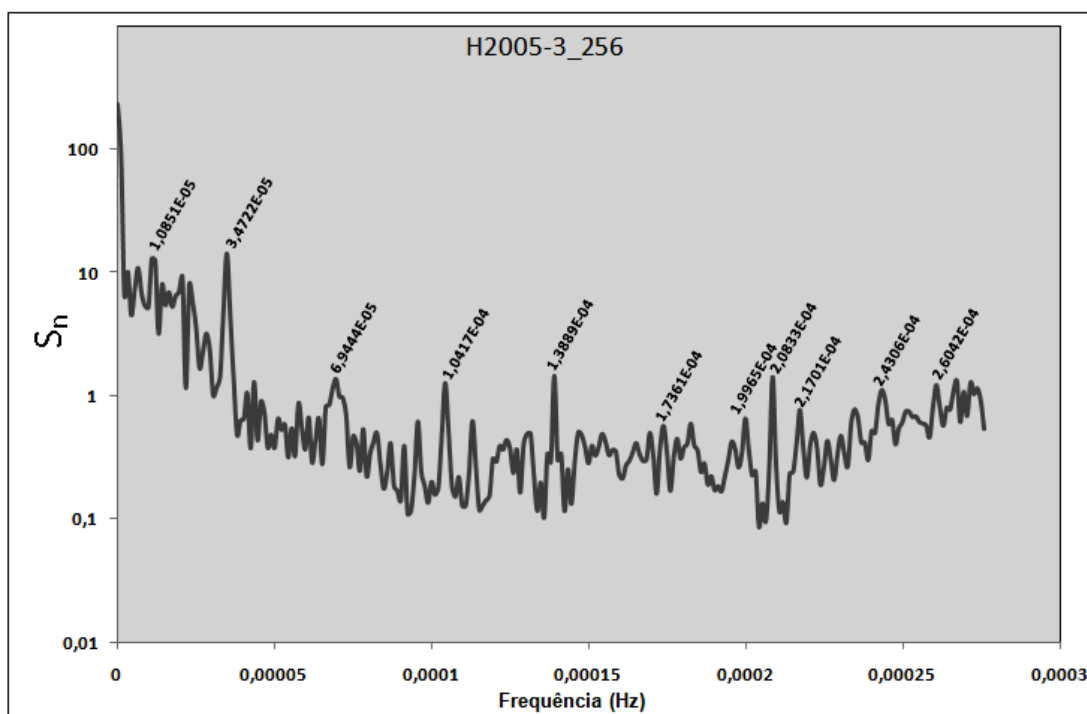


Figura 49: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m^2), compreendida entre os dias 258 (1h00min) e 363 (10h30min) do ano 2005.

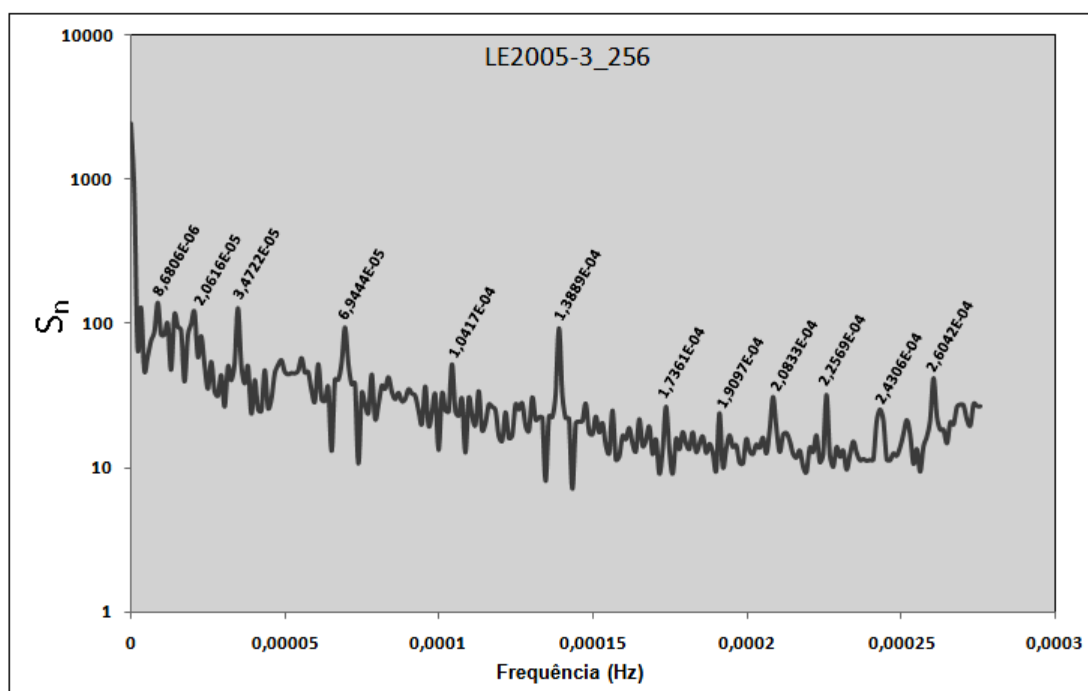


Figura 50: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente LE (W/m^2), compreendida entre os dias 258 (1h00min) e 363 (10h30min) do ano 2005.

