

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

**ESTUDO DA DINÂMICA DE VARIÁVEIS MICROCLIMATOLÓGICAS
DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SUPERFÍCIE DO
DESTACAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO DE CUIABÁ**

LÚCIO ÂNGELO VIDAL

PROF. DR. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO
Orientador

Cuiabá-MT, Março de 2009.

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

**ESTUDO DA DINÂMICA DE VARIÁVEIS MICROCLIMATOLÓGICAS
DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SUPERFÍCIE DO
DESTACAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO DE CUIABÁ**

LÚCIO ÂNGELO VIDAL

*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 2009.

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Genésia e Luciano;
A minha namorada Conceição;
Ao meu amigo Miquéias(In Memoriam) &
Família
dedico meu trabalho.*

AGRADECIMENTOS

- Agradeço a Deus;
- Aos meus pais;
- A minha namorada;
- A Miquéias (In Memoriam);
- Ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Roberto de Paulo pela paciência e incentivo;
- Ao Prof. Dr José de Souza Nogueira pelo grande coração;
- Ao Prof Dr Marcelo Sacardi Biudes pela revisão desta dissertação;
- Aos meus amigos da Física Ambiental: Edna, Nara, Flair, Guilherme, Carlos Uéslei, Franciele e Paulo;
- Ao comandante do DTCEA-CY, Major Alexandre, pela cessão dos dados;
- A todos os sargentos da divisão de Meteorologia do DTCEA-CY;
- A todos os sargentos do Serviço de Informações Aeronáuticas bem como aos sargentos Fabrício e Stoffelshaus da Estação de Comunicações.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS.....	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
2.1 TEMPERATURA	3
2.2 PRESSÃO ATMOSFÉRICA.....	4
2.3 VENTO	7
2.4 UMIDADE DO AR	8
2.5 PRECIPITAÇÃO	10
2.6 SÉRIES	11
2.7 SÉRIES DE FOURIER.....	11
2.8 TEORIA DA COMPLEXIDADE.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
3.2 CARACTERIZAÇÃO GEOCLIMÁTICA DA ÁREA DE ESTUDO.	22
3.3 METODOLOGIA	22
3.4 ANÁLISES	23
3.4.1 Fourier	23
3.4.2 Power Spectrum	24
3.4.3 Mutual Information	24
3.4.4 Heaviside.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26

4.1 COMPORTAMENTO DOS PARÂMETROS MICROMETEOROLÓGICOS..	26
4.2 ANÁLISE DE FOURIER	30
4.3 ANÁLISE POWER SPECTRUM	42
4.4 ANÁLISE MINF.....	48
4.5 ANÁLISE HEAVISIDE	54
5 CONCLUSÕES	61
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - A experiência de Torricelli.....	05
Figura 02 - Comportamento complexo de um sistema simples formado por dois pêndulos	15
Figura 03 - O comportamento simples de um sistema complexo	16
Figura 04 - Localização de várzea grande no estado de Mato Grosso.....	21
Figura 05 - Média mensal das temperaturas máximas, médias e mínimas diárias em função do tempo em Várzea Grande de 1983 a 2007	26
Figura 06 - Média mensal das pressões atmosféricas máximas, médias e mínimas diárias em função do tempo em Várzea Grande de 1983 a 2007	27
Figura 07 - Total de precipitação mensal em função do tempo em Várzea Grande de 1983 a 2007.....	28
Figura 08 - Média mensal das umidades relativas médias diárias em função do tempo em Várzea Grande de 1983 a 2007	28
Figura 09 - Média mensal da intensidade do vento máximo diário em função do tempo em Várzea Grande de 1983 a 2007	29
Figura 10.- Direção do vento máximo mensal em função do tempo em Várzea Grande de 1983 a 2007	29
Figura 11 - Coeficiente A_n de Fourier para a direção do vento.....	30
Figura 12 - Coeficiente B_n de Fourier para a direção do vento.....	30
Figura 13 - Coeficiente A_n de Fourier para a intensidade do vento	31
Figura 14 - Coeficiente B_n de Fourier para a intensidade do vento	31
Figura 15 - Coeficiente A_n de Fourier para a quantidade de precipitação	32
Figura 16 - Coeficiente B_n de Fourier para a quantidade de precipitação.....	32
Figura 17 - Coeficiente A_n de Fourier para a duração de precipitação	33
Figura 18 - Coeficiente B_n de Fourier para a duração de precipitação.....	33
Figura 19 - Coeficiente A_n de Fourier para a umidade relativa.....	34
Figura 20 - Coeficiente B_n de Fourier para a umidade relativa.....	34
Figura 21 - Coeficiente A_n de Fourier para a pressão máxima	35
Figura 22 - Coeficiente B_n de Fourier para a pressão máxima.....	35
Figura 23 - Coeficiente A_n de Fourier para a pressão média.....	36

Figura 24 - Coeficiente B_n de Fourier para a pressão média.....	36
Figura 25 - Coeficiente A_n de Fourier para a pressão mínima	37
Figura 26 - Coeficiente B_n de Fourier para a pressão mínima	37
Figura 27 - Coeficiente A_n de Fourier para a temperatura máxima	38
Figura 28 - Coeficiente B_n de Fourier para a temperatura máxima.....	38
Figura 29 - Coeficiente A_n de Fourier para a temperatura média	39
Figura 30 - Coeficiente B_n de Fourier para a temperatura média.....	39
Figura 31 - Coeficiente A_n de Fourier para a temperatura mínima	40
Figura 32 - Coeficiente B_n de Fourier para a temperatura mínima	40
Figura 33 - Potência versus frequência para a direção do vento com número de intervalos igual a 128.....	42
Figura 34 - Potência versus frequência para a intensidade do vento com número de intervalos igual a 128.....	42
Figura 35 - Potência versus frequência para a precipitação com número de intervalos igual a 128.....	43
Figura 36 - Potência versus frequência para a duração de precipitação com número de intervalos igual a 128	43
Figura 37 - Potência versus frequência para a umidade relativa com número de intervalos igual a 128.....	44
Figura 38 - Potência versus frequência para a pressão máxima com número de intervalos igual a 128.....	44
Figura 39 - Potência versus frequência para a pressão média com número de intervalos igual a 128.....	45
Figura 40 - Potência versus frequência para a pressão mínima com número de intervalos igual a 128.....	45
Figura 41 - Potência versus frequência para a temperatura máxima com número de intervalos igual a 128.....	46
Figura 42 - Potência versus frequência para a temperatura média com número de intervalos igual a 128.....	46
Figura 43 - Potência versus frequência para a temperatura mínima com número de intervalos igual a 128.....	47
Figura 44 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em	

dias para a velocidade do vento	48
Figura 45 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a direção do vento.....	49
Figura 46 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a quantidade de precipitação	49
Figura 47 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a duração de precipitação	50
Figura 48 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a umidade relativa.....	50
Figura 49 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a pressão máxima	51
Figura 50 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a pressão média.....	51
Figura 51 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a pressão mínima	52
Figura 52 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a temperatura máxima	52
Figura 53 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a temperatura média	53
Figura 54 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a temperatura mínima	53
Figura 55 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a intensidade do vento	55
Figura 56 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a intensidade do vento	55
Figura 57 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a quantidade de precipitação.....	56
Figura 58 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a umidade relativa.....	56
Figura 59 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a pressão máxima.....	57
Figura 60 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a	

pressão média.....	57
Figura 61 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a pressão mínima	58
Figura 62 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a temperatura máxima	58
Figura 63 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a temperatura média.....	59
Figura 64 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a temperatura mínima	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Periodicidade em dias obtidas no gráfico de A_n para as Variáveis Micrometeorológicas com a Análise de Fourier.....	41
Tabela 02 - Periodicidade em dias obtidas no gráfico de B_n para as Variáveis Micrometeorológicas com a Análise de Fourier.....	41
Tabela 03 - Periodicidade em dias para as Variáveis Micrometeorológicas obtido através da Análise Power Spectrum.....	48
Tabela 04 - Defasagem Temporal para a Menor Informação Mútua para as Variáveis Micrometeorológicas	54
Tabela 05 - Dimensionalidade dos Atratores e do Espaço de Fase das Variáveis Micrometeorológicas	60

LISTA DE SÍMBOLOS

n - a ordem correspondente ao pico significativo

g - aceleração gravitacional

Atm- Atmosfera (unidade de pressão)

R - Constante Universal dos Gases

DTCEA-CY- Destacamento de Controle do Espaço aéreo de Cuiabá

d - dimensionalidade do atrator

EMS- Estação Meteorológica de Superfície

f - frequência

- massa de ar seco

- massa de vapor de água

ρ_v - massa específica da água

ρ_a - massa específica do ar seco

- massa molecular aparente de um gás ideal

$\overline{v^2}$ - média do quadrado da velocidade

mmHg- milímetro de mercúrio

M - mol de um gás ideal

Pa- Pascal(unidade de pressão)

- pressão a que esta submetida uma massa de ar seco

- pressão a que está submetida uma massa de vapor de água

p - pressão atmosférica

P - pressão de vapor de um gás

- pressão de vapor de um gás no ponto triplo

r - razão de mistura

T - Temperatura absoluta em Kelvin

T_a - temperatura do ar

t - temperatura em Celsius

- temperatura em graus Fahrenheit

q - umidade específica

m/s- unidade de velocidade em metros por segundo

kt- unidade de velocidade em nós

V - volume ocupado por um gás

RESUMO

VIDAL, L. A. *Estudo da Dinâmica de Variáveis Microclimatológicas da Estação Meteorológica de Superfície do Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Cuiabá*. Cuiabá, 2009. 79f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

O objetivo deste trabalho foi estudar a dinâmica de variáveis microclimatológicas no cerrado levando-se em conta o caráter não-linear da dinâmica dos parâmetros ambientais. O presente estudo foi realizado no Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Cuiabá, uma região de cerrado localizada em Várzea Grande, estado de Mato Grosso. Consiste em estudar a dinâmica do cerrado por séries temporais levando em conta o caráter não linear do ambiente. Os valores de direção do vento, intensidade do vento, umidade relativa, temperatura máxima, temperatura média, temperatura mínima, pressão máxima, pressão média, pressão mínima, quantidade de precipitação e duração de precipitação foram coletados entre 1983 e 2007. A periodicidade das variáveis micrometeorológicas foi determinada pelos métodos da série de Fourier e do espectro de potência, a caracterização do atrator das séries temporais foi realizada pelo método da dimensão de correlação. Todas as variáveis que tiveram caracterizadas um atrator possuem comportamento caótico por ter dimensionalidade acima de dois, não foi possível caracterizar atrator para a série de precipitação. Todas as variáveis apresentaram periodicidade diária e anual com o método da série de Fourier, enquanto que com o método do espectro de potência apresentaram periodicidades diárias e periodicidades que não tem caráter biológico nem climatológico.

Palavras-chave: atrator, periodicidade e variáveis micrometeorológicas.

ABSTRACT

VIDAL, L. A. *Study of Micrometeorological Variables Dynamic of Superficial Meteorological Station of Cuiabá. Air Space Control Destabilize* Cuiabá, 2009. 79f. Dissertação (mestrado em Física e Meio Ambiente), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

The objective of this work was study the climatological variables dynamic considering the non-linear character of the environmental variables dynamic. This work was performed in the Cuiabá Air Space Control Destabilize, a region of savannah localized in Várzea Grande, State of Mato Grosso, Brazil. Consist in study savannah dynamics through of time series taking into account the non-linear behavior of the environment. The values of wind direction, wind speed, relative humidity, maximum temperature, average temperature, minimum temperature, maximum pressure, average pressure, minimum pressure, precipitation quantity and precipitation time were collected between 1983 and 2007. The microclimatological variable periods were determined through of Fourier series and power spectrum, the characterization of temporal serie attractor was make through corelationship extent method. Every variables that had marked a attractor have chaotical behavior by have extent above two, wasn't possible describe attractor to the precipitation serie. Every variables presented diary and annual periods with the Fourier serie method, while with the power spectrum method presented diary periods and periods that doesn't have biological or climatological characters.

Keywords: attractor, period and micrometeorological variables

1. INTRODUÇÃO

A temperatura média do ar global elevou-se entre 0,6°C e 0,7°C nos últimos 120 anos. Atualmente há um crescente consenso na comunidade científica de que o aquecimento global é causado por emissões de gases de efeito estufa e de aerossóis.

Quando se analisam possíveis impactos das mudanças climáticas, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) indica que os países em desenvolvimento são os mais vulneráveis aos eventos climáticos extremos, pois necessitarão de recursos financeiros para contornar secas, inundações e erosão

Somado o aquecimento global às alterações de vegetação com os desmatamentos das florestas tropicais e dos cerrados no Brasil, é certo que acontecerão rearranjos nos ecossistemas e redistribuição de biomas.

O número de estudos sobre a resposta da fauna e da flora às mudanças climáticas ainda é pequeno, mas indicam que com um aumento de 2°C a 3°C na temperatura média da Terra, 25% das árvores do cerrado e 40% das árvores da Amazônia poderiam sumir até o final do século XXI.

A combinação dos impactos climáticos regionais oriundos do desmatamento com o aquecimento global pode implicar em climas mais quentes e mais secos. Dessa forma, é necessário um estudo que busque entender a dinâmica dos parâmetros microclimatológicos em uma região de cerrado.

Primeiramente, é preciso analisar um resumo do comportamento médio dos parâmetros microclimatológicos para as variáveis temperatura, pressão, umidade relativa e ventos bem como um resumo do total mensal de precipitação para o local de estudo.

Uma etapa importante da compreensão dinâmica das variáveis microclimatológicas é identificar as principais frequências características da variação temporal dessas variáveis.

Por meio da análise do espectro de potência (power spectrum) e pelas séries

de Fourier pode-se estudar a dinâmica que regula o comportamento de variáveis microclimatológicas, pela identificação de suas frequências, como principal característica de sua periodicidade dentro de sua variação temporal.

É necessário identificar o atrator das séries temporais, analisando qual a dimensionalidade de seu atrator e a dimensionalidade mínima do espaço de fase em que este atrator está descrito por completo se utilizando da análise de Heaviside após uma escolha de tempo de defasagem adequada para a análise de séries temporais com o objetivo de ver o grau de complexidade das variáveis em questão.

O objetivo deste trabalho foi estudar a dinâmica de variáveis microclimatológicas no cerrado levando-se em conta o caráter não-linear da dinâmica dos parâmetros ambientais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. TEMPERATURA

A energia cinética translacional média por mol de um gás ideal é dependente somente da temperatura (SEARS & ZEMANSKY, 2003). Seja M o mol de um gás ideal, $\overline{v^2}$ a média do quadrado da velocidade do gás referido, R a constante universal dos gases e T a temperatura absoluta do gás, tem-se a equação 1.

$$\frac{1}{2} M \overline{v^2} = \frac{3}{2} R T \quad (1)$$

A temperatura de um gás, do ponto de vista microscópico, está relacionada com a energia cinética total de sua translação em relação ao centro de massa.

Deve-se entender que cada escolha de uma substância e propriedade termométricas, juntamente com a relação admitida entre a propriedade e a temperatura, conduz a uma escala termométrica específica, cujas medidas não devem coincidir necessariamente com as medidas realizadas em outra escala termométrica qualquer, definida de maneira independente.

O termômetro a volume constante é o empregado para estabelecer a escala termométrica Kelvin em trabalhos científicos porque se baseia no fato de que a pressão de um gás mantido a volume constante aumenta quando a temperatura aumenta. A temperatura absoluta é definida pela equação 2.

$$T = 273,15 \text{ K} \left(\frac{P}{P_{tr}} \right) \quad (2)$$

em que, T é a temperatura absoluta em Kelvin, P é a pressão de vapor de um gás e e é a pressão de um gás no ponto triplo.

Duas escalas termométricas usuais são a *escala Celsius* e a *escala Fahrenheit*. Esta última muito utilizada na Inglaterra e em países cujo idioma é o inglês. Elas podem ser definidas em função da escala Kelvin.

Representando por t a temperatura Celsius, tem-se a equação 3.

$$t = T - 273,15 \quad (3)$$

em que t é temperatura em graus Celsius e T é a temperatura absoluta em Kelvin.

A escala Fahrenheit não é usada em trabalhos científicos, mas costuma ser usada em países de língua inglesa. A relação entre a escala Celsius e Fahrenheit é dada pela equação 4.

$$T_f = 32 + \frac{9}{5}t \quad (4)$$

em que T_f é a temperatura em graus Fahrenheit e t a temperatura em graus Celsius.

As expressões temperatura do ar à superfície e temperatura do ar à sombra são usadas em meteorologia, de modo equivalente, para traduzir a temperatura reinante em um ponto da atmosfera próximo à superfície da Terra (VAREJÃO-SILVA, 2001).

Para fins climatológicos, é interessante que as observações de temperatura do ar fossem feitas de acordo com a hora solar média local, já que pode haver defasagem entre esta e a hora legal. Esta recomendação prende-se ao fato do Sol ser o principal responsável pelo comportamento temporal da temperatura do ar. A pequena diferença existente entre o tempo solar e o tempo solar médio local não deve introduzir erros apreciáveis.

2.2.PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Do ponto de vista macroscópico, costuma-se classificar a matéria em sólidos

e fluidos. *Fluidos* são substâncias que podem *fluir* (SEARS & ZEMANSKY, 2003). Assim, o termo abrange os líquidos e gases. A separação entre sólidos e fluidos não é claramente definida. Alguns fluidos, como o vidro e o piche, fluem tão vagarosamente que se comportam como sólidos, em intervalos de tempo que comumente trabalhamos com ele.

A maneira pela qual uma força atua nos fluidos e nos sólidos não é a mesma. Nos sólidos a direção dessa força pode ser qualquer, mas, para um fluido em repouso, a força superficial deve ser sempre perpendicular à superfície. Se a força for tangencial as camadas fluidas deslizariam umas sobre as outras. Essa característica dos fluidos de poder escoar e ter sua forma facilmente variável provém de sua incapacidade de resistir a forças tangenciais.

É conveniente, portanto, descrever as forças que atuam sobre o fluido como função da pressão p como sendo a força atuante em cada unidade de área. A pressão é uma grandeza escalar e sua unidade é definida no Sistema Internacional como pascal (Pa), em que $1\text{ Pa} \hat{=} 1\text{ N} / \text{m}^2$.

Outras unidades são o bar (bar), a atmosfera (atm) e o milímetro de mercúrio (mmHg).

No tocante à medição da pressão, Evangelista Torricelli (1608-1647) descobriu um método para medir a pressão atmosférica, desenvolvendo o barômetro de mercúrio em 1643 (MIDDLETOWN, 1964). Este é constituído por um longo tubo de vidro que contém mercúrio e é invertido em uma cuba também com mercúrio, como na Figura 1.

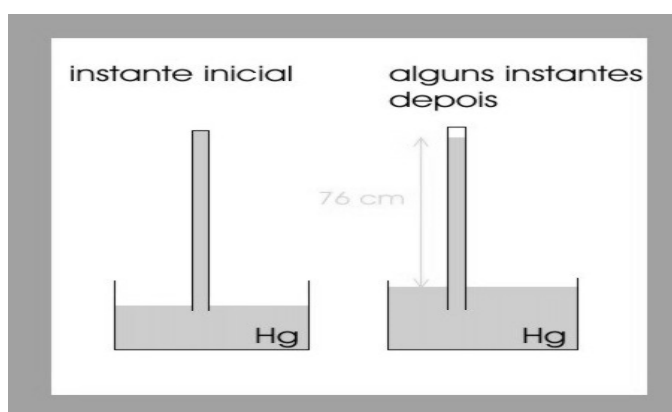


Figura 01 - experiência de Torricelli

O espaço acima da coluna de mercúrio contém somente vapor de mercúrio, cuja pressão é tão pequena, em temperaturas normais que pode ser desprezada. É facilmente demonstrável que a pressão atmosférica é dada pela equação 5.

$$p = \rho g h \quad (5)$$

em que ρ é a massa específica do mercúrio; g é a aceleração da gravidade local e h é o desnível entre a altura do mercúrio no interior do tubo e a altura do mercúrio dentro da cuba.

A maioria dos manômetros usa a pressão atmosférica como referência e mede a diferença entre a pressão real e a atmosférica, diferença essa chamada pressão manométrica. A pressão real é chamada de pressão absoluta.

A pressão atmosférica em um ponto qualquer é numericamente igual ao peso de uma coluna de ar, de seção unitária e de altura que se estende desde este ponto até ao alto da atmosfera. A pressão atmosférica em um ponto decresce com a altitude. Há variações de pressão atmosférica entre cada dia, pois a atmosfera não é estática. A coluna de mercúrio de um barômetro terá uma altura média de 76 cm ao nível do mar, variando com a pressão atmosférica. A pressão equivalente a esta, exercida por uma coluna de 76 cm de mercúrio, a 0°C e sob condição normal da gravidade, ($g = 9,80665 \frac{m}{s^2}$), é chamada de uma atmosfera (1ATM), sendo a densidade do mercúrio a esta temperatura $13,5950 \frac{g}{cm^3}$.