As figuras 48, 49 e 50 representam os espectros de potência das variáveis em estudo, obtidos das séries temporais de dados, delimitadas pelos dias julianos 258 à 1h e 363 às 10h30m exibindo, portanto uma sequência de 5040 dados contínuos, a maior conseguida neste estudo. Estendendo-se pelos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro, as medições abrangem então, parte da estação seca e parte da estação úmida do ano. Convém salientar que, nestas séries de dados foi usado o recurso exposto na página 26 deste trabalho, exemplificado na figura 17 que consiste na aplicação de uma média dos dados posterior e antecessor a uma lacuna, produzida naturalmente por falha na medição ou armazenamento dos dados.

Na tabela 12 estão expostas as frequências significativas, retiradas dos gráficos, para cada uma das variáveis em estudo, onde constatamos não haver discrepância do comportamento observado nos outros espectros de potência analisados até aqui.

Tabela 12: Frequências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 190 (13h00min) e 212 (14h00min) do ano 2005.

	f (Hz)	τ (s)	τ (min)	τ (h)
T2005-3_256	1,6276E-05	61440,16	1024,00	17,07
	3,3637E-05	29729,17	495,49	8,26
	5,0998E-05	19608,61	326,81	5,45
	6,8359E-05	14628,65	243,81	4,06
	8,5721E-05	11665,82	194,43	3,24
	1,0308E-04	9701,20	161,69	2,69
	1,2044E-04	8302,89	138,38	2,31
	1,3780E-04	7256,89	120,95	2,02
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	2,0725E-04	4825,09	80,42	1,34
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14
	2,5933E-04	3856,09	64,27	1,07
H2005-3_256	1,0851E-05	92157,40	1535,96	25,60
	3,4722E-05	28800,18	480,00	8,00
	6,9444E-05	14400,09	240,00	4,00
	1,0417E-04	9599,69	159,99	2,67
	1,3889E-04	7199,94	120,00	2,00
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	1,9965E-04	5008,77	83,48	1,39
	2,0833E-04	4800,08	80,00	1,33
	2,1701E-04	4608,08	76,80	1,28
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14
	2,6042E-04	3839,95	64,00	1,07
LE2005-3_256	2,0616E-05	48506,01	808,43	13,47
	3,4722E-05	28800,18	480,00	8,00
	6,9444E-05	14400,09	240,00	4,00
	1,0417E-04	9599,69	159,99	2,67
	1,3889E-04	7199,94	120,00	2,00
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	1,9097E-04	5236,42	87,27	1,45
	2,0833E-04	4800,08	80,00	1,33
	2,2569E-04	4430,86	73,85	1,23
	2,4306E-04	4114,21	68,57	1,14
	2,6042E-04	3839,95	64,00	1,07

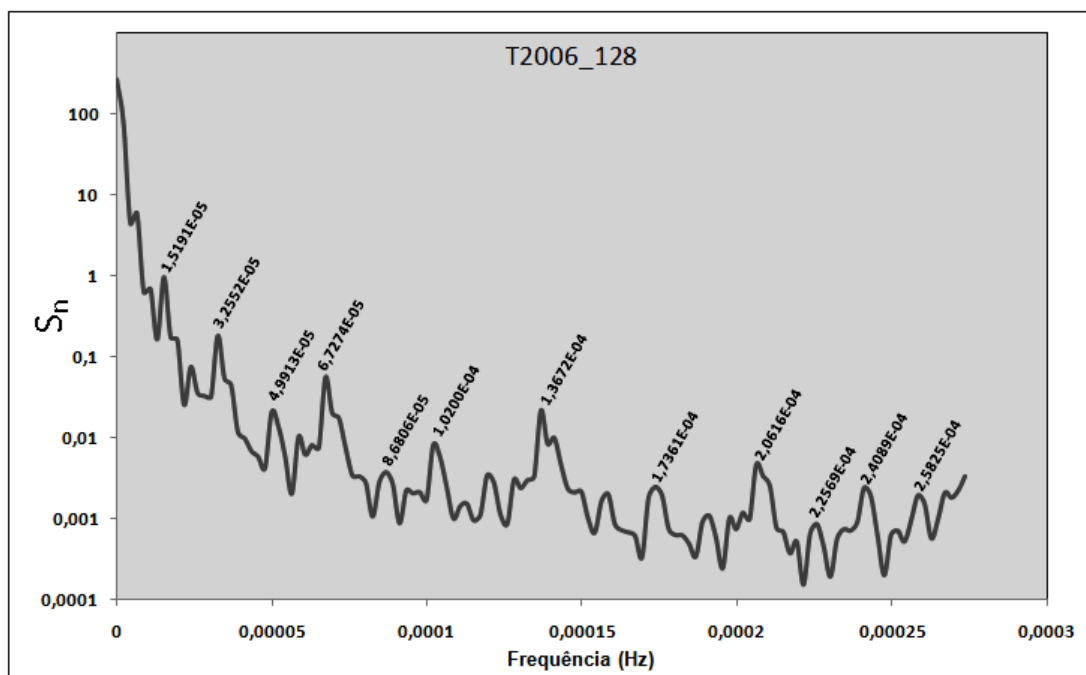


Figura 51: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), compreendida entre os dias 24 (12h30min) e 51 (09h00min) do ano 2006.