Então uma atmosfera é equivalente a $1,01325 \times 10^5 \frac{N}{m^2}$.

O estudo da pressão atmosférica é importante, pois sua tendência é movimentar-se em direção às áreas de menor pressão, pode-se concluir então que o movimento da atmosfera está relacionado com a distribuição da pressão atmosférica, muito embora existam outras forças intervenientes, que modificam bastante a tendência inicial de o ar mover-se diretamente para as regiões onde a pressão estiver mais baixa.

2.3. VENTO

O vento é a componente horizontal do vetor velocidade do ar. A caracterização do vento em qualquer ponto da atmosfera requer dois parâmetros: a direção e a velocidade (VAREJÃO-SILVA, 2001).

A direção do vento exprime a posição do horizonte aparente do observador a partir da qual o vento parece provir “de onde o vento sopra” (VAREJÃO-SILVA, 2001). A direção é expressa em termos de azimuth, isto é, o ângulo que o vetor velocidade do vento forma com o norte geográfico local (0 a 360), medido no mesmo sentido do movimento dos ponteiros de um relógio analógico.

Não havendo instrumento que permita estabelecer a direção do vento com precisão, costuma-se estimá-la e lançar mão da rosa-dos-ventos para exprimir a direção aproximada. A direção é relatada como aquela que mais se aproxima de um dos pontos cardeais ou colaterais (VAREJÃO-SILVA, 2001).

O módulo da velocidade do vento é normalmente expresso em metros por segundo, em quilômetros por hora, ou em KNOTS. Um KNOT corresponde a uma milha náutica (1852m) por hora. A correspondência entre essas unidades é obtida pelas equações 6 e 7.

$$1 \text{ knot} = 0,5144 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (6)$$

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,944 \text{ knots} \quad (7)$$

A velocidade do vento varia bastante com o tempo e se caracteriza por intensas oscilações (IBBETSON, 1981) cuja rapidez e amplitude estão relacionadas com o estado de agitação do ar, que constitui a turbulência. Esta agitação denuncia a passagem, pelo local de observação, de turbilhões de diferentes tamanhos. A uma variação brusca na velocidade do vento chama-se rajada. Em geral, a rajada é acompanhada por uma variação igualmente brusca na direção do vento (VAREJÃO-SILVA, 2001).

Os instrumentos que possuem a finalidade da determinação quantitativa do vento, em termos de sua velocidade e direção, são ditos anemógrafos ou anemômetros conforme efetuem ou não o registro da velocidade, ou simultaneamente da velocidade e da direção. Os equipamentos anemométricos podem ter saída analógica, digital ou ambas (VAREJÃO-SILVA, 2001).

2.4. UMIDADE DO AR

Cada constituinte do ar seco se comporta praticamente como um gás ideal, logo o ar seco como um todo também pode ser considerado praticamente um gás ideal com massa molecular aparente $= 28,964$ g/mol. Se designar a pressão a que está submetida uma massa de ar seco (m_a), ocupando um volume V à temperatura T , então sua equação de estado será dada pelas equações 8 e 9.

$$p_a V = \frac{m_a R T}{M_a} \quad (8)$$

Ou,

$$p_a = \frac{\rho_a R T}{M_a} \quad (9)$$

em que ρ_a designa a massa específica do ar seco.

Analogamente, tem-se para uma dada massa de vapor de água as equações 10 e 11.

$$p_v V = \frac{m_v R T}{M_v} \quad (10)$$

ou,

$$p_v = \frac{\rho_v R T}{M_v} \quad (11)$$

em que $M_v = 18,015$ g/mol é a massa molecular da água.

Imagine um cilindro, provido de um êmbolo móvel no interior do qual há uma mistura de massa de ar seco e massa de vapor de água. Admita-se que essa mistura esteja submetida a uma temperatura T e pressão atmosférica p .

Como o êmbolo é móvel, a pressão atmosférica será compensada pela soma das pressões parciais devidas a cada integrante da mistura, ou seja, $p = p_a + p_v$.

Então na mistura ar úmido, temos a equação 12 e 13.

$$(p - p_v)V = \frac{m_a R}{M_a} \quad (12)$$

ou,

$$p - p_v = \frac{\rho_a R}{M_a} \quad (13)$$

A razão de mistura (r) do ar úmido, submetido a uma dada pressão atmosférica (p), é o quociente entre a massa de vapor (m_v) e a massa de ar seco (m_a) na qual o vapor está contido como observa-se pela equação 14

$$r = \frac{m_v}{m_a} \quad (14)$$

Utilizando-se as expressões para p_a e p_v obtidas nas equações de estado do ar seco e do vapor de água na mistura (ar úmido) e sendo a razão entre as massas moleculares $M_a / M_v = 0,622$, tem-se a equação 15.

$$r = 0,622 \frac{p_v}{p - p_v} \quad (15)$$

Sendo $p \gg p_v$, a equação 15 toma a forma da equação 16 quando não se requer alta precisão.

$$r = 0,622 \frac{p_v}{p} \quad (16)$$

Chama-se pressão de saturação do vapor de água, ou pressão saturante, a pressão máxima exercida pelo vapor de água. No caso da atmosfera, quando a quantidade de vapor atinge o máximo, diz-se que o ar está saturado.

A umidade específica é definida como o quociente entre a massa de vapor de água (m_v) e a massa total do ar úmido ($m_a + m_v$) no qual esse vapor está contido. Tem-se então a equação 17.

$$q = \frac{m_v}{m_a + m_v} \quad (17)$$

Dividindo-se numerador e denominador dessa expressão por m_a e tendo em conta que $r = m_v / m_a$, pode-se escrever a equação 18.

$$q = \frac{r}{1 + r} \quad (18)$$

Que fornece a umidade específica em gramas de vapor por grama de ar úmido.

2.5.PRECIPITAÇÃO

É o conjunto de partículas de constituição líquida, no estado líquido ou sólido que estejam em queda livre na atmosfera e que podem precipitar. As gotas de água com diâmetro superior a 0,5 mm definem a chuva.

As gotas de água com diâmetro menor ou igual a 0,5 mm definem o chuvisco ou garoa.

A quantidade de precipitação é normalmente expressa em termos da espessura da camada líquida que se formaria sobre uma superfície horizontal, plana e impermeável, com 1 m^2 de área. A unidade adotada é o milímetro, que corresponde à queda de um litro de água por metro quadrado de área, ou seja, $1 \text{ l} / \text{m}^2 = 1 \text{ dm}^3 / \text{dm}^2 = 0,001 \text{ m} = 1 \text{ mm}$.

A precipitação ainda é caracterizada por sua duração e sua intensidade,

definida como a quantidade de água caída por unidade de tempo.

Os instrumentos de leitura direta, usados para quantificar a precipitação são chamados pluviômetros.

2.6.SÉRIES

Uma série é um conjunto de elementos dispostos numa certa ordem (MACHADO, 2000). Dois conjuntos de mesmos elementos dispostos de forma diferente dão origem a duas séries distintas (MACHADO, 2000).

Quando os elementos de uma série são números, tem-se uma *série numérica*, que pode ser expressa pela equação 19.

$$\sum_{n=n_0}^{n=n_f} a_n \quad (19)$$

em que a_n são os elementos da série e n é um número inteiro, chamado índice da série que varia desde n_0 até n_f , também inteiros. A forma explícita de a_n é chamada de lei de formação da série (MACHADO, 2000).

2.7.SÉRIES DE FOURIER

Seja uma função $f(t)$ periódica com período T . Esta função pode ser representada pela série trigonométrica da equação 20, definida como uma série trigonométrica de Fourier (HSU, 1972).

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) \quad (20)$$

em que a frequência angular é $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$, sendo T o período e a_n, b_n e a_0 são chamados coeficientes de Fourier.

A equação 20 pode ser reescrita na forma da equação 21

$$f(t) = C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(n\omega_0 t + \theta_n), \text{ em que } C_0 = \frac{a_0}{2} \quad (21)$$

A representação da série de Fourier de uma função periódica mostra a função como soma de componentes cossenoidais de frequências distintas. A componente cossenoidal de frequência $\omega_n = n\omega_0$ é chamada o *n-ésimo harmônico* da função periódica. O primeiro harmônico é chamado de *componente fundamental*.

Os coeficientes de Fourier são obtidos através das equações 22, 23 e 24

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt \quad (22)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n\omega_0 t) dt \quad (23)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(n\omega_0 t) dt \quad (24)$$

em que $a_0/2$ é o valor médio de $f(t)$ em um período.

Os coeficientes a_n e b_n representam fisicamente cada uma das variáveis meteorológicas analisadas nesta dissertação (vento, pressão, umidade, temperatura e precipitação).

Em várias aplicações das séries de Fourier é conveniente exprimir tais séries em termos de exponenciais complexas, equação 25, chamada de forma complexa da série de Fourier

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{jn\omega_0 t} \quad (25)$$

A equação 25 é chamada de forma complexa da série de Fourier.

O cálculo dos c_n se dá mediante a equação 26.

$$c_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-j \omega_0 t} dt \quad (26)$$

A potência latente de uma função periódica no período T é definida como o valor médio quadrático de $f(t)$, equação 27

$$\overline{f(t)} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} [f(t)]^2 dt \quad (27)$$

Pelo teorema de Parseval, a equação 27 é igual ao somatório de todos os módulos de c_n ao quadrado, o que leva a equação 28.

$$\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} [f(t)]^2 dt = \sum_{-\infty}^{\infty} |c_n|^2 \quad (28)$$

Viu-se em uma função periódica, a potência do sinal pode ser associada à potência contida em cada componente de frequência discreta. O mesmo conceito pode ser aplicado às funções não periódicas. Um conceito vantajoso para uma função não periódica é o de *energia latente* E , definida pela equação 29.

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt, \quad E \text{ sendo finita} \quad (29)$$

Considerando os sinais que não contêm energia latente finita, deve-se reestruturar a fórmula de obtenção da potência média de $f(t)$. Tem-se então a equação 30.

$$\overline{f(t)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} [f(t)]^2 dt \quad (30)$$

Quando existe este limite, a quantidade, definida pela equação 31.

$$P(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \left| \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-j\omega t} dt \right|^2 \quad (31)$$

é chamada de densidade espectral de potência ou espectro de potência de $f(t)$.

Se apenas a densidade espectral de potência for especificada, não se conhece a forma de onda, pois somente é conhecido um espectro de tempo médio. Os sinais especificados deste modo podem ser *sinais aleatórios*. Estes sinais são comumente abordados em termos de suas propriedades estatísticas.

2.8. TEORIA DA COMPLEXIDADE

As ciências da complexidade estudam o comportamento complexo dos sistemas simples e o comportamento coletivo emergente dos sistemas complexos. A caracterização quantitativa da noção de complexidade revela-se porém difícil e parece depender do aspecto particular que se pretende descrever. De qualquer modo não é de se esperar que medir a complexidade é um problema simples (MENDES, 1998).

O conjunto de técnicas e métodos a que se dá o nome de *ciências da complexidade* estuda duas situações: o comportamento complexo dos sistemas simples (com poucos graus de liberdade) e o comportamento coletivo e estruturado dos sistemas complexos (com muitos graus de liberdade) (MENDES, 1998).

No primeiro caso, a noção de complexidade está associada à dificuldade de prever o comportamento do sistema e no segundo, à criação de estruturas.

Alguns sistemas simples mostram comportamento bastante complexo. Por exemplo, o pêndulo duplo (Figura 02), um sistema com apenas dois graus de liberdade, embora determinado por equações de evolução simples, tem um movimento aparentemente errático e imprevisível.

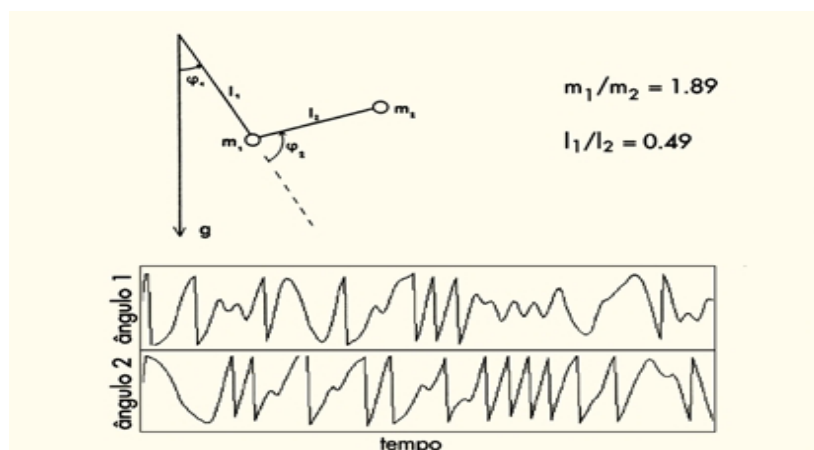


Figura 02 - Comportamento complexo de um sistema simples formado por dois pêndulos.

Se sistemas simples mostram comportamentos complexos, é de se esperar que sistemas complexos, mostrassem comportamentos ainda mais complexos. Isto é verdade em certos casos como o da atmosfera terrestre, a qual se torna praticamente imprevisível em intervalos de tempo muito curtos, como qualquer expectador do boletim meteorológico poderá testemunhar. Entretanto, nem sempre isso acontece. Um organismo humano tem bilhões de células e um cérebro com neurônios e na maior parte dos casos, os organismos têm comportamento extremamente simples. Basta examinar a assistência em um jogo de futebol, de um comício político ou de um espetáculo musical. O que se observa é uma estruturação coletiva das partes de um sistema que conduz a um comportamento sincronizado. Em geral, a um conjunto de comportamentos padronizados e previsíveis, condicionados por estruturas interpessoais, sociais e culturais bem mais simples que os organismos que nelas participam (Figura 03).



Figura 03 - O comportamento simples de um sistema complexo (*O Animal Humano*, Desmond Moris, Gradiva 1996).

Chama-se de atrator o estado preferencial de um sistema dinâmico. O atrator pode ser ponto, curva, plano ou qualquer forma generalizada, de dimensão inteira ou não, ou até mesmo um conjunto de pontos no espaço de fase de dimensão n .

A dimensionalidade do espaço de fase é o número mínimo de variáveis necessárias para especificar o estado dinâmico do sistema (HILBORN, 2000).

Muitos estudos estão sendo conduzidos desde duas décadas, explorando as implicações de modelos para várias quantidades invariantes sob a dinâmica, tais como a dimensionalidade do atrator e os expoentes de Lyapunov do sistema. Estes fatores invariantes são bases para verificação de modelos; são independentes das condições iniciais do sistema e não são sensíveis às pequenas perturbações em uma órbita, quando órbitas individuais do sistema são exponencialmente sensíveis a essa perturbação (ABARBANEL, 1993).

A dimensão de um conjunto é aproximadamente a quantidade de informação necessária para especificar pontos na sua exatidão (ECKMANN & RUELLE, 1985).

De acordo com a dimensionalidade de um atrator de uma variável, podemos classificá-la em periódica, semi-periódica e caótica se seus atratores tiverem

dimensão inferior a dois, dois e acima de dois respectivamente (NICOLIS & PRIGOGINE, 1998).

Por trás de um conceito simples de dimensão (d), como número mínimo de coordenadas necessário para especificar um estado, estão conceitos geométricos como escalas de volume (V) ou área em função de um parâmetro de comprimento (L) característico. A dimensão d é definida pela equação 32.

$$d = \frac{\log V}{\log L} \quad (32)$$

Uma forma semelhante foi dada por ECKMANN & RUELLE (1985), fazendo S ser um conjunto compacto e assumimos que $N(\varepsilon)$ “bolas” de raios ε são necessária para cobrir S . A dimensão d pode ser reescrita pela equação 33.

$$d = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\frac{\log N(\varepsilon)}{\log \frac{1}{\varepsilon}} \right) \quad (33)$$

As análises por meio de dimensão podem ser feitas de forma puramente geométrica, como sendo o número para expressar a quantidade de informação necessária para especificar um estado da precisão do raio da hipersfera r , comumente chamada de dimensão de informação (ABARBANEL, 1993). Outra análise é a dimensão de correlação, também chamada de dimensão embutida, e é definida pela equação 34.

$$d = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log C(r)}{\log r} \quad (34)$$

em que $C(r)$ é a função correlação dada pela equação 35.

$$C(r) = \frac{1}{N^2} \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^N \theta(r - |X_i - X_j|) \quad (35)$$

em que $C(r)$ é o coeficiente de correlação de Heaviside, N é o número de dados, θ é a função de Heaviside ($\theta = 0$, para argumento menor que zero e $\theta = 1$ para argumento

maior que zero), e são os vetores formados por uma linha do Excel e r é o raio de uma hipersfera.

A inclinação máxima das linhas no gráfico de $\ln C(r)$ versus $\ln r$ é a dimensão embutida, e esta aumenta com a dimensão do espaço de fase até saturar, se isto ocorre, a dimensão embutida é igual a dimensão do atrator. Quanto maior a dimensão do espaço de fase maior também será a abrangência ou capacidade de definir o atrator (CAPISTRANO, 2007). Assim, obtém-se a dimensionalidade do atrator em um determinado espaço de fase

Segundo ECKMANN & RUELLE (1985) em sistemas dissipativos o volume ocupado pelo atrator é em geral relativamente muito pequeno comparado com o volume do espaço de fase.

Lorenz (1963) foi um dos primeiros a descrever movimentos caóticos sobre um atrator de baixa dimensão. Desde que Lorenz introduziu seu modelo, conjecturava-se que a atmosfera tem um limite intrínseco de previsibilidade e que sua dinâmica possa ser regida por atratores caóticos (WEBER et al., 1995).

Muitos estudos confirmaram a existência de atratores caóticos. Porém a existência ou não desses ainda é um tema bastante controverso (CAMPANHARO, 2006).

Atratores caóticos de baixa dimensão foram encontrados em trajetórias de ciclones tropicais (FRAEDRICH; LESLIE, 1989), em séries temporais marítimas (FRAEDRICH, 1986; NICOLIS; NICOLIS, 1984), e também em séries temporais relacionadas ao fenômeno El Niño (GÖBER et al., 1992). Atratores parecidos foram encontrados na camada limite atmosférica a partir de séries temporais de pressão atmosférica à superfície (FRAEDRICH, 1986), e em séries temporais de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento (XIN et al., 2001; JARAMILLO; PUENTE, 1993; GALLEGGO et al., 2001; TIONG, 1995). Por outro lado, atratores de alta dimensão tem sido observados a partir de séries marítimas (GRASSBERGER, 1986).

WEBER et al. (1995) não encontraram nenhum indício de atrator em série temporais turbulentas do vento. LORENZ (1991) afirma que não há razão para acreditar que o clima possua um atrator caótico de baixa dimensão. O que ele conjectura é que a baixa dimensão obtida em alguns trabalhos se deve ao fato de

existir subsistemas de baixa dimensão fracamente unidos ao clima.

Observações reais de evoluções regulares podem ser consideradas como medida de um simples escalar em um ponto espacial fixo, chamada medida quantitativa dada pela equação 36.

$$X(t + \Delta t) = X(t), \quad (36)$$

Em que t é o tempo inicial e Δt é o tempo de amostragem do instrumento usado no experimento (ABARBANEL, 1993). Portanto, pode ser a diferença de potencial ou a corrente em um circuito não linear, a velocidade de um fluido dinâmico ou o movimento de um plasma, poderiam ser também medidas ambientais e atmosféricas como temperatura, fluxo de energia e de massa (NICOLIS & PRIGOGINE, 1997).

Séries temporais são ricas em informações, pois além dos dados individuais, trazem consigo um padrão característico da variável. Quando se analisa uma variável de um ponto de vista unidimensional, na realidade esta levando em conta um grande número de variáveis interdependentes (NICOLIS & PRIGOGINE, 1998).

Por volta de 1980, um grupo da Universidade da Califórnia de Santa Cruz e David Ruelle, simultaneamente e independentes um do outro, introduziram a idéia de usar defasagens temporais para reconstrução do espaço de fase de sistemas dinâmicos observados (ABARBANEL, 1993).

Uma forma conveniente de reconstruir a dinâmica do sistema é partir da obtenção de variáveis $\{X_k(t)\}$, sendo $k = 1, \dots, n - 1$, conhecendo somente $X_0(t)$. Isto consiste em desmembrar a série temporal original $X_0(t)$ em deslocamentos temporais sucessivos de defasagem fixa τ ($\tau = m \Delta t$, onde m é um número inteiro) para N pontos equidistantes do conjunto de dados. Tem-se assim as equações 37, 38 e 39.

$$\begin{aligned} X_0 &: X_0(t_1), X_0(t_2), \dots, X_0(t_N) \in \mathbb{R} \\ X_1 &: X_0(t_1 + \tau), \dots, X_0(t_N + \tau) \in \mathbb{R} \\ &\vdots \\ &\vdots \\ X_{n-1} &: X_0[t_1 + (n-1)\tau], \dots, X_0[t_N + (n-1)\tau] \in \mathbb{R} \end{aligned}$$

NICOLIS & PRIGOGINE (1998) afirmam que a escolha da defasagem deve

ser aquela em que a séries original e defasada apresentem a menor correlação. TAKENS (1980) demonstrou que, para um número infinito de pontos e sem ruído, a defasagem temporal é arbitrária. Discute ele que o atrator aparece no espaço de fase de coordenadas defasadas como se visto nas coordenadas originais. Isto quando a dimensão do espaço de fase, n , é suficientemente maior que a dimensionalidade do atrator, d ($n > 2d$).

Segundo ABARBANEL (1993), o uso de um τ muito pequeno implica em $X(t + m\tau)$ e $X(t + (m + 1)\tau)$ terem valores próximos e as séries tornam-se indistinguíveis. Igualmente, o uso de um τ muito grande acarreta em $X(t + m\tau)$ e $X(t + (m + 1)\tau)$ serem completamente diferente uma da outra. Uma escolha de τ que pode ser adequada é tomar independência linear das coordenadas, porém ABARBANEL (1993) prefere o ponto de vista na qual a escolha seja feita por meio do esgotamento de um importante aspecto no comportamento caótico – o ponto de vista da teoria da informação, onde a escolha da defasagem é onde se tem o primeiro mínimo em um gráfico de informação mutua média por τ .

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1.LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 4) está localizada no Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Cuiabá (DTCEA-CY), Várzea Grande (056°06` O; 15°39` S e altitude: 188,1m). Os dados foram coletados por uma estação meteorológica automática localizada na Estação Meteorológica de Superfície (EMS), quarto andar do DTCEA-CY. A região apresenta clima do tipo Aw segundo a classificação de Köppen. A temperatura média mensal varia de 21,9°C a 31,3°C, e a precipitação média anual é de 1385 mm/ano como pode-se observar no comportamento dos dados microclimatológicos.

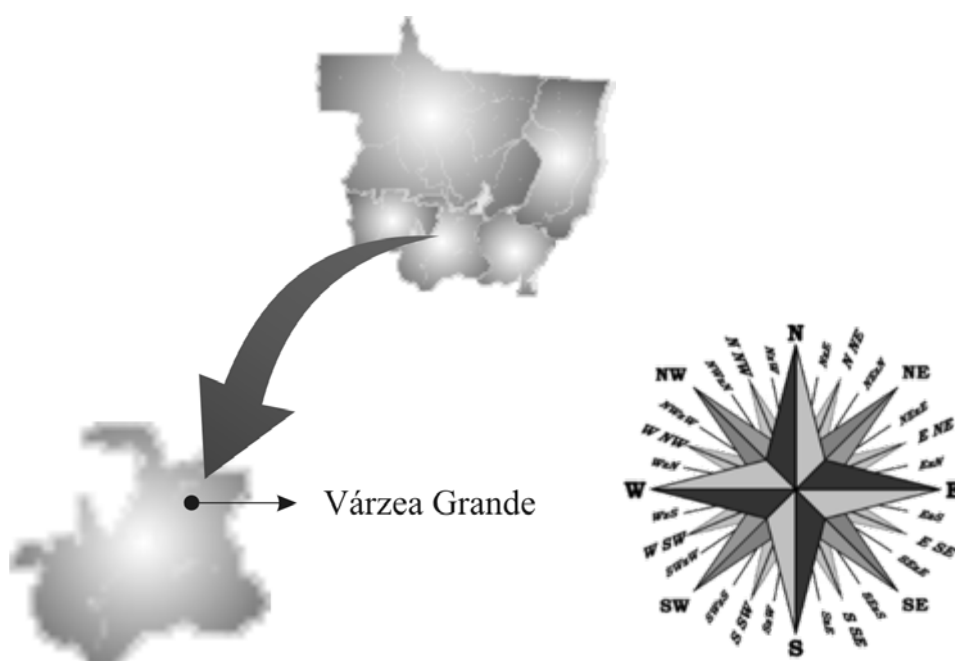


Figura 04 - Localização de várzea grande no estado de Mato Grosso

3.2.CARACTERIZAÇÃO GEOCLIMÁTICA DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é constituída por uma vegetação de cerrado, típico da unidade geoambiental de superfícies aplainadas conservadas da depressão cuiabana (DANTAS et al, 2007), caracteriza-se por um relevo plano a levemente ondulado, em colinas rampeadas amplas e suaves, com baixas amplitudes de relevo e sedimentação aluvial expressiva. Apresenta alta capacidade de carga e alto potencial hidrogeológico. Predomínio de solos profundos e bem drenados (Latossolos) com baixa susceptibilidade à erosão e em topos planos, aptos à lavoura e pastagens plantadas. Aptos para urbanização, obras viárias e enterradas e disposição de resíduos sólidos. Em contrapartida, ressalta-se, nos amplos fundos de vales, a ocorrência de solos pouco espessos, imperfeitamente drenados e concrecionários (Plintossolos Pétricos), com baixa fertilidade natural, moderada à alta susceptibilidade à erosão laminar e linear (sulcos e ravinas) e severas restrições à agricultura.

3.3.METODOLOGIA

Os estudos foram desenvolvidos utilizando uma série de dados meteorológicos de vinte e cinco anos (de 1983 a 2007) de temperatura, precipitação, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica e umidade relativa do ar. Coletados na Estação Meteorológica de Superfície (EMS), no quarto andar do DTCEA-CY, a 12m de altura em relação ao nível da pista e cujo número sinótico é 83362. Estes dados são provenientes dos Sumários Climatológicos Mensais 01.

Os dados coletados na EMS (provenientes da estação automática) são em intervalos de uma hora, a menos que ocorra um fenômeno que provoque uma mudança no tipo de operação para pouso e decolagem, uma condição adversa de tempo significativo importante ser reportada para a segurança de aeronaves no aeródromo ou um acidente aeronáutico. Se isso ocorrer, pode ser feita uma coleta em menos de uma hora.

Os sumários climatológicos mensais 01 são formulários de resumo dos acontecimentos diários dos os parâmetros meteorológicos. Por exemplo, as

temperaturas, são registradas a máxima, a média e a mínima diária em graus Celsius.

No caso da precipitação, é registrado o total de precipitação em milímetros e o tempo de duração. Se a precipitação for inferior a 0,1mm; registra-se T (traços), no nosso estudo, padroniza-se que os traços correspondem a 0,05mm de precipitação.

No que diz respeito aos ventos, registra-se o vento máximo (mais intenso) em nós ocorrido no dia e a direção do mesmo em graus.

A pressão atmosférica local é medida em hectopascal (hPa) e são apresentadas no formulário com o valor médio, máximo e mínimo diário.

A umidade relativa, por sua vez, registra-se em percentual e representa a média das umidades diárias.

Os dados meteorológicos utilizados aqui foram coletados por meio de uma estação meteorológica convencional entre 1983 e 2002. Em janeiro de 2003, foi instalada a estação meteorológica automática.

3.4.ANÁLISES

3.4.1.Fourier

Utilizou-se o programa Fourier.exe para fazer o cálculo dos primeiros 4000 a_n e b_n para cada uma das variáveis micrometeorológicas, em seguida foi feito o gráfico dos valores de a_n e b_n em função de n no Microsoft Excel.

Os períodos foram calculados depois de encontrados os picos nos gráficos das médias mensais, sendo calculados por meio da equação 40.

$$T = \frac{4000}{n} \quad (40)$$

em que: T = o período (em dias); 4000= a quantidade de dias utilizados em todas as série temporais analisadas e n a ordem do coeficiente correspondente ao pico.

3.4.2. Power Spectrum

A análise com o programa Power Spectrum foi realizada com 9000 dados de cada variável micrometeorológica. Adotou-se um número de intervalos igual a 128, pois a escolha do número de intervalo deve ser múltipla de 2^n .

O cálculo da frequência se deu mediante a equação 41.

$$f = 1,1 \times 10^{-5} \times (B1 - 1) / n^{\circ} \text{int} \quad (41)$$

em que f = frequência em Hertz, $B1$ = primeira linha da coluna B enumerada de 0 a 127 em ordem crescente e $n^{\circ} \text{int}$ = número de intervalos (no caso, 128).

3.4.3. Mutual Information

De cada variável microclimatológica foram obtidas a informação mútua mínima utilizando 9000 dados e número de intervalos igual a 20. O programa utilizado (*minf*), que foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Física Ambiental da UFMT, gera informações partindo do número de dados da série e o tempo de defasagem desejado.

A correlação é estabelecida através parâmetro denominado *informação mútua*, $I(T)$, que consiste em uma somatória através de uma relação entre o logaritmo de base 2 da divisão entre os fatores com determinada defasagem pelo produto dos fatores da série total como mostra a figura 42.

$$I(T) = \sum_{n=1}^N \left[\log_2 \left(\frac{P(s(n)) \cdot P(s(n+T))}{P(s(n), s(n+T))} \right) \right] \quad (42)$$

A probabilidade, P , da somatória consiste na probabilidade de encontrar determinado valor na série original $P(s(n))$ e defasada $P(s(n+T))$. Já $P(s(n), s(n+T))$ representa a probabilidade de que, quando o n -ésimo valor da série original for s , o n -ésimo valor da série defasada também seja s e o parâmetro n é o número total de dados registrados na série analisada (PALU, 2008).

3.4.4.Heaviside

O valor de defasagem temporal obtido pelo programa MINF foi padronizado em 8 dias, em seguida foram calculados todas as dimensionalidades dos atratores através de um gráfico de $\log C$ (obtido diretamente pelo programa Heaviside) por $\log r$, com r variando de -2 a 3 de 0,02 em 0,02; totalizando 251 pontos em cada eixo. A dimensionalidade dos atratores é exatamente o maior coeficiente angular obtido em um gráfico de $\log C$ por $\log r$ com n (número de variáveis no espaço de fase) crescente.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1.COMPORTAMENTO DOS PARÂMETROS MICROMETEOROLÓGICOS

A média mensal das temperaturas máximas diárias, como mostra a Figura 05, ficou situada entre 27,9°C em junho de 1996 e 37,4°C em setembro de 1999.com valor médio de 32,8°C e desvio padrão de 1,65°C. A média mensal das temperaturas médias diárias ficou situada entre 21,9°C em julho de 1998 e 31,3°C em outubro de 1997 com valor médio de 27,1°C e desvio padrão de 1,79°C. A média mensal das temperaturas mínimas diárias ficou situada entre 15,7°C em julho de 1988 e 26,4°C em janeiro de 2007 com valor médio de 22,5°C e desvio padrão de 2,32°C.

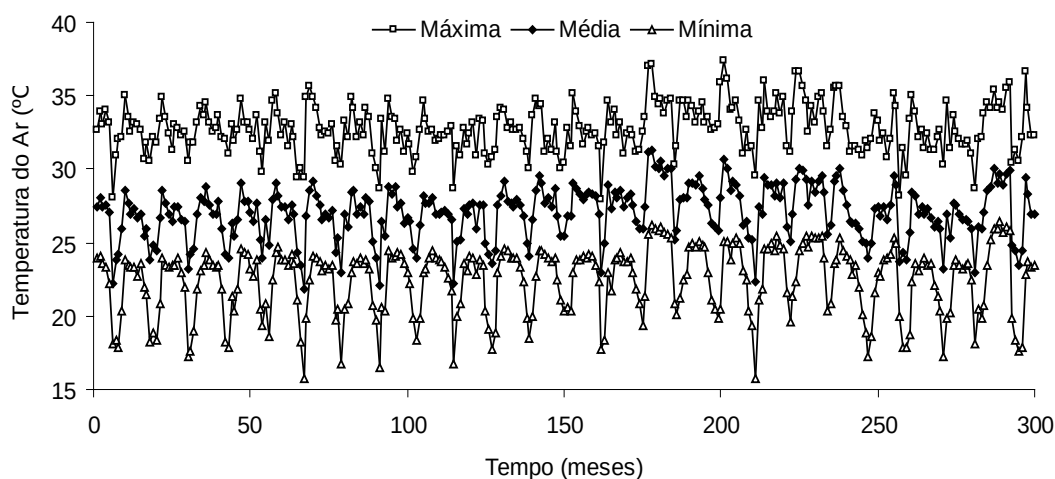


Figura 05.-Média mensal das temperaturas máximas, médias e mínimas diárias em função do tempo em Várzea Grande de 1983 a 2007.

A média mensal das pressões atmosféricas máximas, como mostra a Figura 06 diárias ficou situada entre 989,1 hPa em dezembro de 1985 e 998,8 hPa em julho de 1988. O valor médio ficou em 993,2 hPa e com desvio padrão de 2,28 hPa. A média mensal das pressões atmosféricas médias diárias ficou situada entre 986,4 hPa

em dezembro de 1985 e 996,4 hPa em julho de 1988. O valor médio ficou em 990,7 hPa com desvio padrão de 2,27 hPa. A média mensal das pressões atmosféricas médias diárias ficou situada entre 983,9 hPa em dezembro de 1985 e 994,3 hPa em julho de 1988. O valor médio ficou em 988,2 hPa com desvio padrão de 2,47 hPa.

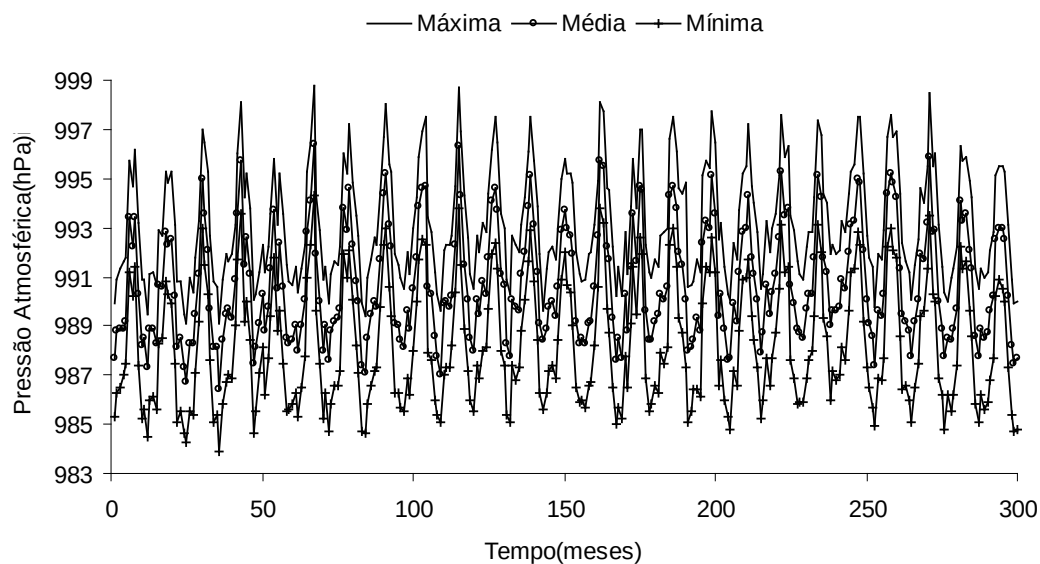


Figura 06 - Média mensal das pressões atmosféricas máximas, médias e mínimas diárias em função do tempo em Várzea Grande de 1983 a 2007.

A maior precipitação mensal ocorreu em dezembro de 2001, com um total de 504,6mm. O valor médio ficou em 115,4mm, o desvio padrão em 101,5mm. Isso é um reflexo da irregularidade das chuvas ao longo dos meses como se vê na Figura 07.

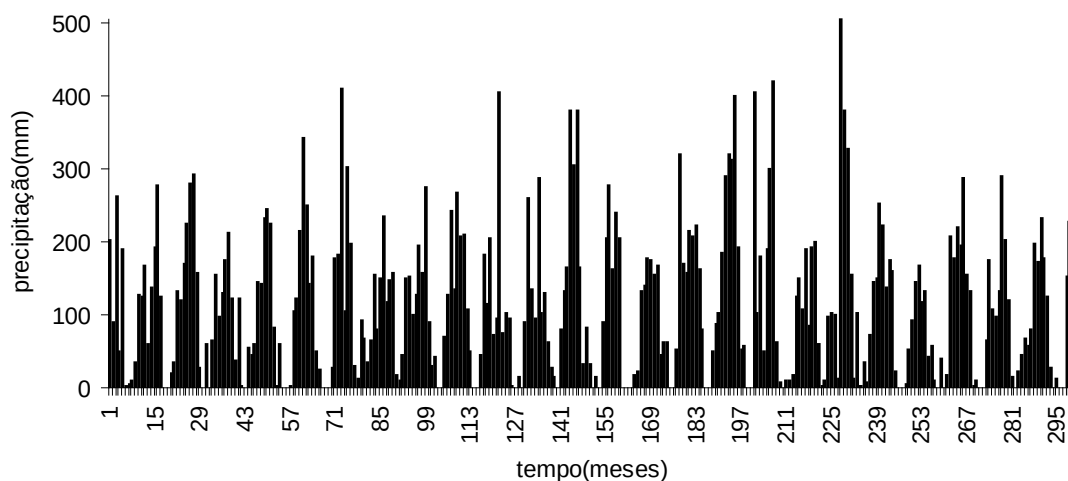


Figura 07 - Total de precipitação mensal em função do tempo em Várzea Grande de 1983 a 2007.

A média mensal das umidades relativas médias (Figura 08) diárias ficou situada entre 41% em agosto de 2001 e de 2006 e 92% em dezembro de 1990 e em março de 2000. O valor médio ficou em 68,7% com desvio padrão de 9,09%.

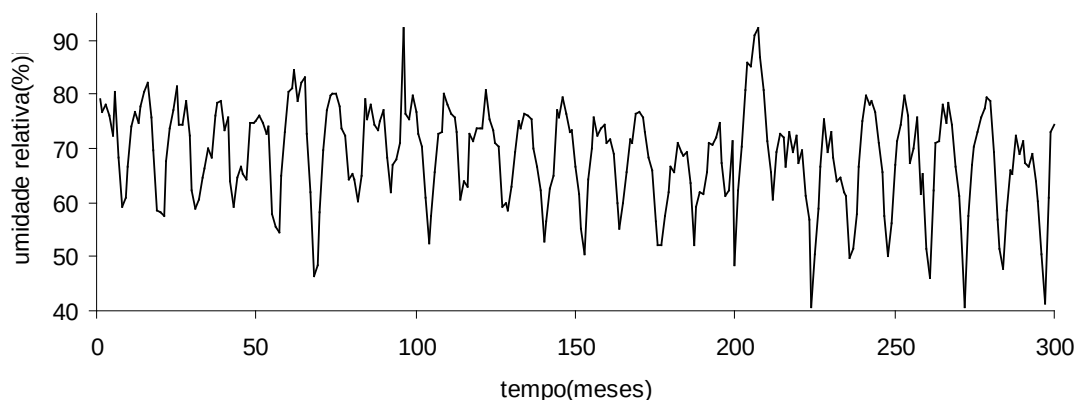


Figura 08 - Média mensal das umidades relativas médias diárias em função do tempo em Várzea Grande de 1983 a 2007.

A média mensal das intensidades de vento máximo (Figura 09) diárias ficou situada entre 6 nós em junho de 1990 e 19,4 nós em novembro de 1990. O valor médio ficou em 11,4 nós com desvio padrão de 2,2 nós.

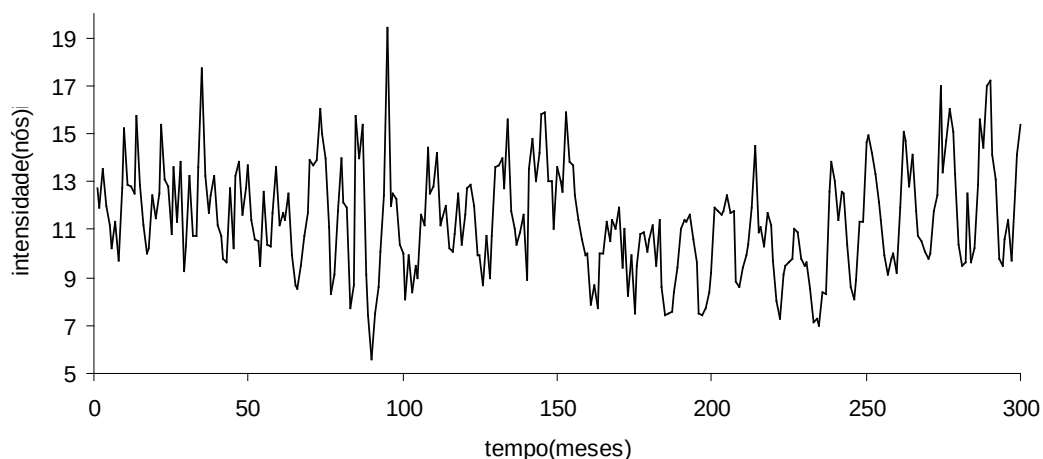


Figura 09 - Média mensal da intensidade do vento máximo diário em função do tempo em Várzea Grande de 1983 a 2007.