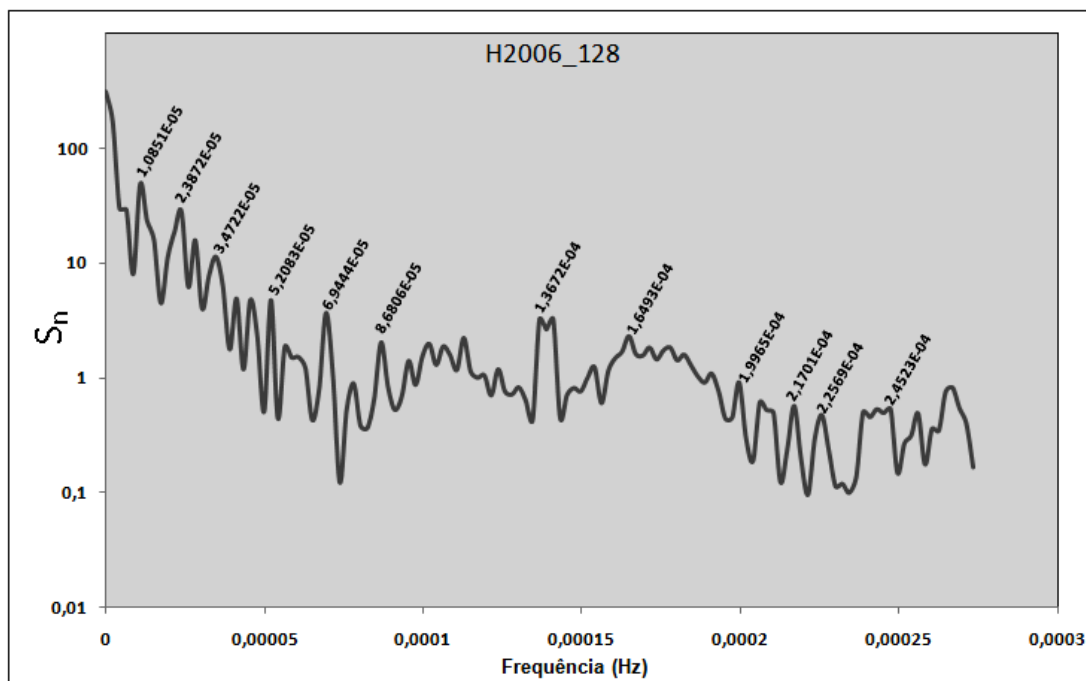


Figura 52: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Sensível H (W/m^2), compreendida entre os dias 24 (12h30min) e 51 (09h00min) do ano 2006.

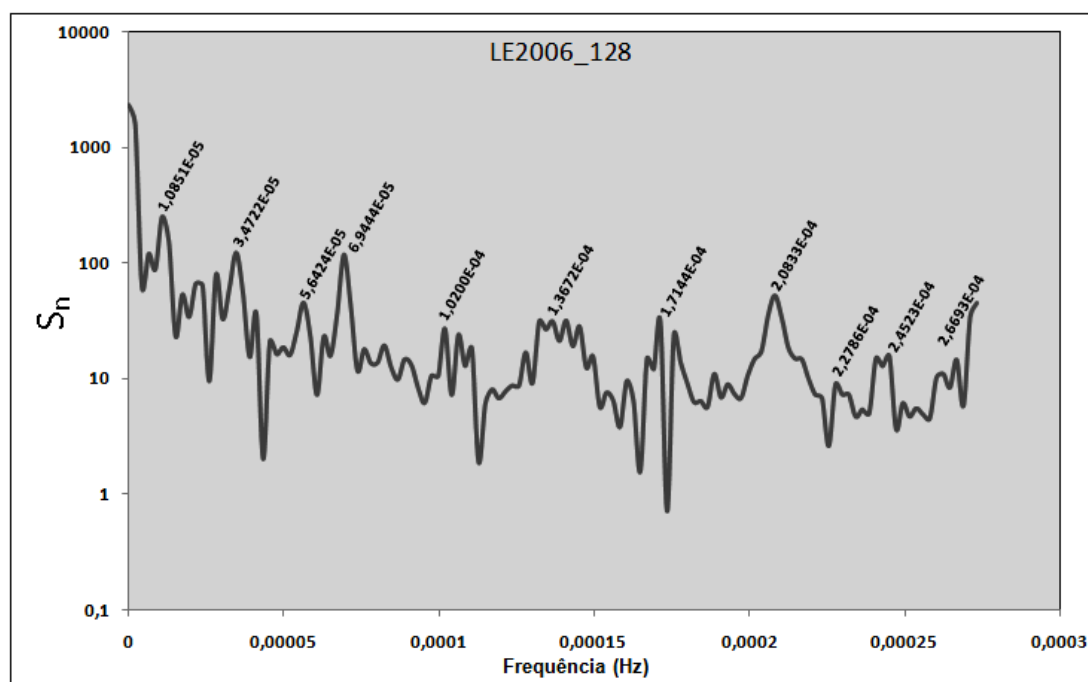


Figura 53: Espectro de Potências da série temporal de dados da variável Fluxo de Calor Latente **LE** (W/m^2), compreendida entre os dias 24 (12h30min) e 51 (09h00min) do ano 2006.