Apesar da irregularidade na direção do vento mais intenso mensal (Figura 10), é possível perceber que nos meses mais secos a direção do vento mais intenso fica próximo de 180° , porque os ventos mais intensos neste período normalmente provêm da chegada de frentes frias. Na estação úmida, o vento mais intenso pode ter a direção próxima aos 360° devido ao fenômeno da zona de convergência do atlântico sul (ZACAS) bem como direções quaisquer uma vez que nesta mesma estação é comum a formação da nuvem cumulunimbos responsáveis por rajadas de vento.

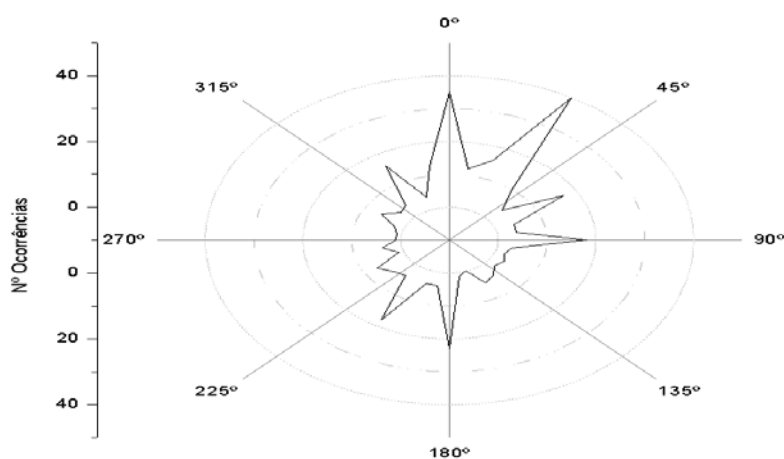


Figura 10 - Direção do vento máximo mensal em função do tempo em Várzea Grande de 1983 a 2007.

4.2. ANÁLISE DE FOURIER

Na Figura 11, percebe-se que os picos de A_n para a direção do vento se encontram em $n=3641$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 1,10 e 1,04 dias respectivamente.

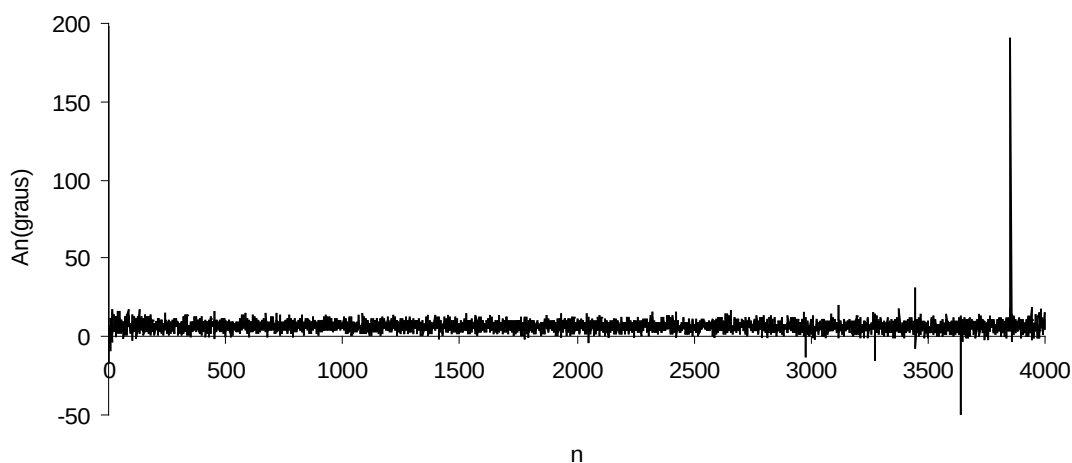


Figura 11 - Coeficiente A_n de Fourier para a direção do vento

Na Figura 12, percebe-se que os picos de B_n para a direção do vento se encontram em $n=9$, $n=12$, $n=2979$, $n=3121$, $n=3277$, $n=3449$, $n=3641$, $n=3855$ o que corresponde a períodos de 444; 333; 1,34; 1,28; 1,22; 1,16; 1,10 e 1,04 dias respectivamente.

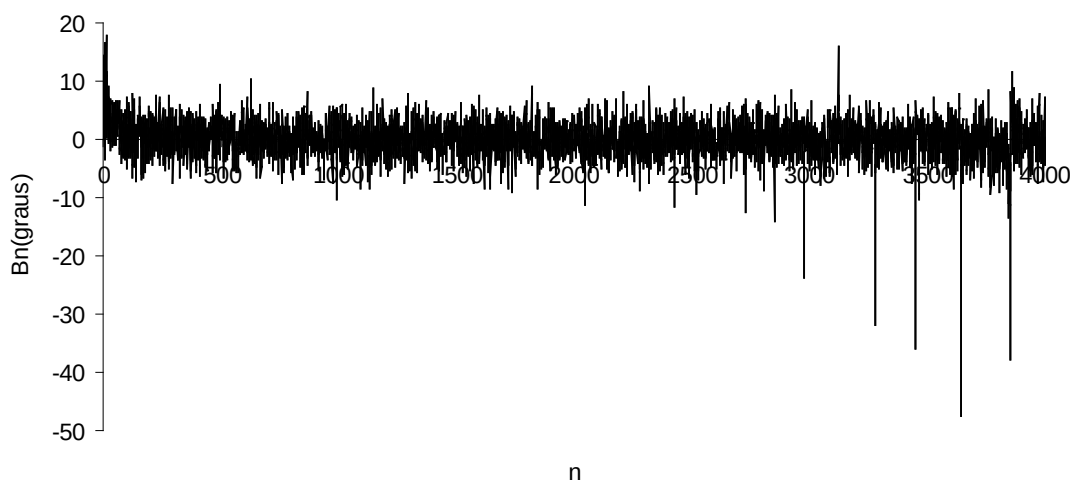


Figura 12 - Coeficiente B_n de Fourier para a direção do vento

Na Figura 13, percebe-se que os picos de A_n para a intensidade do vento se encontram em $n=3641$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 1,10 e 1,04 dias respectivamente.

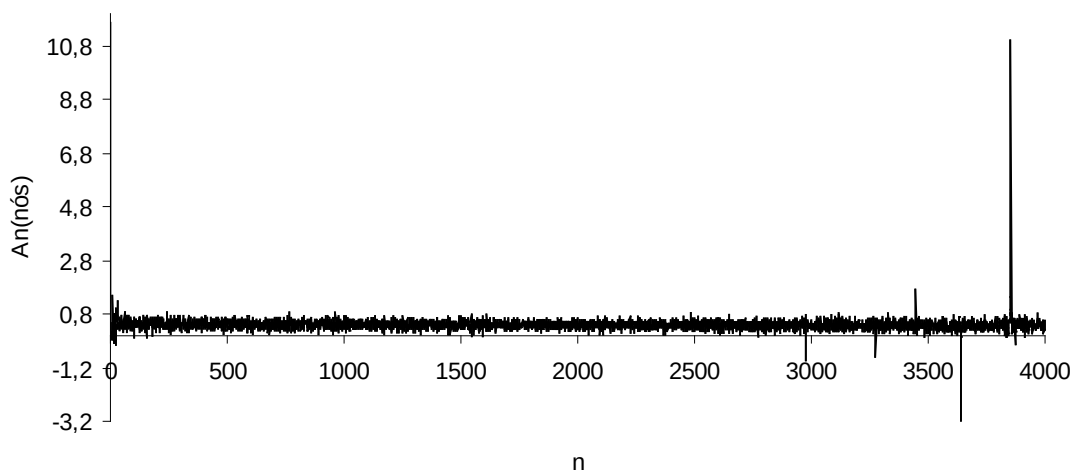


Figura 13 - Coeficiente A_n de Fourier para a intensidade do vento

Na Figura 14, percebe-se que os picos de B_n para a direção do vento se encontram em $n=12$, $n=13$, $n=16$, $n=19$, $n=2979$, $n=3121$, $n=3277$, $n=3449$, $n=3641$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 333; 308; 250; 211; 1,34; 1,28; 1,22; 1,16; 1,10 e 1,04 dias respectivamente.

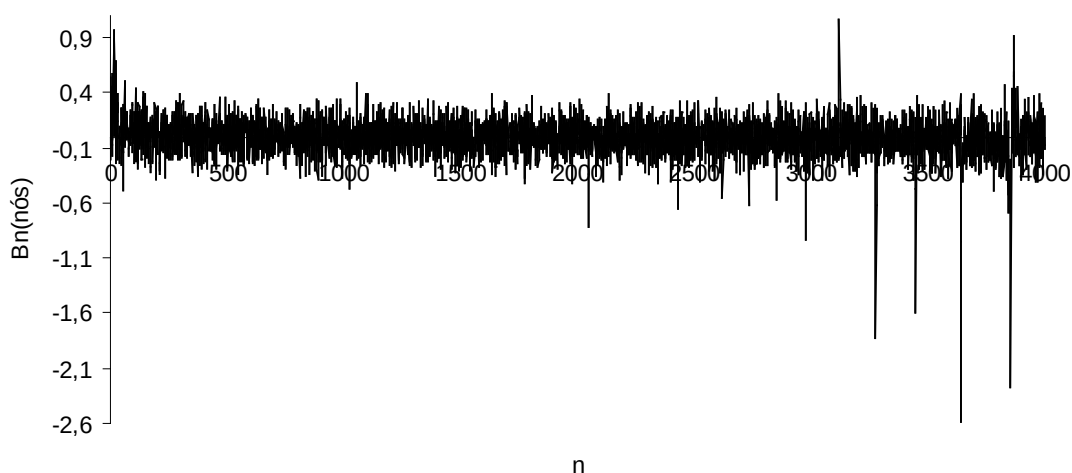


Figura 14 - Coeficiente B_n de Fourier para a intensidade do vento

Na Figura 15, percebe-se que os picos de A_n para a quantidade de

precipitação se encontram em $n=11$, $n=12$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 364, 333 e 1,04 dias respectivamente.

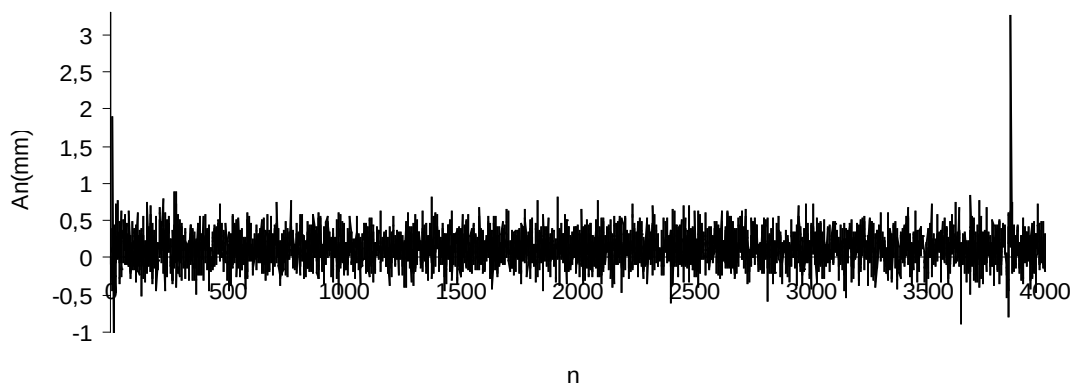


Figura 15 - Coeficiente A_n de Fourier para a quantidade de precipitação

Na Figura 16, percebe-se que os picos de B_n para a quantidade de precipitação se encontram em $n=11$, $n=13$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 364, 308 e 1,04 dias respectivamente.

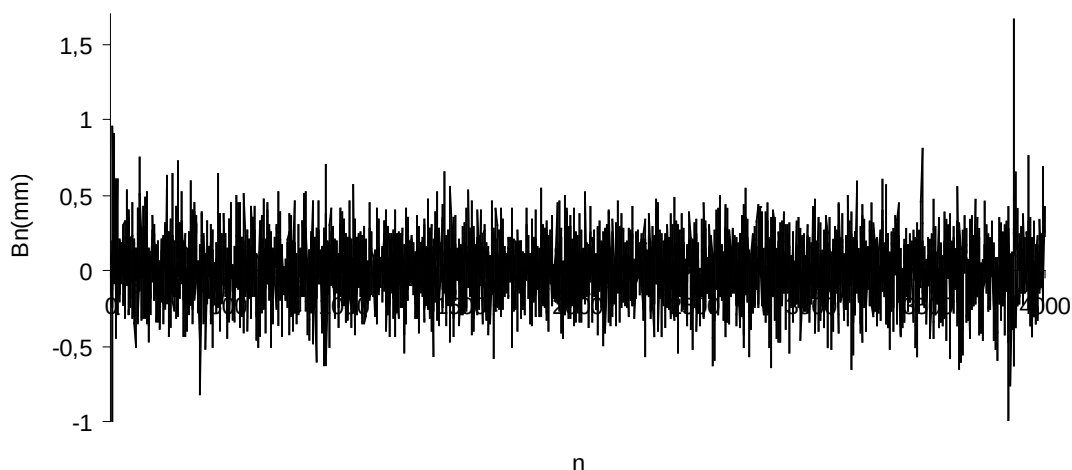


Figura 16 - Coeficiente B_n de Fourier para a quantidade de precipitação

Na Figura 17, percebe-se que os picos de A_n para a duração da precipitação se encontram em $n=11$, $n=12$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 364, 333 e 1,04 dias respectivamente.

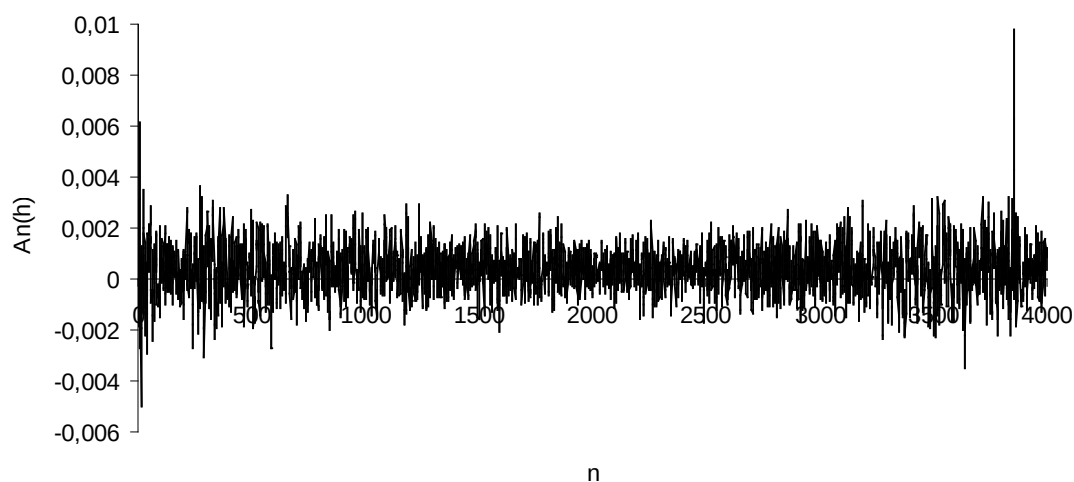


Figura 17 - Coeficiente A_n de Fourier para a duração de precipitação

Na Figura 18, percebe-se que os picos de B_n para a duração da precipitação se encontram em $n=12$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 333 e 1,04 dias respectivamente.

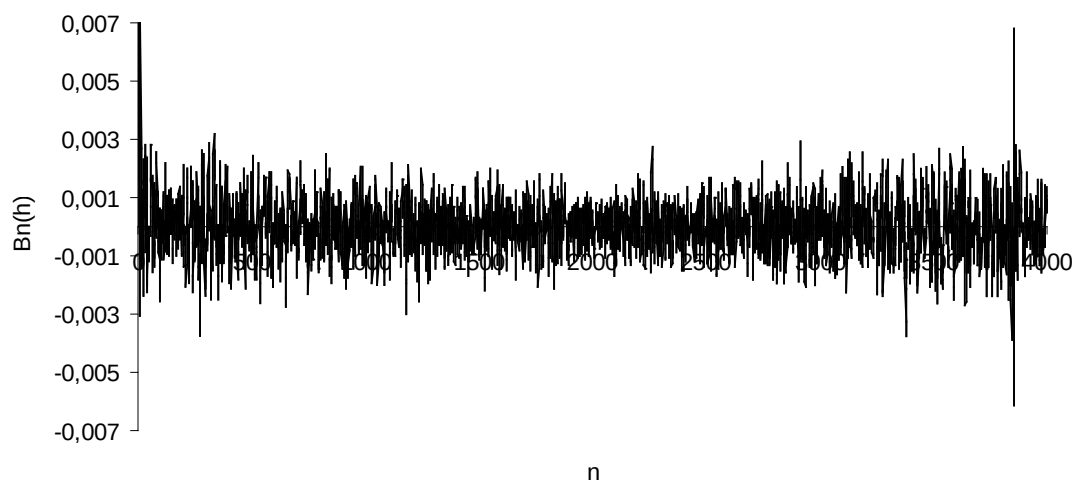


Figura 18 - Coeficiente B_n de Fourier para a duração de precipitação

Na Figura 19, percebe-se que os picos de A_n para a umidade relativa se encontram em $n=3641$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 1,10 e 1,04 dias respectivamente.

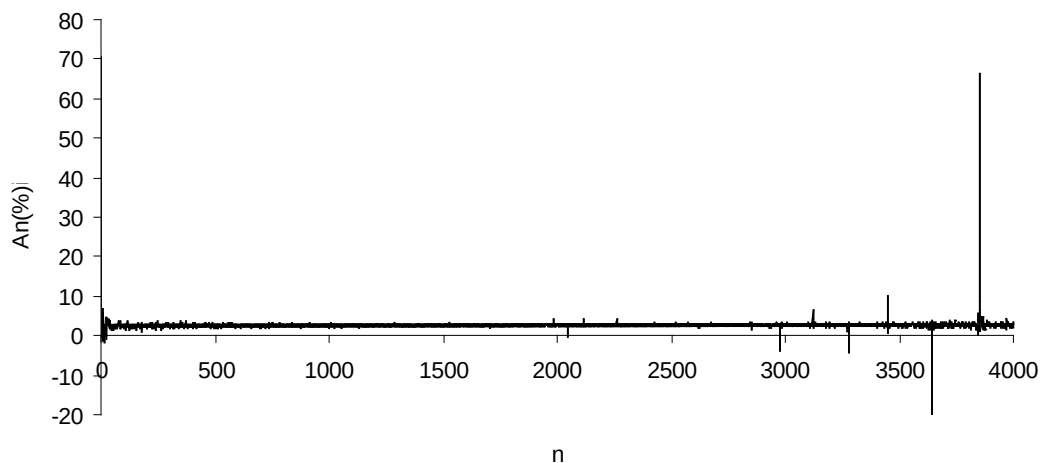


Figura 19 - Coeficiente A_n de Fourier para a umidade relativa

Na Figura 20, percebe-se que os picos de B_n para a umidade relativa se encontram em $n=11$, $n=13$, $n=2979$, $n=3121$, $n=3277$, $n=3449$, $n=3641$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 364; 308; 1,34; 1,28; 1,22; 1,16; 1,10 e 1,04 dias respectivamente.

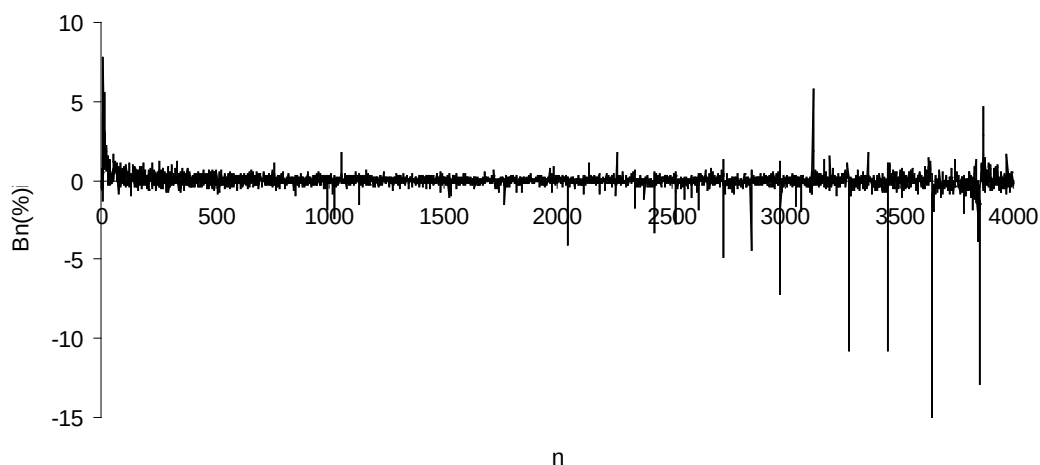


Figura 20 - Coeficiente B_n de Fourier para a umidade relativa

Na Figura 21, percebe-se que os picos de A_n para a pressão máxima se encontram em $n=3641$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 1,10 e 1,04 dias respectivamente.