Os gráficos 51, 52 e 53 representam os espectros de potência obtidos pelo processamento das séries temporais das variáveis em estudo, com 1290 dados coletados entre os dias julianos 24 às 12h30m e 51 às 9h no ano 2006, abrangendo os meses de janeiro e fevereiro, reconhecidamente meses da estação úmida do ano. A tabela 13 traz as principais frequências observadas nesses gráficos, onde observamos o mesmo padrão de variação dos períodos que caracterizaram todos os gráficos até aqui estudados.

A tabela 14 nos proporciona uma visão global das principais frequências relacionadas a cada variável nas estações seca e úmida. Embora algumas frequências não apareçam claramente quando se analisa uma variável específica e uma série temporal específica, quando se analisa os dados como um todo, constata-se não haver diferença significativa entre uma variável e outra com relação às frequências dominantes, ou seja, os mesmos períodos de variação são observados para todas as variáveis estudadas, o que é um indício de forte acoplamento entre elas. De um modo

geral pode-se observar os seguintes períodos: 24h, 12h, 8h, 6h, 4h, 3h e, abaixo de 3h, uma série de períodos menores. Tais valores são aproximados, obviamente.

Outra verificação evidente é a presença maciça do período de 12h, para todas as variáveis estudadas, na estação seca do ano, ao contrário da estação úmida onde esse período quase não está presente. Essa constatação remete-nos à causa mais evidente deste resultado, ou seja, a cobertura de nuvens, fenômeno também periódico e sazonal apresentando um maior índice na estação úmida, alterando o padrão da distribuição da insolação nessa época do ano.

Observação semelhante pode ser anotada em relação ao período de 8h que teve registro concentrado também no período chuvoso do ano, notadamente nos anos mais recentes dentre os que forneceram dados usados no presente estudo. Também o período de 5,5h teve comportamento semelhante, isto é, maior registro na estação úmida do ano, mas com maior regularidade de distribuição entre as séries temporais escolhidas para estudo.

Sobre estas últimas constatações não podemos conjecturar nenhuma conclusão, a não ser a necessidade de estudo semelhante em outras áreas, inseridas em outros biomas, que possam fornecer dados comparativos.

Tabela 13: Frequências observadas, e respectivos períodos, para as variáveis micro-climatológicas em estudo, entre os dias 24 (12h30min) e 51 (09h00min) do ano 2006.

	f (Hz)	τ (s)	τ (min)	τ (h)
T2006_128	1,5191E-05	65828,45	1097,14	18,29
	3,2552E-05	30720,08	512,00	8,53
	4,9913E-05	20034,86	333,91	5,57
	6,7274E-05	14864,58	247,74	4,13
	8,6806E-05	11519,94	192,00	3,20
	1,0200E-04	9803,92	163,40	2,72
	1,3672E-04	7314,22	121,90	2,03
	1,7361E-04	5760,04	96,00	1,60
	2,0616E-04	4850,60	80,84	1,35
	2,2569E-04	4430,86	73,85	1,23
	2,4089E-04	4151,27	69,19	1,15
	2,5825E-04	3872,22	64,54	1,08
H2006_128	1,0851E-05	92157,40	1535,96	25,60
	2,3872E-05	41890,08	698,17	11,64
	3,4722E-05	28800,18	480,00	8,00
	5,2083E-05	19200,12	320,00	5,33
	6,9444E-05	14400,09	240,00	4,00
	8,6806E-05	11519,94	192,00	3,20
	1,3672E-04	7314,22	121,90	2,03
	1,6493E-04	6063,18	101,05	1,68
	1,9965E-04	5008,77	83,48	1,39
	2,1701E-04	4608,08	76,80	1,28
	2,2569E-04	4430,86	73,85	1,23
	2,4523E-04	4077,80	67,96	1,13
LE2006_128	1,0851E-05	92157,40	1535,96	25,60
	3,4722E-05	28800,18	480,00	8,00
	5,6424E-05	17722,95	295,38	4,92
	6,9444E-05	14400,09	240,00	4,00
	1,0200E-04	9803,92	163,40	2,72
	1,3672E-04	7314,22	121,90	2,03
	1,7144E-04	5832,94	97,22	1,62
	2,0833E-04	4800,08	80,00	1,33
	2,2786E-04	4388,66	73,14	1,22
	2,4523E-04	4077,80	67,96	1,13
	2,6693E-04	3746,30	62,44	1,04

Tabela 14: Tabela resumo dos períodos $\tau(h)$, relativos às frequências dominantes das variáveis em estudo.

SÉRIES TEMPORAIS RELATIVAS AO PERÍODO DE ESTAÇÃO SECA																SÉRIES TEMPORAIS RELATIVAS AO PERÍODO DE ESTAÇÃO ÚMIDA																					
τ (h)	2001-2			2001-3			2003-2			2003-3			2005-1			2005-2			τ (h)	1999			2001-1			2002			2003-1			2005-3			2006		
	T	H	LE	T	H	LE	T	H	LE	T	H	LE	T	H	LE	T	H	LE		T	H	LE	T	H	LE	T	H	LE	T	H	LE	T	H	LE			
24	X	X	X				X	X	X	X						X	X		24	X	X	X		X	X						X	X		X	X		
20														X					20								X										
18					X						X								18				X			X					X			X			
16																			16							X	X										
14																			14												X						
12,5		X	X			X	X			X	X				X	X	X	X	12,5		X	X															
11,5													X	X					11,5						X								X				
10,5																			10,5									X	X								
9,5																			9,5					X	X												
9			X											X					9			X						X									
8,5	X				X			X			X					X			8,5	X			X			X				X			X				
8						X			X	X									8							X	X		X	X		X	X		X		
7,5		X																	7,5		X																
6,5																			6,5					X	X			X									
6		X				X											X	X	6		X			X	X												
5,5					X						X	X							5,5				X			X	X	X	X		X			X	X		
5											X		X		X				5															X			
4,5														X		X			4,5									X									
4	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	4	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X			
3,5	X																		3,5	X		X				X	X		X	X	X		X				
3	X	X	X	X			X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
2,5		X	X	X	X	X					X	X					X		2,5		X					X	X		X	X	X						
2	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
1,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			

5 - CONCLUSÃO

Os resultados obtidos são concludentes para afirmarmos que o método do “espectro de potências”, originado de uma variante da Análise de Fourier, a Transformada Rápida de Fourier ou FFT, foi efetivo para a identificação de frequências dominantes para os dados micro-climatológicos da floresta de transição em estudo, no município de Sinop - MT. Os valores encontrados são coerentes com os de PINHEIRO (2008) que, realizando estudo no mesmo local e utilizando a Análise de Fourier Simples, obteve as frequências correspondentes aos períodos de 24, 12, 4 e 3 horas.

Neste estudo, além dessas frequências, foram encontradas outras, correspondentes a 8 horas e menores que 3 horas. A razão desta diferença entre os resultados de PINHEIRO (2008) e os deste trabalho pode dever-se a uma maior quantidade de dados analisados, o que resultou numa maior precisão para frequências mais altas.

Não foram observadas diferenças significativas entre as frequências dominantes das três variáveis estudadas, sugerindo um acoplamento, ou influência mútua entre elas, bem como a mesma sujeição a fatores externos. Embora o objetivo deste trabalho tenha sido apenas identificar as frequências dominantes, pode-se levantar hipóteses acerca do significado de cada uma delas. Claramente, o período de 24 horas corresponde à variação diária do fluxo energético proveniente da radiação solar. Contudo, os períodos de 12 e 8 horas também podem estar relacionados à radiação solar. O primeiro período devido ao fato de que o ecossistema fica efetivamente submetido à radiação durante 12 horas (fase diurna). Já o período de 8h pode estar relacionado ao tempo em que efetivamente as folhas ficam submetidas à radiação solar direta, já que, enquanto o Sol está relativamente próximo do horizonte,

o dossel como um todo pode projetar sombra sobre a maioria das folhas, ficando estas submetidas apenas à radiação solar difusa.

Essa hipótese pode ser testada através do espectro de potências de dados obtidos em outros ecossistemas. É de se esperar, por exemplo, que a vegetação rasteira típica de pastagem fique submetida à radiação solar direta em praticamente todo o dia. Assim, se a hipótese estiver correta, o pico de 8h não deve ser obtido. Já em outros ecossistemas, como por exemplo, na região dos cambarás no Pantanal, é possível que as folhas fiquem efetivamente expostas à radiação solar direta durante um tempo diferente de 8h, já que o dossel tem outras características morfológicas e outro índice de área foliar.

Os períodos intermediários de 6, 4 e 3 horas podem estar relacionados a outros fatores. A hipótese que estamos considerando corresponde à dinâmica de abertura dos estômatos, já que o intervalo de tempo em que ficam abertos e fechados (totalmente ou parcialmente) durante o dia é da ordem desses períodos intermediários.

No período de chuvas foi observado um número maior de frequências dominantes e, período de 6 horas aparece como uma frequência dominante apenas na estação úmida. Neste trabalho não há subsídios para conclusões a respeito desses fatos, ficando como sugestão para futuros estudos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABARBANEL, H. D. I; BROW, R.; SIDOROWICH, J. J.; TSIMRING, L. SH. **The Analysis of Observed Chaotic Data in Physical Systems.** Review of Modern Physics. Vol. 65, n. 4, p.1343-1347. 1993

ARAÚJO, A.C., A.D. NOBRE, B. KRUIJITZ, A.D. CULD, STEFANI, J. ELBER, DALLAROSA, C. RANDOW, A.O. MANZI, R. VALENTINI, J.H.C. GASH, P. KABAT, 2002. **Estudo de longo prazo das torres duplas sobre os fluxos de dióxido de carbono para uma floresta úmida da Amazônia Central,** Journal of Geophysical Research.

BALDOCCHI, D.D. & WILSON, K.D. 2001. **“Modelling CO₂ and water vapor exchange of a temperate broadleaved forest across hourly to decadal time scales.”** *Ecological Modelling* 142: 155-184.

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

BECKER, B.K., 1997. **Amazônia** (Ática, São Paulo)

BNDES, 1999. **Efeito Estufa e a Convenção sobre a Mudança do Clima.** Publicado por: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Assessoria Especial de Meio Ambiente & Ministério da Ciência e Tecnologia, Coordenação de Pesquisa em Mudança do Clima.