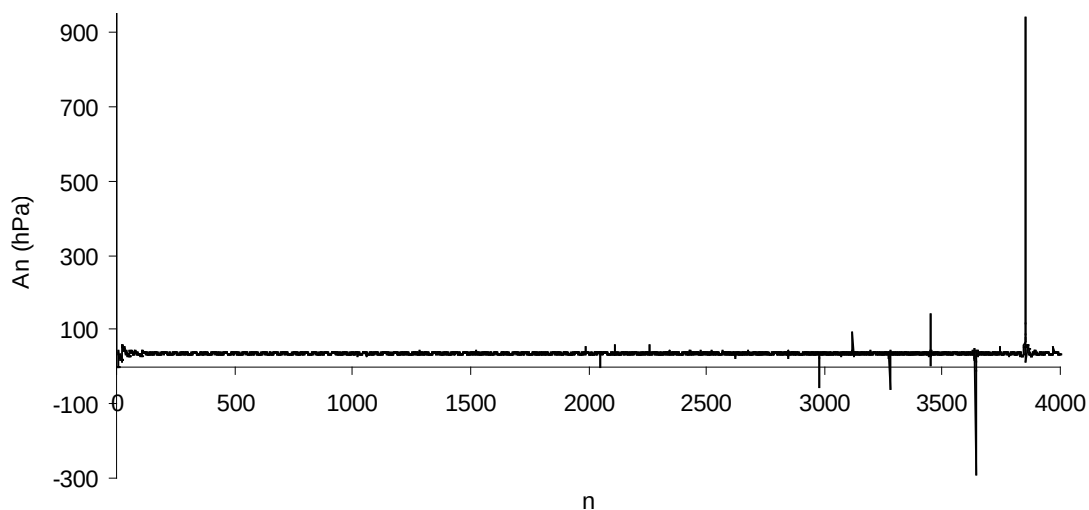


Figura 21 - Coeficiente A_n de Fourier para a pressão máxima

Na Figura 22, percebe-se que os picos de B_n para a pressão máxima se encontram em $n=9$, $n=10$, $n=11$, $n=2048$, $n=2731$, $n=2979$, $n=3121$, $n=3277$, $n=3449$, $n=3641$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 444; 400; 364; 1,95; 1,46; 1,34; 1,28; 1,22; 1,16; 1,10 e 1,04 dias respectivamente.

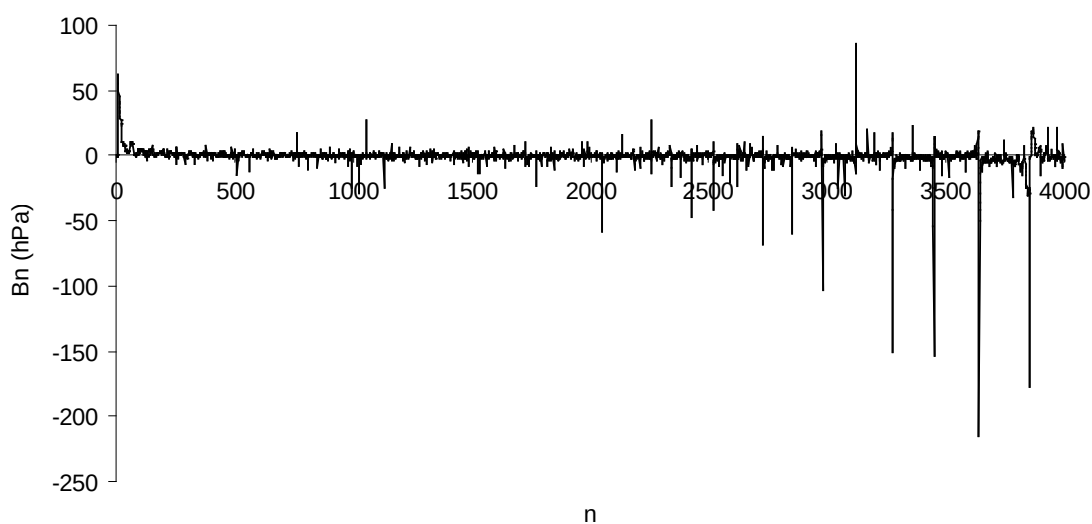


Figura 22 - Coeficiente B_n de Fourier para a pressão máxima

Na Figura 23, percebe-se que os picos de A_n para a pressão média se encontram em $n=3641$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 1,10 e 1,04 dias respectivamente.

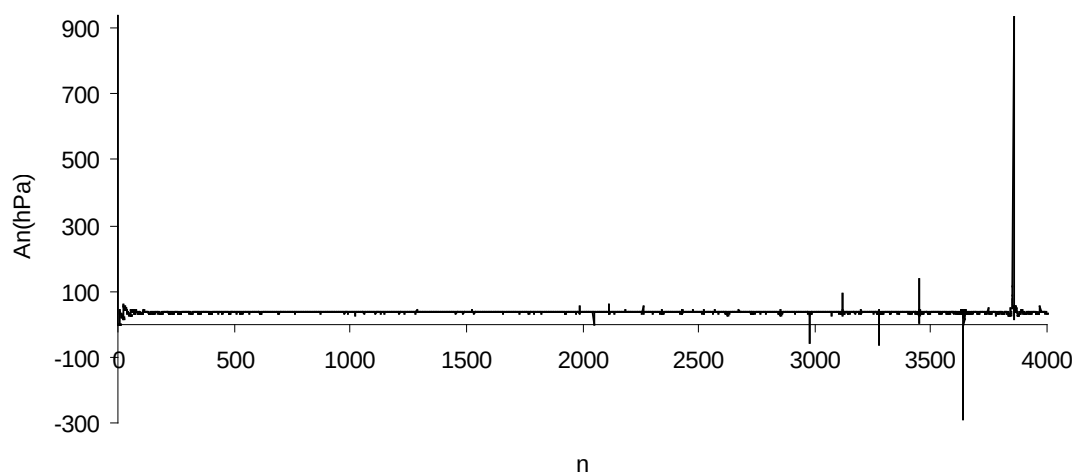


Figura 23 - Coeficiente A_n de Fourier para a pressão média

Na Figura 24, percebe-se que os picos de B_n para a pressão média se encontram em $n=9$, $n=10$, $n=11$, $n=2048$, $n=2731$, $n=2979$, $n=3121$, $n=3277$, $n=3449$, $n=3641$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 444; 400; 364; 1,95; 1,46; 1,34; 1,28; 1,22; 1,16; 1,10 e 1,04 dias respectivamente.

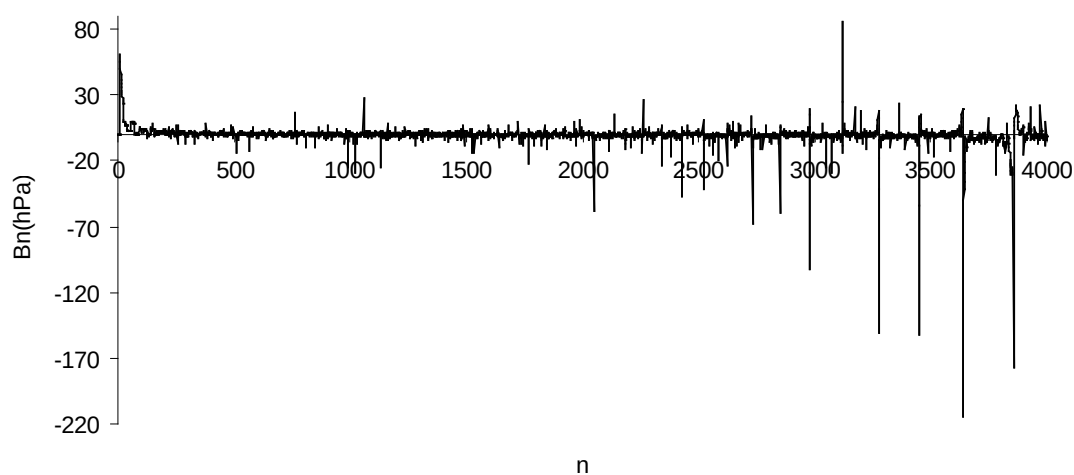


Figura 24 - Coeficiente B_n de Fourier para a pressão média

Na Figura 25, percebe-se que os picos de A_n para a pressão mínima se encontram em $n=3641$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 1,10 e 1,04 dias respectivamente.

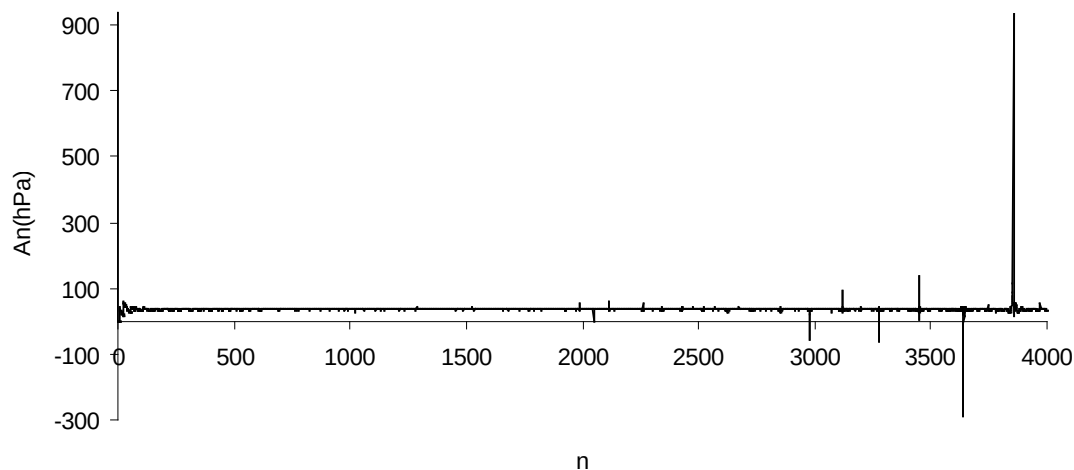


Figura 25 - Coeficiente A_n de Fourier para a pressão mínima

Na Figura 26, percebe-se que os picos de B_n para a pressão mínima se encontram em $n=9$, $n=10$, $n=11$, $n=2048$, $n=2731$, $n=2979$, $n=2849$, $n=3121$, $n=3277$, $n=3449$, $n=3641$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 444; 400; 364; 1,95; 1,46; 1,40; 1,34; 1,28; 1,22; 1,16; 1,10 e 1,04 dias respectivamente.

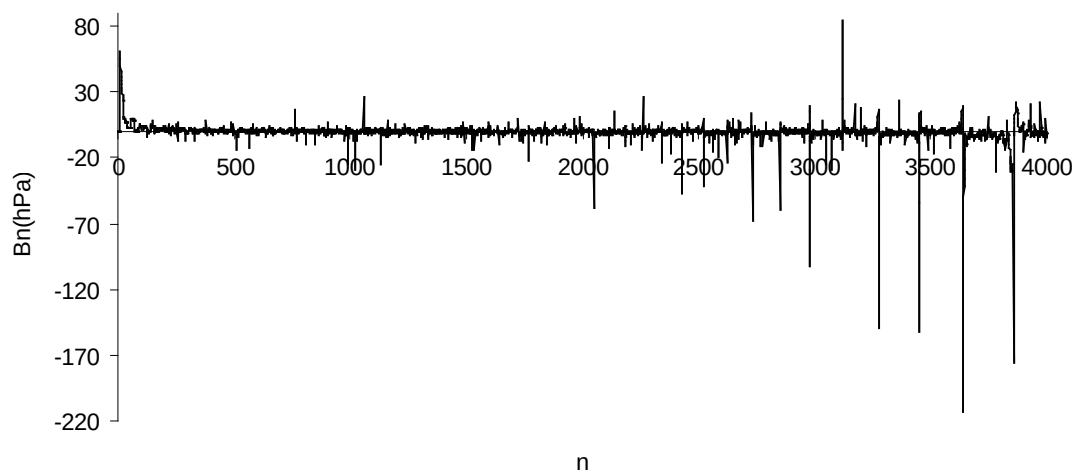


Figura 26 - Coeficiente B_n de Fourier para a pressão mínima

Na Figura 27, percebe-se que os picos de A_n para a temperatura máxima se encontram em $n=3641$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 1,10 e 1,04 dias respectivamente.

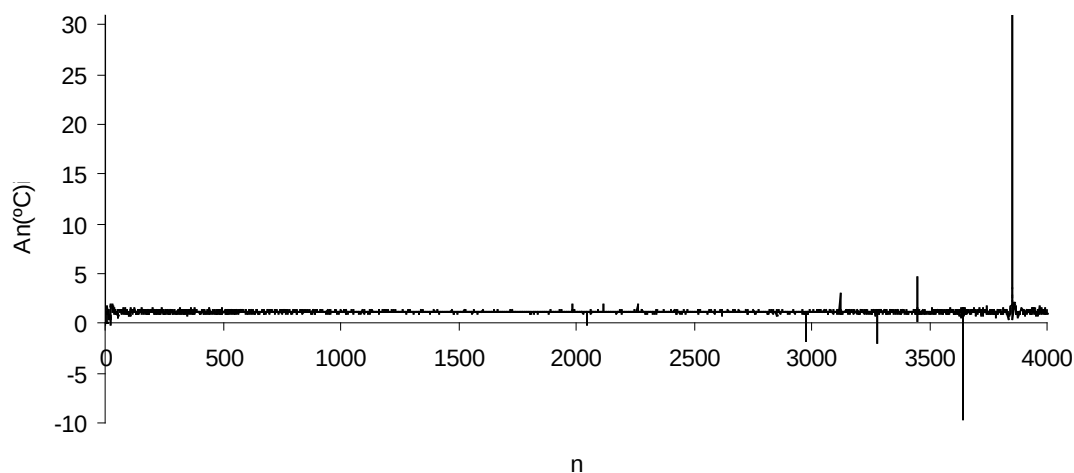


Figura 27 - Coeficiente A_n de Fourier para a temperatura máxima

Na Figura 28, percebe-se que os picos de B_n para a temperatura máxima se encontram em $n=9$, $n=10$, $n=12$, $n=2048$, $n=2731$, $n=2849$, $n=2979$, $n=3121$, $n=3277$, $n=3449$, $n=3641$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 444; 400; 333; 1,95; 1,46; 1,40; 1,34; 1,28; 1,22; 1,16; 1,10 e 1,04 dias respectivamente.

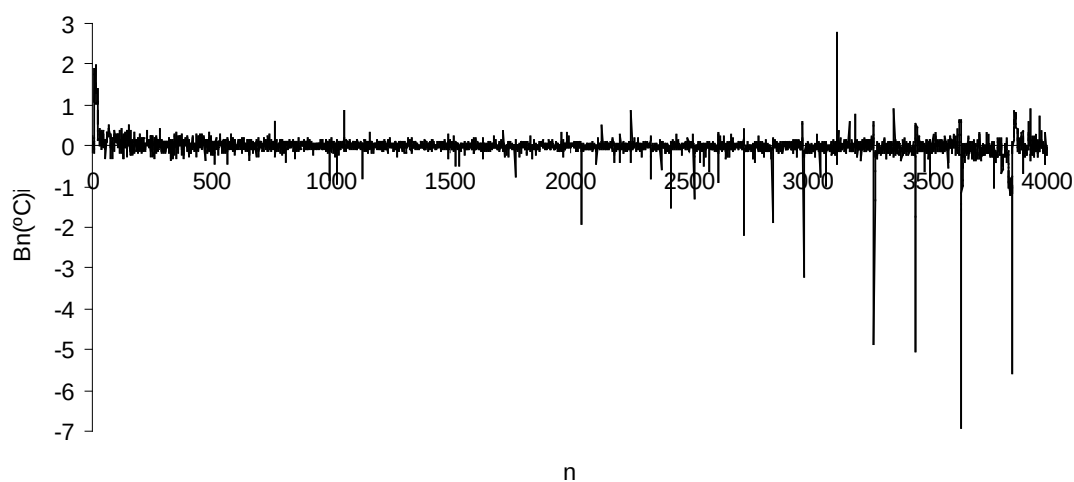


Figura 28 - Coeficiente B_n de Fourier para a temperatura máxima

Na Figura 29, percebe-se que os picos de A_n para a temperatura média se encontram em $n=3641$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 1,10 e 1,04 dias respectivamente.

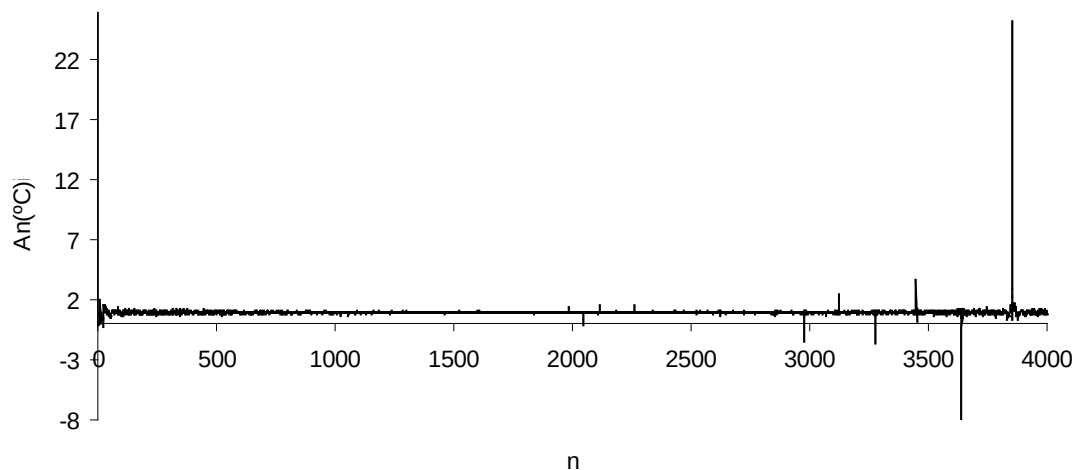


Figura 29 - Coeficiente A_n de Fourier para a temperatura média

Na Figura 30, percebe-se que os picos de B_n para a temperatura média se encontram em $n=12$, $n=2731$, $n=2849$, $n=2979$, $n=3121$, $n=3277$, $n=3449$, $n=3641$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 333; 1,46; 1,34; 1,28; 1,22; 1,16; 1,10 e 1,04 dias respectivamente.

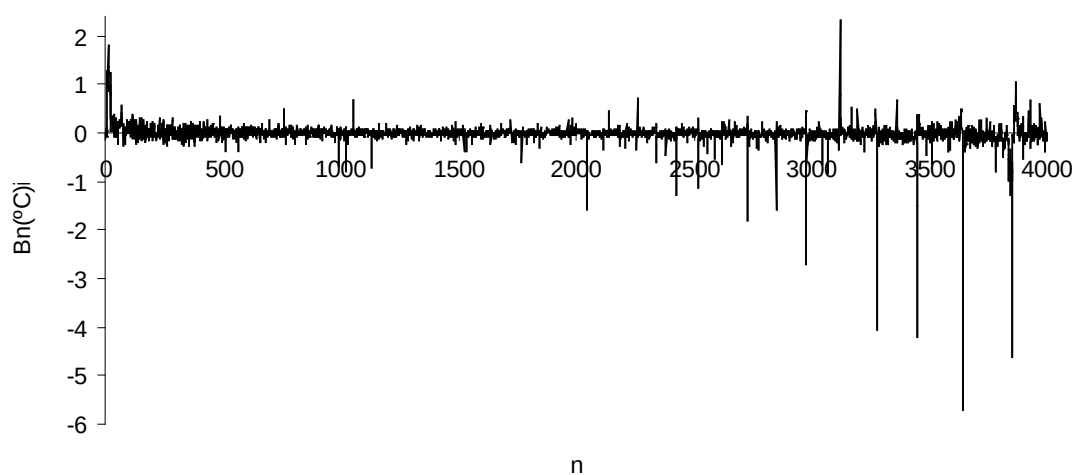


Figura 30 - Coeficiente B_n de Fourier para a temperatura média

Na Figura 31, percebe-se que os picos de A_n para a temperatura mínima se encontram em $n=3641$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 1,10 e 1,04 dias respectivamente.