CARVALHO JR, J. A.; HIGUSHI, N.; ARAUJO, T. M.; & SANTOS, J. C., 1998. **Combustion Completeness in a Rainforest Clearing Experiment in Manaus, Brazil.** Journal of Geophysical Research v. 103, n. D11, pp. 13195-13199.

CECCON, E.; MIRAMONTES, O., 1999. **Mecanismos y actores sociales de la deforestación en la Amazonia Brasileña.** Interciência. México, v. 24, n. 2, p.112-119.

FUJISAKA, S.; ASTILLA, C.; SCOBAR, G.; RODRIGUES, V.; VENEKLAAS, E.J.; THOMAS, R.; FISHER, M., 1998. **The effects of forest conversion on annual crops and pastures: estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony.** Agriculture, Ecosystems and Environment. v.69, p.17-26.

GASH, J.H.C., NOBRE, C.A., ROBERTS, J.M., VICTORIA, R.L. (EDTS), 1996. **Amazonian Deforestation and Climate.** (John Wiley and Sons, New York)

GRIFFS, T.J AND W.R.ROUSE. **Modelling the interannual variability of net ecosystem CO₂ exchange at a subarctic sedge fen.** Global Change Biology, 7, p.511-530, 2001.

HOLLINGER, D.Y., ABER, J., DAIL, B., DAVIDSON, E.A., GOLTZ, S.M., HUGHES, H., LECLERC, M.Y., LEE, J.T., RICHARDSON, A.D., RODRIGUES, C., SCOTT, N.A., ACHUATAVARIER, A. AND WALSH, J.- **Spatial and temporal variability in forest-atmosphere CO₂ exchange.** Global Change Biology, 10, p.1689-1706, 2004.

HOUGHTON, R.A., D.L. SKOLE, C.A. NOBRE, J.L. HACKLER, K.T. LAWRENCE & W.H. CHOMENTOWSKI, 2000. **“Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon.”** Nature, 403:301-304.

HOUGHTON, R. A., 1994. **As Florestas e o Ciclo de carbono Global: Armazenamento e Emissões Atuais.** . In: *Anais do Seminário Emissão x Seqüestro de CO₂*. Rio de Janeiro, Companhia Vale do Rio Doce.

IBGE, 1997 in LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; SOBRAL, L.; **Fatos Florestais da Amazônia** 2003. Belém. Imazon. 2003. 110p

IPCC, 1990. **Cambio Climatico: Evaluación Científica del IPCC.** Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climatico. Ed. Instituto Nacional de Meterologia & Centro de Publicaciones Del Ministerio de Obras Publicas y Transportes. Madrid, España.

KELLER, M., D.A.CLARK, A.M. WEITZ & E. VELDKAMP, 1996. **“If a tree fals in the forest.”** Science, 273:201.

MACHADO, L., 1998. **A fronteira agrícola na Amazônia.** In: *Geografia e Meio Ambiente no Brasil*. Organizadores BECKER, B.K. *et al.* (Hucitec, São Paulo).

MALHI, Y., A.D. NOBRE, J. GRACE, B. KRUIJTZ, M.G.P. PEREIRA, A.CULF & S. SCOTT, 1998. **“Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain Forest.”** Journal of Geophysical Research, D24: 31593-31612.

MALHI, Y., D.D. BALDOCHI & P.G. JARVIS, 1999. **The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests.** Plant, Cell and Environment, 22:715-740.

MONCRIEFF, J.B., MASSHEDER, J.M., DE BRUIN, H.A.R., ELBERS, J., FRIBORG, T., HEUSINKVELD, B., KABAT, P., SCOTT, S., SOEGAARD, H., VERHOEF, A. **A system to measure surface fluxes of momentum, sensible heat, water vapour and carbon dioxide.** J. Hydrol., v. 188-189, p. 589-611, 1997.

MOREIRA, A.G.,SCHAWARTZMAN,S. 2000. **As Mudanças Climáticas Globais e os Ecossistemas Brasileiros.** Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia; The Woods Hole Research Center; Evironmental Defense.

MOUTINHO, P. & NEPSTAD, D. – **As funções ecológicas dos ecossistemas florestais: implicações para a conservação e uso da biodiversidade Amazônica.** Seminário de consulta – Macapá – 21 a 25 de Setembro de 1999.

MYERS, NORMAN. **The anatomy of environmental action: the case of tropical deforestation.** In: HURRELL, A. e KINGSBURY, B. (eds). **The international politics of the environment.** Oxford: Clarendon Press, 1992. PORTER, G. E BROWN, J.W. **Global environmental politics.**

NICOLIS, G. AND PRIGOGINE, I. **Exploring complexity.** New York: W.H. Freeman and Company, 1989, 313p.

NOBRE, A., Y. MALHI, A.C. CULF, A.D. DOLMAN, J. ELBERS, B. KRUIJTZ, C. RANDOW, A.O. MANZI, J. GRACE, P. KABAT, 2000. **Multiyear comparative analysis of NEP and environmental factors for Manaus rainforest:** LBA Science Conference, 25-30 de junho, Belém, PA, Brasil.