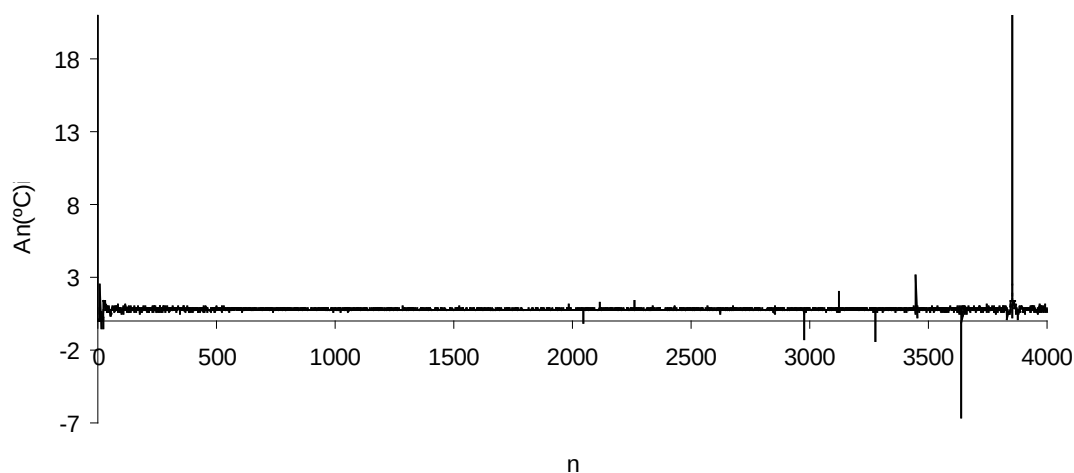


Figura 31 - Coeficiente A_n de Fourier para a temperatura mínima

Na Figura 32, percebe-se que os picos de B_n para a temperatura mínima se encontram em $n=12$, $n=13$, $n=2731$, $n=2979$, $n=3121$, $n=3277$, $n=3449$, $n=3641$ e $n=3855$ o que corresponde a períodos de 333; 308; 1,46; 1,34; 1,28; 1,22; 1,16; 1,10 e 1,04.

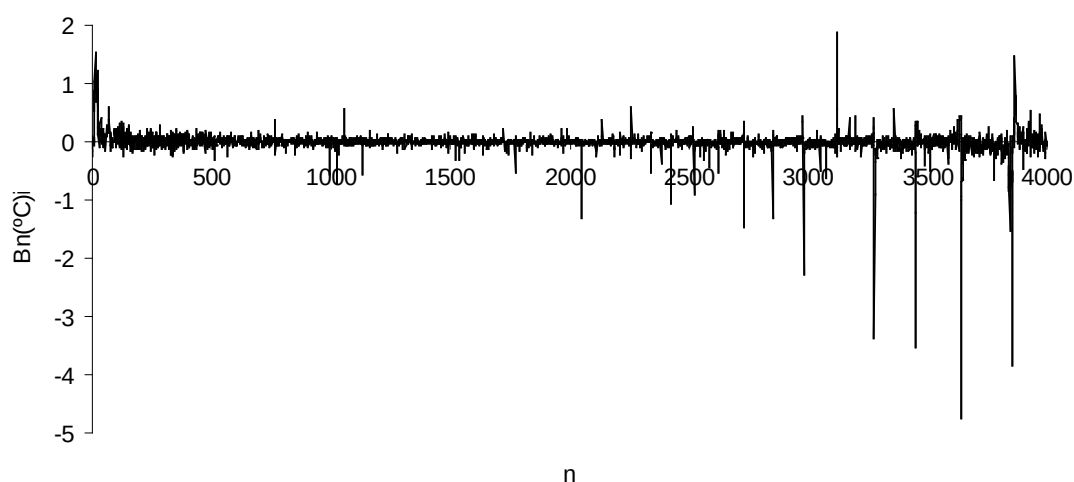


Figura 32 - Coeficiente B_n de Fourier para a temperatura mínima

PINHEIRO (2008) obteve para a temperatura com intervalo de dados de 30 minutos periodicidades de 3,4h; 4h; 12h e 1dia para os coeficientes e periodicidades de 3,4h; 4,3h; 4,81h; 4,96h; 12h, 1dia e 1,14 dia para os coeficientes de .

As Tabelas 01 e 02 fazem um resumo das periodicidades encontradas em A_n

e Bn para cada uma das variáveis micrometeorológicas estudadas.

Tabela 01. Periodicidade em dias obtidas no gráfico de An para as Variáveis Micrometeorológicas com a Análise de Fourier: 1-Direção do Vento, 2-Velocidade do Vento, 3-Quantidade de Precipitação, 4-Duração de Precipitação, 5-Temperatura Máxima, 6-Temperatura Média, 7-Temperatura Mínima, 8-Pressão Máxima, 9-Pressão Média, 10-Pressão Mínima e 11 Umidade Relativa.

Periodicidades de An x n (em dias)	Variável Micrometeorológica										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
364			X	X							
333			X								
308				X							
1,10	X	X			X	X	X	X	X	X	X
1,04	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabela 02. Periodicidade em dias obtidas no gráfico de Bn para as Variáveis Micrometeorológicas: 1-Direção do Vento, 2-Velocidade do Vento, 3-Quantidade de Precipitação, 4-Duração de Precipitação, 5-Temperatura Máxima, 6-Temperatura Média, 7-Temperatura Mínima, 8-Pressão Máxima, 9-Pressão Média, 10-Pressão Mínima e 11 Umidade Relativa.

Periodicidades de Bn x n (em dias)	Variável Micrometeorológica										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
444	X				X			X	X	X	
400					X			X	X	X	
364			X	X				X	X	X	X
333	X	X			X	X	X				
308		X	X	X			X				X
250		X									
211		X									
1,95					X			X	X	X	
1,46					X	X	X	X	X	X	
1,40					X					X	
1,34	X	X			X	X	X	X	X	X	X
1,28	X	X			X	X	X	X	X	X	X
1,22	X	X			X	X	X	X	X	X	X
1,16	X	X			X	X	X	X	X	X	X
1,10	X	X			X	X	X	X	X	X	X

4.3. ANÁLISE POWER SPECTRUM

Os picos mais significativos para a direção do vento localizaram-se em $f=6,32953 \cdot 10^{-7}$, $f=2,895 \cdot 10^{-7}$, $f=5,787 \cdot 10^{-7}$ e $f=1,01273 \cdot 10^{-6}$ como mostra a Figura 33. Correspondendo a períodos de 18,29; 4; 2 e 1,14 dias respectivamente.

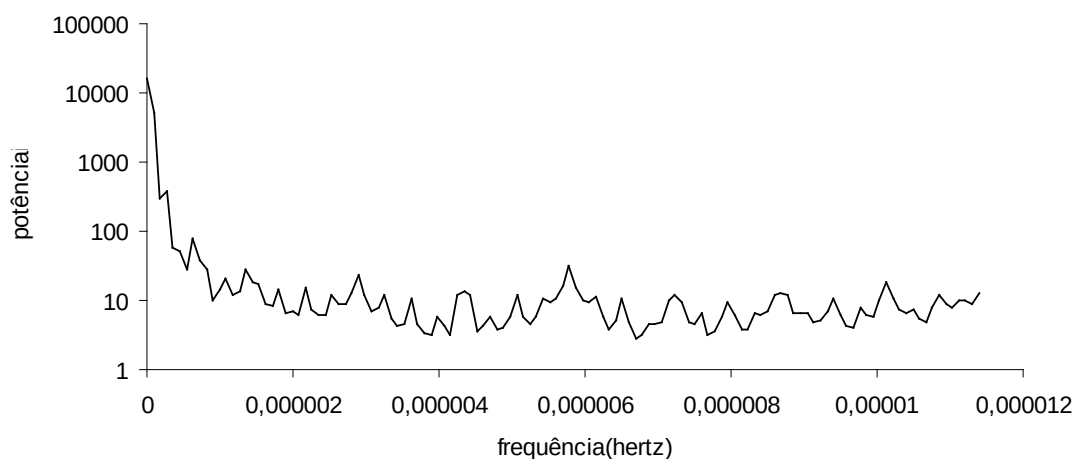


Figura 33 - Potência versus frequência para a direção do vento com número de intervalos igual a 128.

Os picos mais significativos para a intensidade do vento localizaram-se em $f=6,32953 \cdot 10^{-7}$; $f=2,8935 \cdot 10^{-7}$; $f=4,34025 \cdot 10^{-7}$ e $f=5,787 \cdot 10^{-7}$ como mostra a Figura 34. Correspondendo a períodos de 18,29; 4; 2,66 e 2 dias respectivamente.

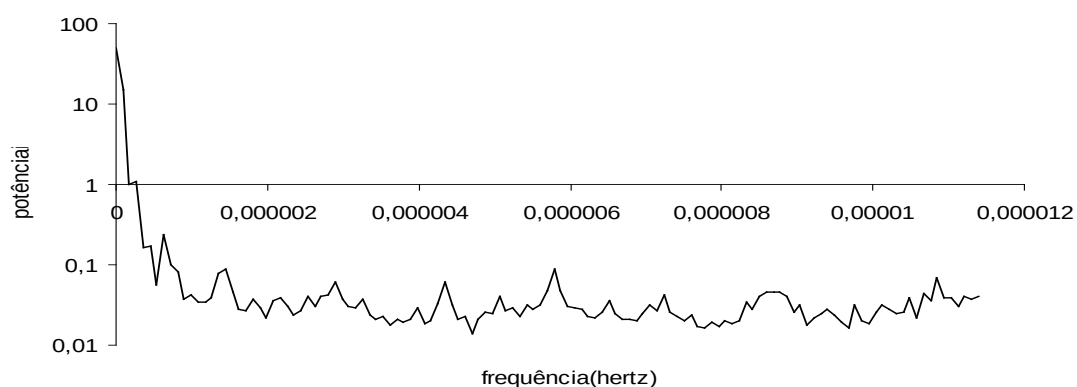


Figura 34 - Potência versus frequência para a intensidade do vento com número de intervalos igual a 128.

BALDOCCHI (2001) obteve periodicidade de 24h e de 12h, esta última não

mostra um pico bem identificável no estudo da floresta temperada nos estados Unidos.

Os picos mais significativos para a precipitação localizaram-se em $f=7,23375 \cdot 10^{-7}$; $f=1,44675 \cdot 10^{-6}$; $f=2,8935 \cdot 10^{-6}$; $f=4,34025 \cdot 10^{-6}$; $f=5,787 \cdot 10^{-6}$; $f=7,23375 \cdot 10^{-6}$ e $f=1,01273 \cdot 10^{-5}$ como mostra a Figura 35. Correspondendo a períodos de 16; 8; 4,13; 2,66; 2; 1,6; 1,14 dias respectivamente.

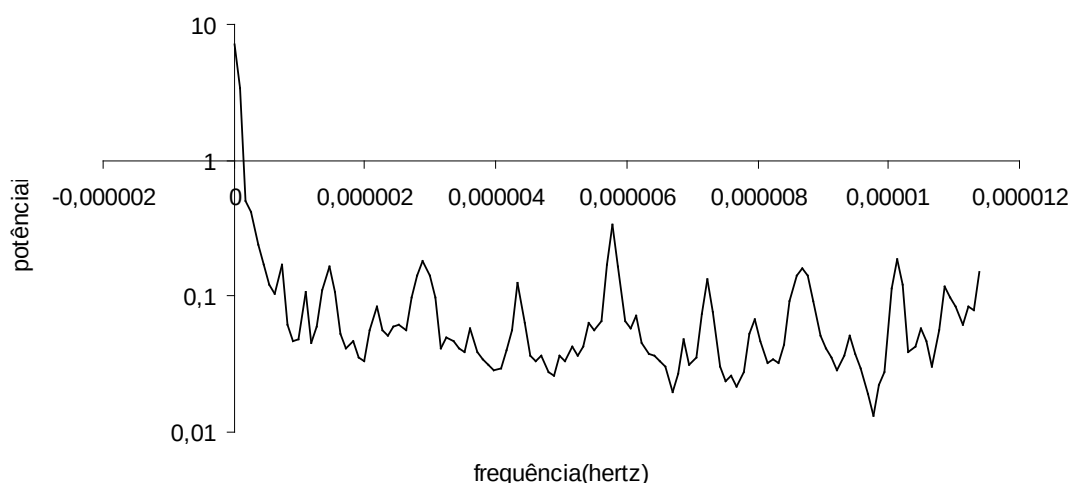


Figura 35 - Potência versus frequência para a precipitação com número de intervalos igual a 128.

Não há ocorrência de picos significativos na duração de precipitação como se observa na Figura 36.

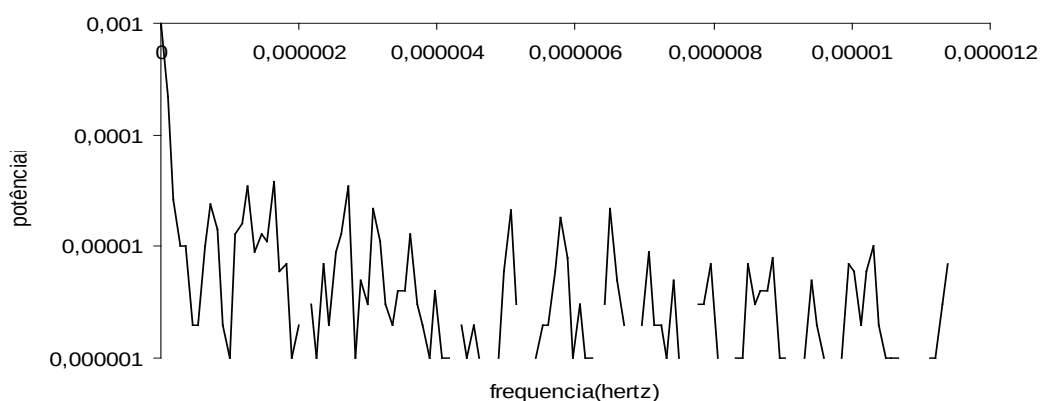


Figura 36 - Potência versus frequência para a duração de precipitação com número de intervalos igual a 128.

Os picos mais significativos para a umidade relativa localizaram-se em

$f=6,32953 \cdot 10^{-7}$; $f=1,35633 \cdot 10^{-6}$; $f=2,8935 \cdot 10^{-6}$ e $f=5,787 \cdot 10^{-6}$ como mostra a Figura 37. Correspondendo a períodos de 18,29; 8,53; 4,13 e 2 dias respectivamente.

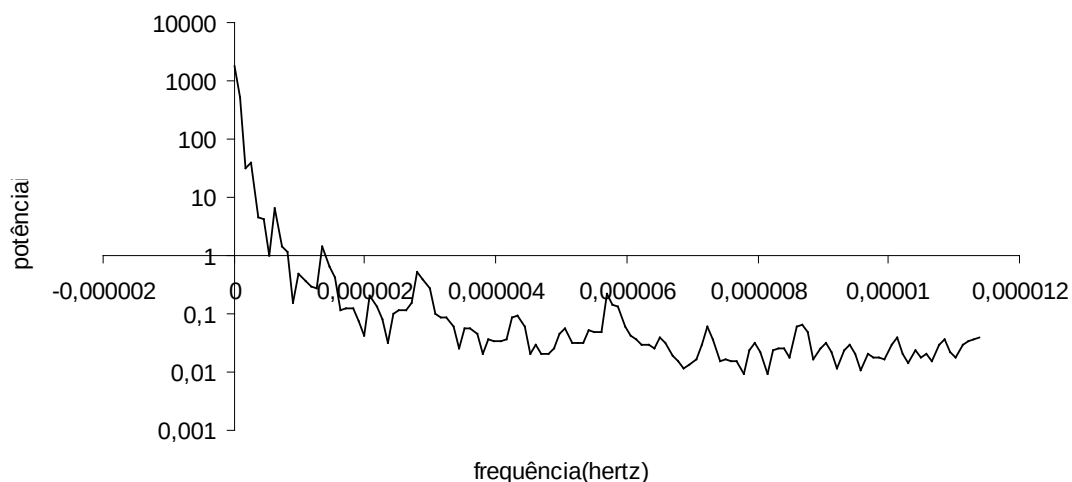


Figura 37 - Potência versus frequência para a umidade relativa com número de intervalos igual a 128

Os picos mais significativos para a pressão máxima localizaram-se em $f=6,32953 \cdot 10^{-7}$; $f=1,35633 \cdot 10^{-6}$; $f=2,80308 \cdot 10^{-6}$; $f=5,69658 \cdot 10^{-6}$, $f=2,0797 \cdot 10^{-6}$ e $f=8,68 \cdot 10^{-6}$ como mostra a Figura 38. Correspondendo a períodos de 18,29; 8,53; 4,13; 2,03; 5,57 e 1,33 dias respectivamente.

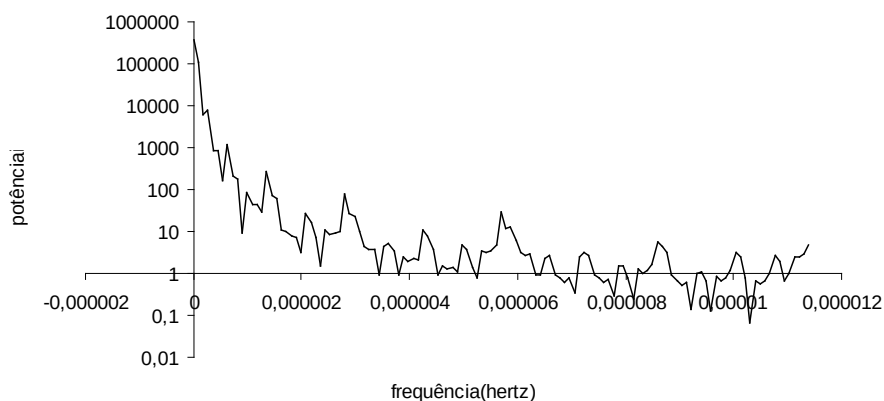


Figura 38 - Potência versus frequência para a pressão máxima com número de intervalos igual a 128.

Os picos mais significativos para a pressão média localizaram-se em $f=6,32953 \cdot 10^{-7}$; $f=1,35633 \cdot 10^{-6}$; $f=2,80308 \cdot 10^{-6}$; $f=5,787 \cdot 10^{-6}$, $f=3,61688 \cdot 10^{-6}$ e

$f=8,68.10^{-7}$ como mostra a Figura 39. Correspondendo a períodos de 18,29; 8,53; 4,13; 2; 3,2 e 1,33 dias.

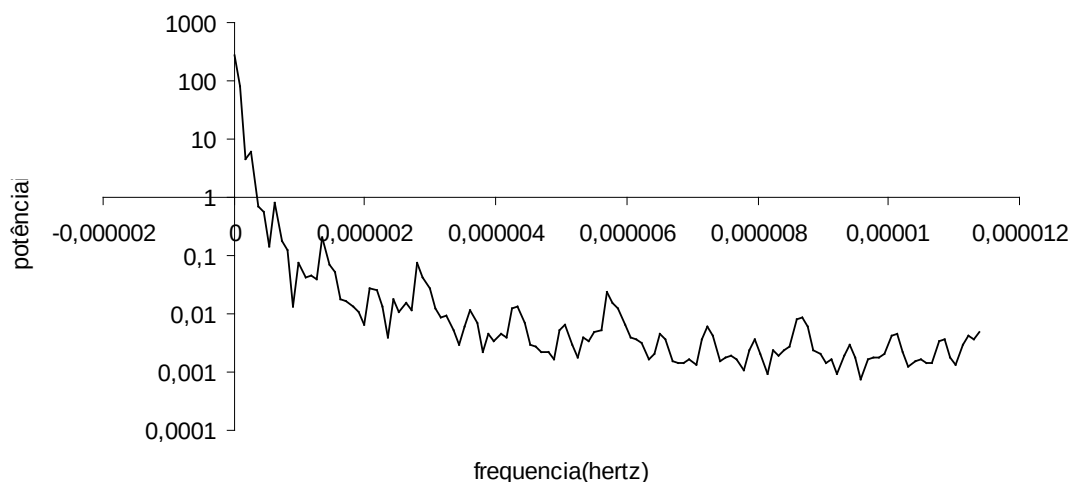


Figura 39 - Potência versus frequência para a pressão média com número de intervalos igual a 128.

Os picos mais significativos para a pressão mínima localizaram-se em $f=6,32953.10^{-7}$; $f=1,35633.10^{-7}$; $f=2,0797.10^{-7}$; $f=2,80308.10^{-7}$; $f=5,69658.10^{-7}$ e $f=8,68.10^{-7}$ como mostra a Figura 40. Correspondendo a períodos de 18,29; 8,53; 5,57; 4,13; 2,03 e 1,33 dias.