OLIVEIRA, P.J. et al . **Meteorological effects of a cold spell event over Amazonia: a case study.** Acta Amaz. , Manaus, Vol. 34, nº. 4, 2004 . Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044596720040004013&lng=en&nrm=iso.

PINHEIRO, M. R. - **Frequências dominantes de variáveis micrometeorológicas de uma floresta de transição do norte de Mato Grosso pelo método das Séries de Fourier,** 2008. 50p. Dissertação de Mestrado. UFMT, Cuiabá – MT, 2008

PHILLIPS, O.L., Y. MALHI, N. HIGUCHI, W.F. LAURENCE, R.M. NÚÑEZ, D.J.D. VÁXQUEZ, L.V. LAURENCE, S.G., FERREIRA, M. STERN, S. BROWN & J. GRACE, 1998. **Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots.** Science 282: 439-442.

PLATT, T. AND DENMAN, K.L. **Spectral analysis in ecology.** Annual Review of Ecology and Systematics, 6, p.189-210, 1975.

PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997. **Protocolo de Quioto**. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil.

SMITH, N.J.H., SERRÃO, E.A.S., ALVIM, P.T., FALESI, I.C., 1995. **Amazonia: Resiliency and dynamism of the land and its people** (Tokyo: United Nations University Press).

TANNUS, R. N. **Funcionalidade e Sazonalidade sobre Cerrado e sobre ecótono Floresta-Cerrado: uma investigação com dados micro-meteorológicos de energia e CO₂**. 2004. 92p. Dissertação de Mestrado, ESALQ, Piracicaba, 2004.

TONG, H & L.E.HIPPS. **The effect of turbulence on the light environment of alfafa**. Agricultural and Forest Meteorology, 80, p. 249-261, 1996.

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, Vol. 38, nº 6, p. 30-1 - 30-11, 2001, 2002.

VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. S.; CASEIRO, F. T.; 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, 2002.

ANEXO

CÓDIGO FONTE DO PROGRAMA POWER SPECTRA.EXE

```

#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

FILE *fp_data;
float far p[16100];

#define SWAP(a,b) tempr=(a);(a)=(b);(b)=tempr
void four1(float data[], unsigned long nn, int isign)
// Replaces data [1..2*nn] by its discrete Fourier transform, if isign is input as 1; or
// replaces data [1..2*nn] by nn times its inverse discrete Fourier transform, if isign is
// input as ?1.data is a complex array of length nn or, equivalently, a real array of
// length 2*nn. nn MUST be an integer power of 2 (this is not checked for!).
{
    unsigned long n,mmax,m,j,istep,i;
    double wtemp,wr,wpr,wpi,wi,theta, tempr,tempi;
    n=nn << 1;
    j=1;
    for (i=1;i<n;i+=2) {
        if (j > i) {
            SWAP (data [j], data [i]);
            SWAP (data [j+1], data [i+1]);
        }
        m=n >> 1;
        while (m >= 2 && j > m) {
            j -= m;
            m >>= 1;
        }
        j += m;
    }
    mmax=2;
    while (n > mmax) { //Outer loop executed log2 nn times.
        istep=mmax << 1;
        theta=isign*(6.28318530717959/mmax);
        wtemp=sin(0.5*theta);
        wpr = -2.0*wtemp*wtemp;
        wpi=sin(theta);
        wr=1.0;
        wi=0.0;
        for (m=1;m<mmax;m+=2) {
            for (i=m;i<=n;i+=istep) {
                j=i+mmax;

```

```

        wr*data [j]-wi*data [j+1];
        tempi=wr*data [j+1]+wi*data [j];
        data [j]=data [i]-tempr;
        data [j+1]=data [i+1]-tempi;
        data [i] += tempr;
        data [i+1] += tempi;
    }
    wr=(wtemp=wr)*wpr-wi*wpi+wr;
    wi=wi*wpr+wtemp*wpi+wi;
}
mmax=istep;
}
}

```

```
/*
```

```
#include "nrutil_c.h"
```

```
void convlv(float data[], unsigned long n, float respns [], unsigned long m,
int isign, float ans[])
```

//Convolves or deconvolves a real data set data[1..n] (including any user-supplied zero padding) with a response function respns[1..n]. The response function must be stored in wrap-around order in the _rst m elements of respns, where m is an odd integer $\leq n$. Wrap-around order means that the _rst half of the array respns contains the impulse response function at positive times, while the second half of the array contains the impulse response function at negative times, counting down from the highest element respns[m]. On input isign is +1 for convolution, -1 for deconvolution. The answer is returned in the _rst n components of ans. However, ans must be supplied in the calling program with dimensions [1..2*n], for consistency with twofft. n MUST be an integer power of two.

```

{
void reallft(float data[], unsigned long n, int isign);
void twofft(float data1[], float data2[], float fft1[], float fft2[],
unsigned long n);
unsigned long i,no2;
float dum,mag2,*fft;
fft=vector(1,n<<1);
for (i=1;i<=(m-1)/2;i++)
    respns[n+1-i]=respns[m+1-i];
for (i=(m+3)/2;i<=n-(m-1)/2;i++)
    respns[i]=0.0;
twofft(data,respns,fft,ans,n);
no2=n>>1;
for (i=2;i<=n+2;i+=2) {
if (isign == 1) {
ans[i-1]=(fft[i-1]*(dum=ans[i-1])-fft[i]*ans[i])/no2;      ans[i]=(fft[i]*dum+fft[i-
1]*ans[i])/no2;
} else if (isign == -1) {
if ((mag2=SQR(ans[i-1])+SQR(ans[i])) == 0.0)

```

```

        nrrerror("Deconvolving at response zero in convlv");
        ans[i-1]=(fft[i-1]*(dum=ans[i-1])+fft[i]*ans[i])/mag2/no2;
        ans[i]=(fft[i]*dum-fft[i-1]*ans[i])/mag2/no2;    } else nrrerror("No
meaning for isign in convlv");
    }
    ans[2]=ans[n+1];
    realft(ans,n,-1);
    free_vector(fft,1,n<<1);
}

```

```

*/
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include "nrutil_c.h"
#define WINDOW(j,a,b) (1.0-fabs((((j)-1)-(a))*(b))) /* Bartlett */
/* #define WINDOW(j,a,b) 1.0 */ /* Square */
/* #define WINDOW(j,a,b) (1.0-SQR((((j)-1)-(a))*(b))) */ /* Welch */
#define SQR(a) ((a)*(a))

```

void spectrm(FILE *fp, int m, int k, int overlap)
//Reads data from input stream speci_ed by _le pointer fp and returns as p[j] the
data's power (mean square amplitude) at frequency (j-1)/(2*m) cycles per gridpoint,
for j=1,2,...,m, based on (2*k+1)*m data points (if overlap is set true (1)) or 4*k*m
data points (if overlap is set false (0)). The number of segments of the data is 2*k in
both cases: The routine calls four1 k times, each call with 2 partitions each of 2*m
real data points.

```

{
//void four1(float data[], unsigned long nn, int isign);
int mm,m44,m43,m4,kk,joffn,joff,j2,j;
float w,facp,facm,*w1,*w2,sumw=0.0,den=0.0;
char rdFN[300];
mm=m+m;
m43=(m4=mm+mm)+3;
m44=m43+1;
w1=vector(1,m4);
w2=vector(1,m);
facm=m;
facp=1.0/m;
for (j=1;j<=mm;j++) sumw += SQR(WINDOW(j,facm,facp));
//Accumulate the squared sum of the weights.
for (j=1;j<=m;j++) p[j]=0.0;
if (overlap)
    for (j=1;j<=m;j++) fscanf(fp,"%f",&w2[j]);
for (kk=1;kk<=k;kk++) {
//Loop over data set segments in groups of two.
    for (joff = -1;joff<=0;joff++) {
        if (overlap) {
            for (j=1;j<=m;j++) w1[joff+j+j]=w2[j];

```

```

        for (j=1;j<=m;j++)
        {
            fscanf(fp,"%f",&w2[j]);
            //printf("\nw2[%d]= %f",j,w2[j]);
            //scanf("%s",rdFN);
        }
joffn=joff+mm;
for (j=1;j<=m;j++) w1[joffn+j]=w2[j];
    } else {
        for (j=joff+2;j<=m4;j+=2)
        {
            fscanf(fp,"%f",&w1[j]);
            printf("\nw2[1]= %f",w1[j]);

        }
    }
}
}
    for (j=1;j<=mm;j++) {
j2=j+j;
w=WINDOW(j,facm,facp);
    w1[j2] *= w;
    w1[j2-1] *= w;

    }
four1(w1,mm,1);
p[1] += (SQR(w1[1])+SQR(w1[2]));
for (j=2;j<=m;j++) {
j2=j+j;
p[j] += (SQR(w1[j2])+SQR(w1[j2-1])
+SQR(w1[m44-j2])+SQR(w1[m43-j2]));
    //printf("\np[%d] = %f",j,p[j]);
    //scanf("%s",rdFN);

}
den += sumw;
}
den *= m4;
for (j=1;j<=m;j++) p[j] /= den;
free_vector(w2,1,m);
free_vector(w1,1,m4);
}
main()
{
    char rdFN[300],rdFName[300];
    float number_of_data;
    int number_of_intervals;
    int i,k;
    strcpy(rdFName,"c:\\powsp\\");
    printf("\nThe data must be in the folder c:\\powsp\\ \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:\n");
    scanf("%f",&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("\nPlease enter the number of intervals:\n");
    scanf("%d",&number_of_intervals);
    //number_of_intervals=64;
// number_of_intervals (the third argument of spectrm) must be equal to a integer
power of 2
// k must be limited in order to not overcome the size of the data file
    k = (int)(number_of_data/(2*number_of_intervals)) - 1;
    printf("\nk=%d\n",k);
    //    scanf("%s",rdFN);
    spectrm(fp_data, number_of_intervals, k, 1);
    fclose(fp_data);
// save powerspectra data
    strcpy(rdFName,"c:\\powsp\\result.dat");
    if((fp_data = fopen(rdFName,"w"))==NULL)
    {
        printf("Cannot open output file\n");
        printf("%s\n",rdFName);
        scanf("%s",rdFN);
        return 1;
    }
    for(i=0;i<number_of_intervals;i++) fprintf(fp_data,"%f\n",p[i]);
    fclose(fp_data);

}

```