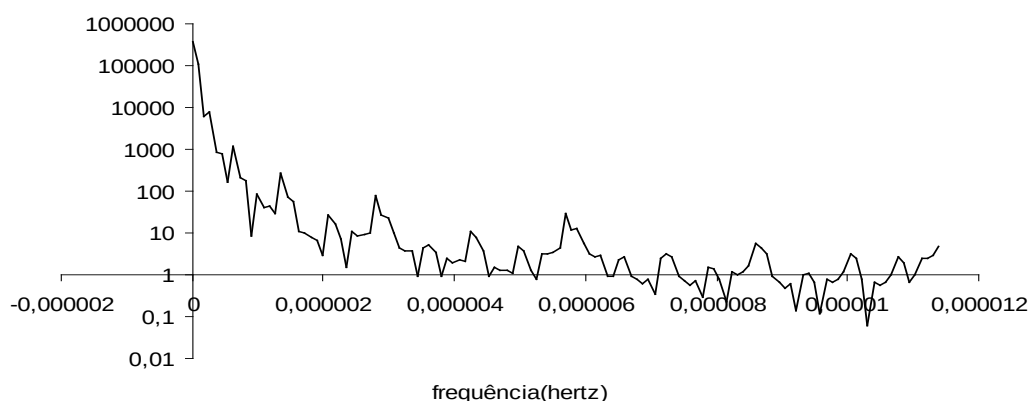


Figura 40 - Potência versus frequência para a pressão mínima com número de intervalos igual a 128.

Os picos mais significativos para a temperatura máxima localizaram-se em $f=6,32953.10^{-7}$; $f=1,35633.10^{-7}$; $f=2,80308.10^{-7}$; $f=5,69658.10^{-7}$ e $f=8,68.10^{-7}$ como

mostra a Figura 41. Correspondendo a períodos de 18,29; 8,53; 4,13; 2,03 e 1,33 dias.

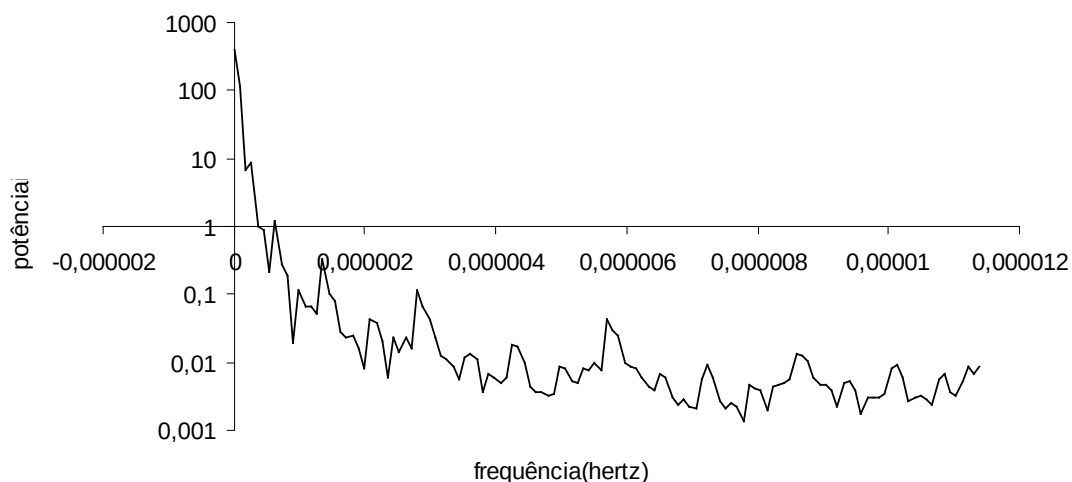


Figura 41 - Potência versus frequência para a temperatura máxima com número de intervalos igual a 128.

Os picos mais significativos para a temperatura média localizaram-se em $f=6,32953 \cdot 10^{-7}$; $f=1,35633 \cdot 10^{-6}$; $f=2,80308 \cdot 10^{-6}$, $f=5,69658 \cdot 10^{-6}$ e $f=8,68 \cdot 10^{-6}$ como mostra a Figura 42. Correspondendo a períodos de 18,29; 8,53; 4,13, 2,03 dias e 1,33 dias.

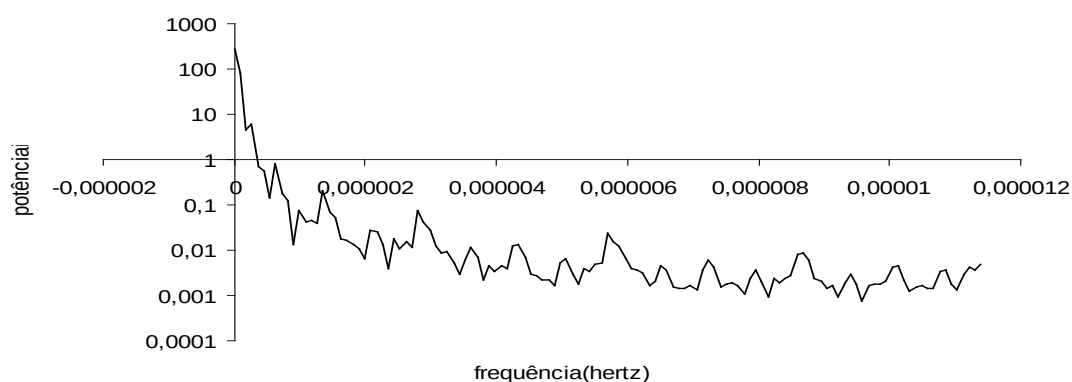


Figura 42 - Potência versus frequência para a temperatura média com número de intervalos igual a 128.

Os picos mais significativos para a temperatura mínima localizaram-se em

$f=6,32953.10^{-7}$; $f=1,35633.10^{-7}$; $f=2,80308.10^{-7}$; $f=5,69658.10^{-7}$ e $f= 8,68.10^{-7}$ como mostra a Figura 43. Correspondendo a períodos de 18,29; 8,53; 4,13; 2,03 e 1,33dias.

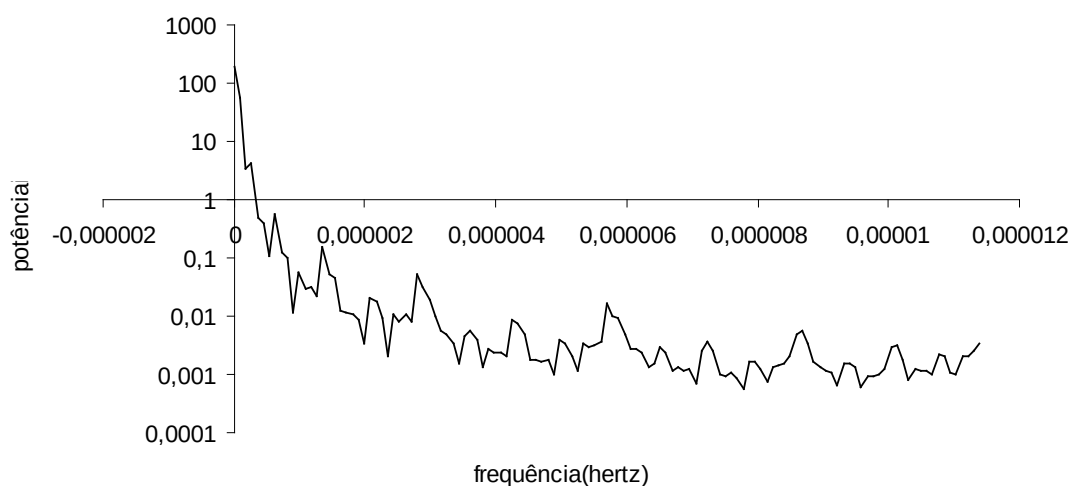


Figura 43 - Potência versus frequência para a temperatura mínima com número de intervalos igual a 128.

MARIANO (2008) obteve com a análise Power Spectrum para a série de temperatura do ar, com o intervalo de dados de 30 minutos periodicidades entre os valores de 1,07h e 25,6 h em Sinop. BALDOCCHI (2001) obteve periodicidades de 24h e 12h para a temperatura do ar em uma floresta temperada nos Estados Unidos.

A Tabela 03 apresenta um resumo das periodicidades obtidas através da Análise Power Spectrum.

Tabela 03 Periodicidade em Dias para as Variáveis Micrometeorológicas obtido através da Análise Power Spectrum: 1-Direção do Vento, 2-Velocidade do Vento, 3-Quantidade de Precipitação, 4-Duração de Precipitação, 5-Temperatura Máxima, 6-Temperatura Média, 7-Temperatura Mínima, 8-Pressão Máxima, 9-Pressão Média, 10-Pressão Mínima e 11 Umidade Relativa.

Periodicidade (em dias)	Variável Micrometeorológica										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
18,29	X	X			X	X	X	X	X	X	X
16			X								

8,53				X	X	X	X	X	X	X
8			X							
5,57							X	X	X	
4,13			X	X	X	X	X	X	X	X
4	X	X								
3,2										
2,66		X	X							
2,03				X	X	X	X	X	X	
2	X	X	X							X
1,6			X							
1,33				X	X	X	X	X	X	
1,14	X		X							

4.4.ANÁLISE MINF

O primeiro mínimo de informação mútua para a velocidade do vento se deu na defasagem temporal de 4 dias como mostra a Figura 44, equivalendo a uma informação mútua de 0,119299.

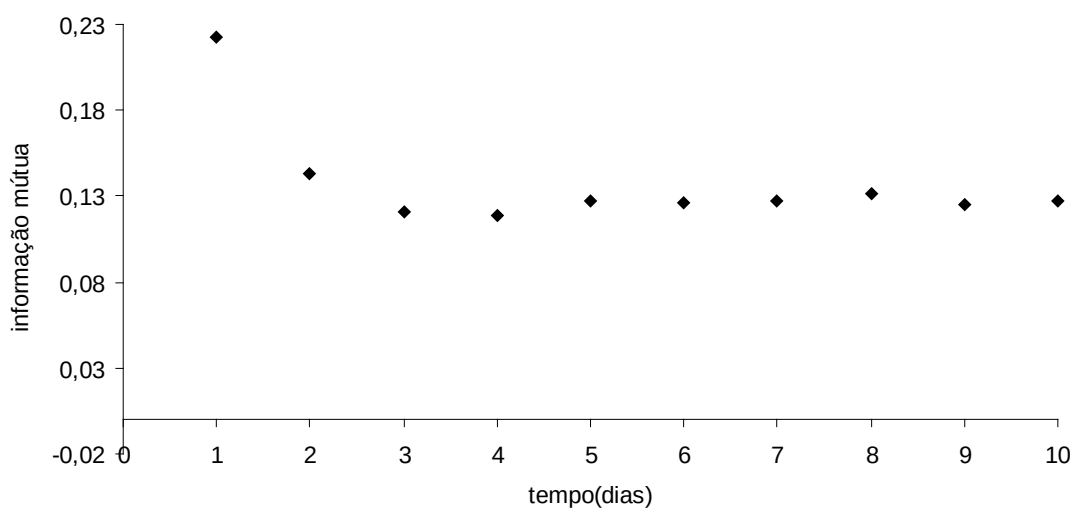


Figura 44 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a velocidade do vento

O primeiro mínimo de informação mútua para a direção do vento se deu na defasagem temporal de 6 dias como mostra a Figura 45, equivalendo a uma informação mútua de 0,04066.

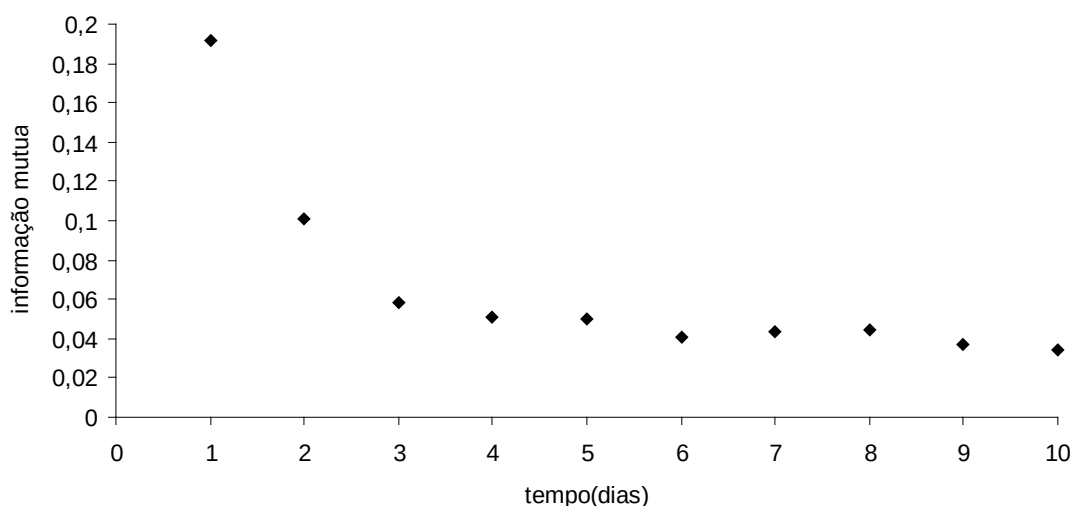


Figura 45 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a direção do vento.

O primeiro mínimo de informação mútua para a quantidade de precipitação se deu na defasagem temporal de 4 dias como mostra a Figura 46, equivalendo a uma informação mútua de 0,02058.

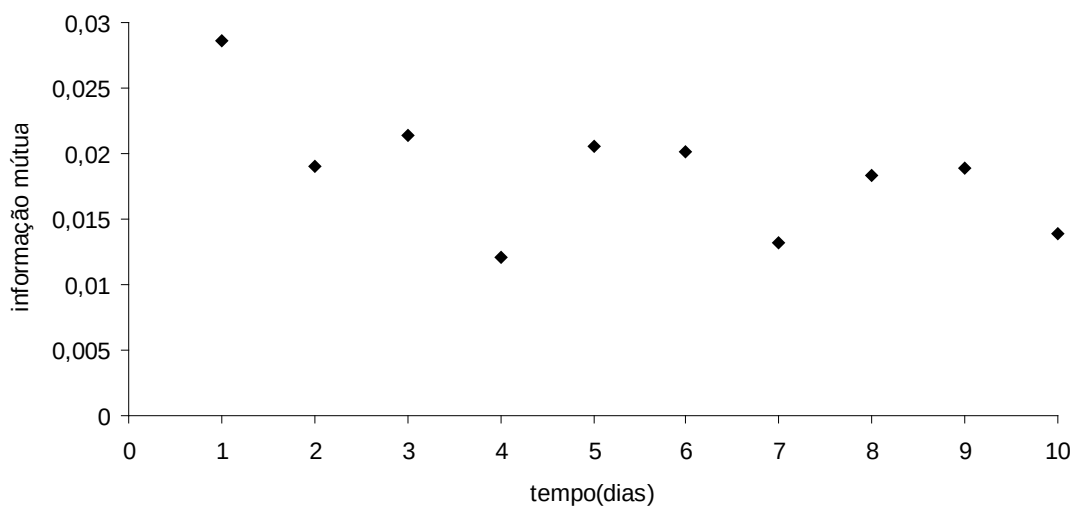


Figura 46 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a quantidade de precipitação.

O primeiro mínimo de informação mútua para a duração de precipitação se deu na defasagem temporal de 2 dias como mostra a Figura 47, equivalendo a uma

informação mútua de 0,018954.

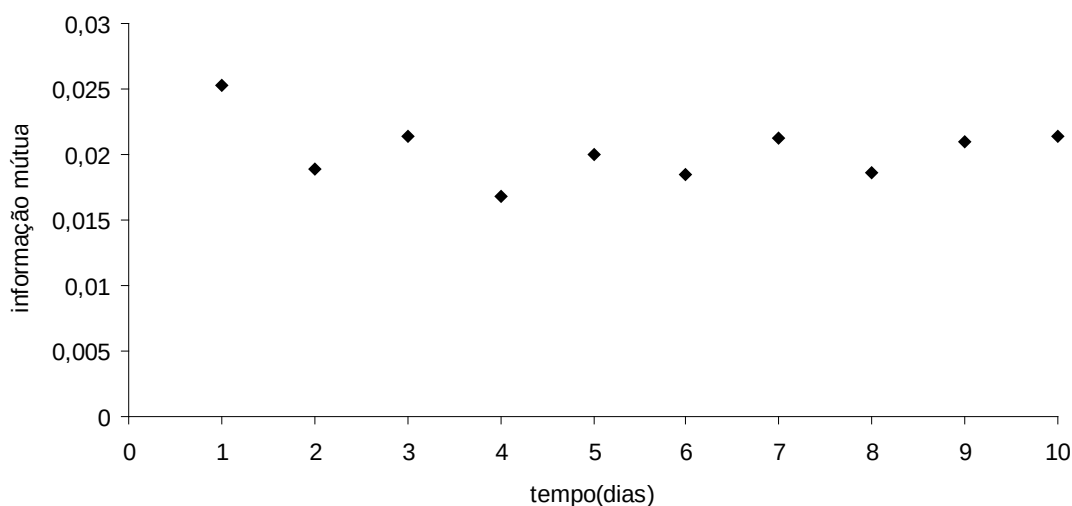


Figura 47 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a duração de precipitação.

O primeiro mínimo de informação mútua para a umidade relativa se deu na defasagem temporal de 7 dias como mostra a Figura 48, equivalendo a uma informação mútua de 0,085134.

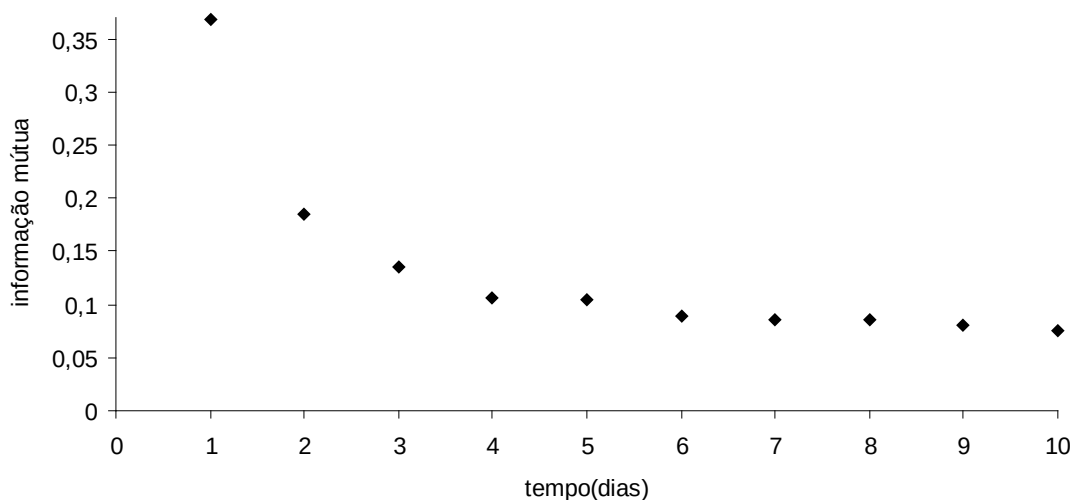


Figura 48 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a umidade relativa.

O primeiro mínimo de informação mútua para a pressão máxima se deu na

defasagem temporal de 7 dias como mostra a Figura 49, equivalendo a uma informação mútua de 0,087535.

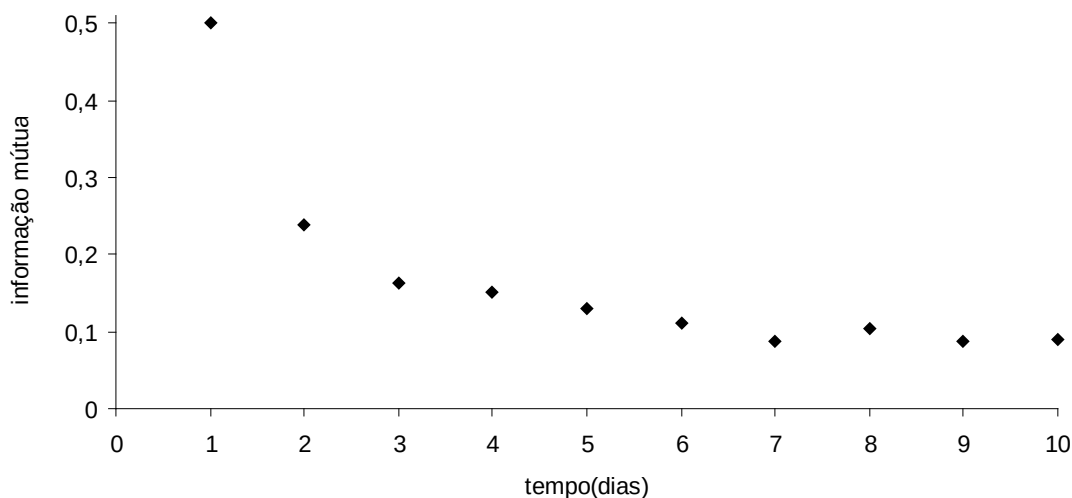


Figura 49 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a pressão máxima.

O primeiro mínimo de informação mútua para a pressão média ocorreu na defasagem temporal de 8 dias como mostra a Figura 50, o valor encontrado foi de 0,098775.

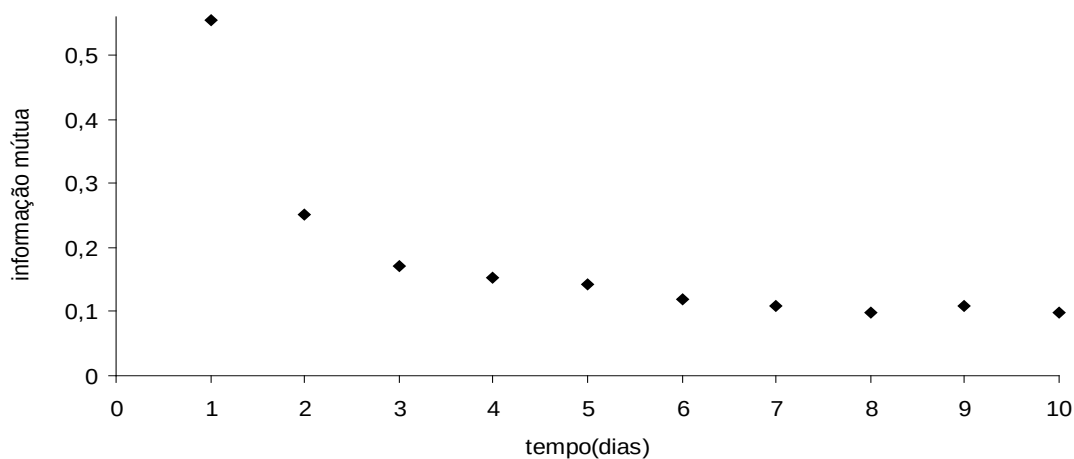


Figura 50 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a pressão média.

O primeiro mínimo de informação mútua para a pressão mínima ocorreu na

defasagem temporal de 8 dias como mostra a Figura 51, o valor encontrado foi de 0,099221.

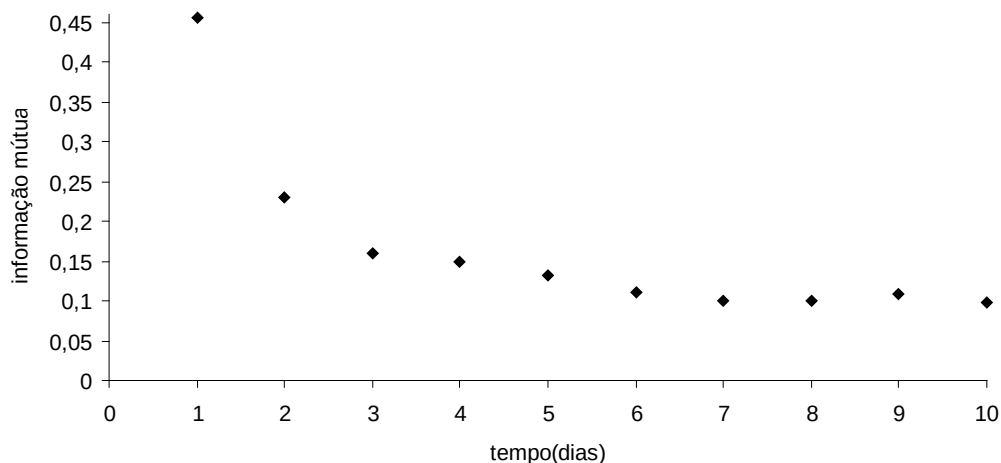


Figura 51 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a pressão mínima.

O primeiro mínimo de informação mútua para a temperatura máxima foi de 0,057653 na defasagem temporal de 7 dias como mostra a Figura 52.

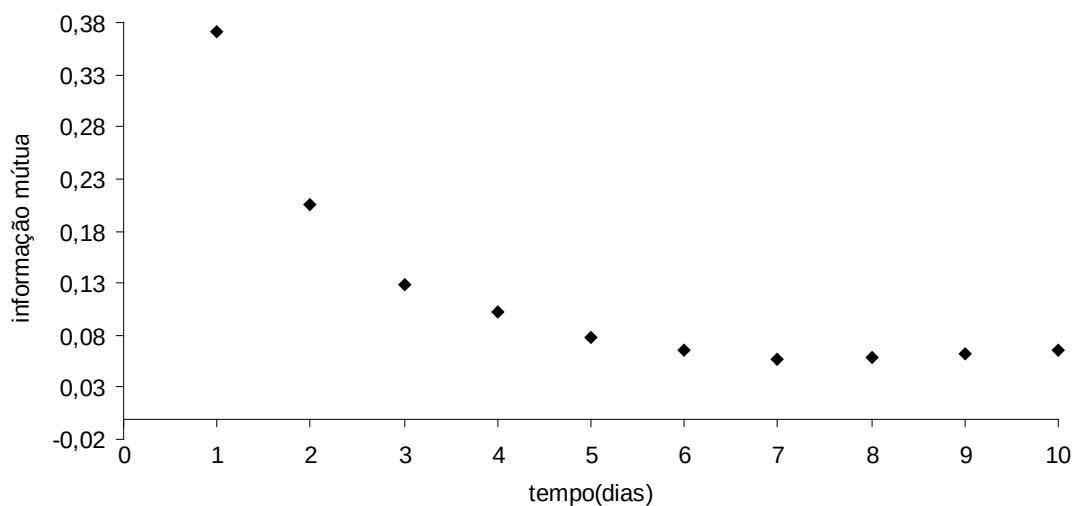


Figura 52 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a temperatura máxima.

O primeiro mínimo de informação mútua para a temperatura média foi de 0,065578 na defasagem temporal de 8 dias como mostra a Figura 53.

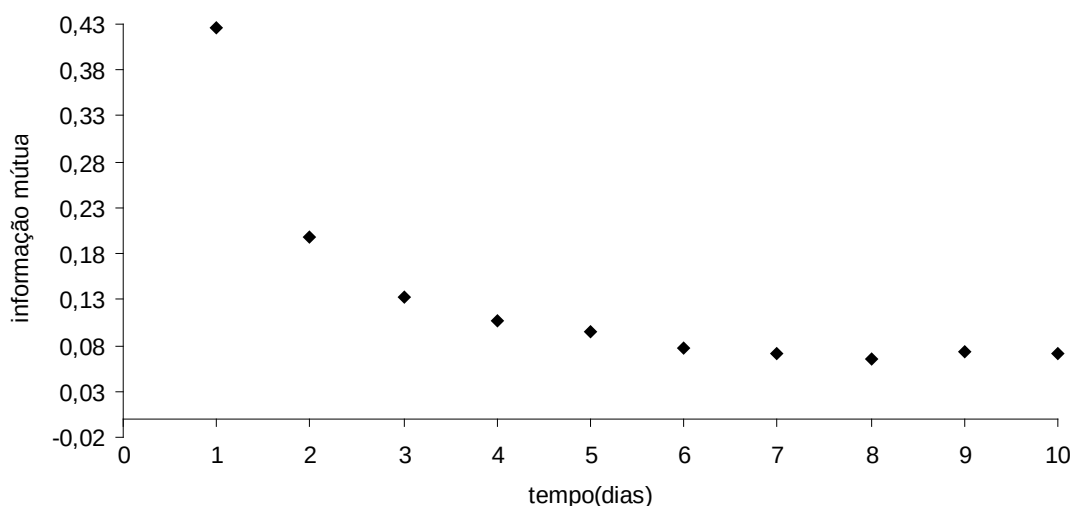


Figura 53 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a temperatura média.

O primeiro mínimo de informação mútua para a temperatura mínima foi de 0,163587 na defasagem temporal de 4 dias como mostra a Figura 54.

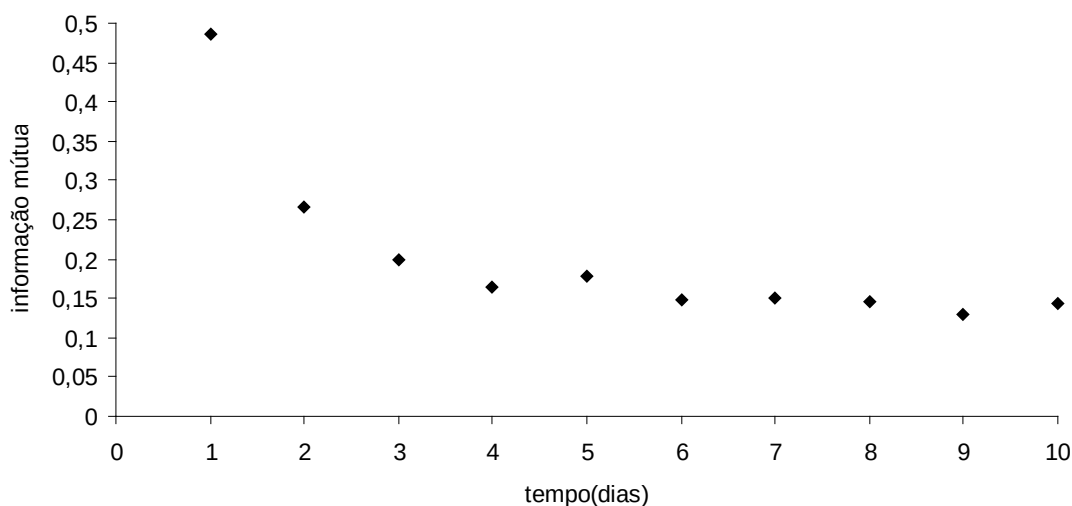


Figura 54 - Coeficiente de informação mútua em função da defasagem temporal em dias para a temperatura mínima.

A Tabela 04 faz um resumo da primeira informação mútua mínima em função da defasagem temporal para cada uma das variáveis micrometeorológicas.

Tabela 04 Defasagem Temporal para a Menor Informação Mútua para Cada Variável Micrometeorológica.

Variável Micrometeorológica	Defasagem Temporal (dias)	Informação Mútua
Direção do vento	6	0,04066
Velocidade do Vento	4	0,119299
Quantidade de Precipitação	2	0,02058
Tempo de Precipitação	4	0,018954
Temperatura Máxima	7	0,057653
Temperatura Média	8	0,065578
Temperatura Mínima	4	0,163587
Pressão Máxima	7	0,087535
Pressão Média	8	0,098775
Pressão Mínima	8	0,099221
Umidade Relativa	7	0,085134

4.5.ANÁLISE HEAVISIDE

Na Figura 55, observa-se que para a variável intensidade do vento a dimensionalidade do atrator é 4,26 e que a dimensionalidade do espaço de fase é igual a 14. Com uma sequência de dados de intensidade do vento de defasagem temporal de 5,5h e com intervalo de dados de 30 minutos, CAPISTRANO (2007) obteve dimensionalidade de atratores entre 2,4 e 3,3 e dimensionalidade do espaço de fase entre 9 e 13 no estudo em Sinop.

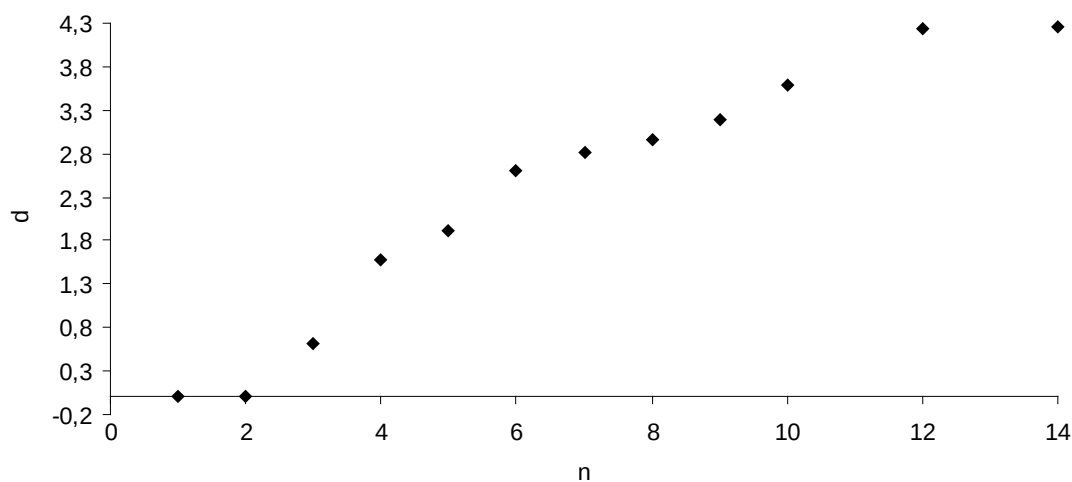


Figura 55 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a intensidade do vento.

Na Figura 56, observa-se que para a variável direção do vento a dimensionalidade do atrator é 4,45 e que a dimensionalidade do espaço de fase é igual a 16.

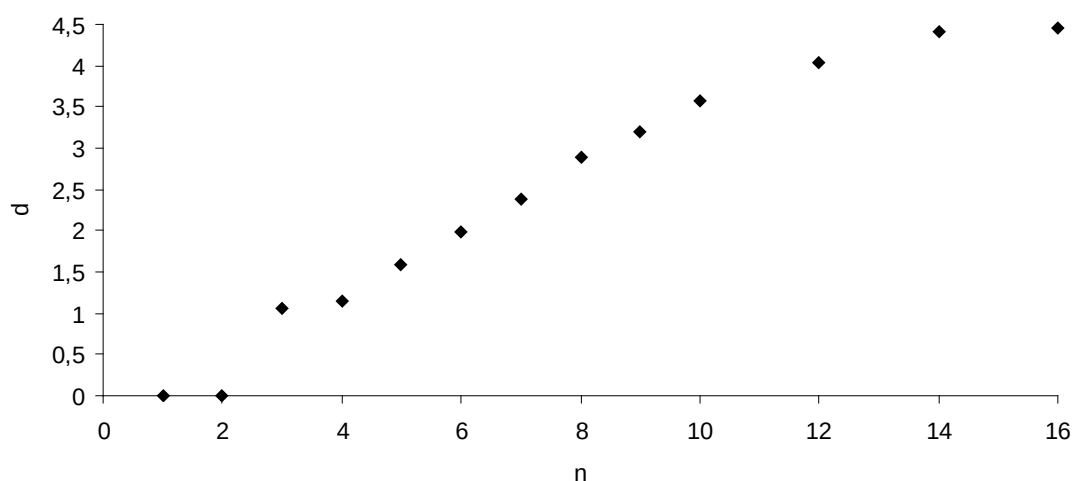


Figura 56 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a direção do vento.

Na Figura 57, observa-se que para a variável quantidade de precipitação não se chegou à dimensionalidade do atrator e que a dimensionalidade do espaço de fase é superior a 20.

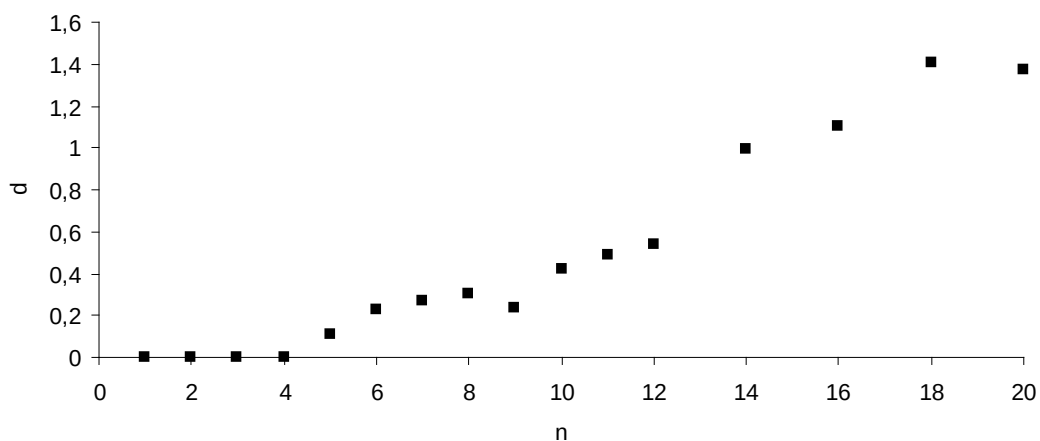


Figura 57 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a

quantidade de precipitação.

Na Figura 58, observa-se que para a variável umidade relativa a dimensionalidade do atrator é 3,14 e que a dimensionalidade do espaço de fase é igual a 11. CAPISTRANO (2007) obteve dimensionalidades para a umidade relativa situadas entre 2,2 e 3,1 e dimensionalidade do espaço de fase entre 9 e 10 no estudo em Sinop.

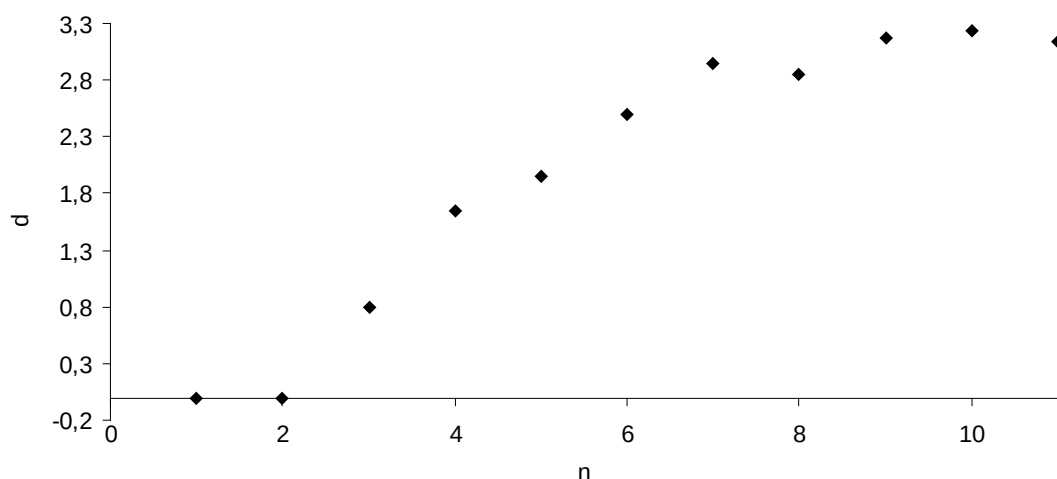


Figura 58 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a umidade relativa.

Na Figura 59, observa-se que para a variável pressão máxima a dimensionalidade do atrator é 3,51 e que a dimensionalidade do espaço de fase é igual a 11.

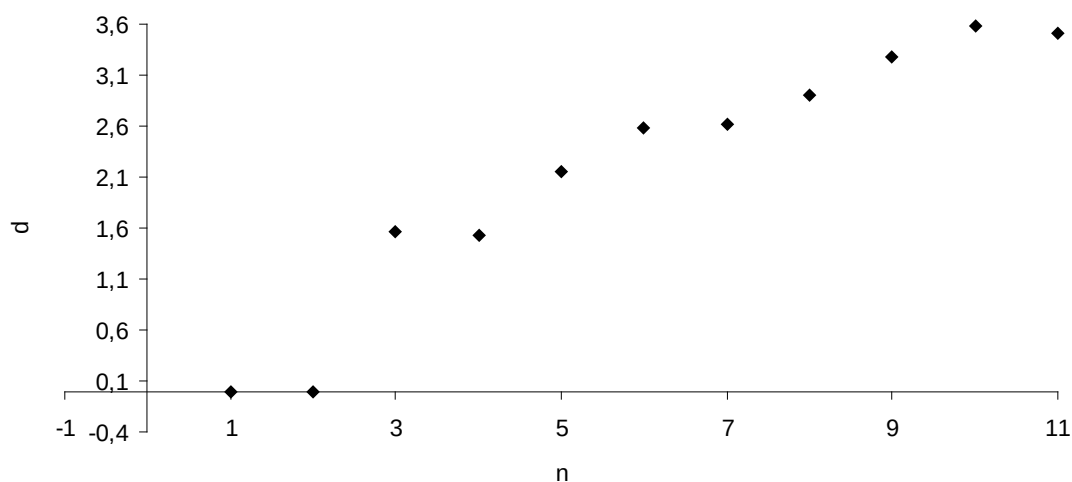


Figura 59 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a pressão máxima.

Na Figura 60, observa-se que para a variável pressão média a dimensionalidade do atrator é 3,34 e que a dimensionalidade do espaço de fase é igual a 11.

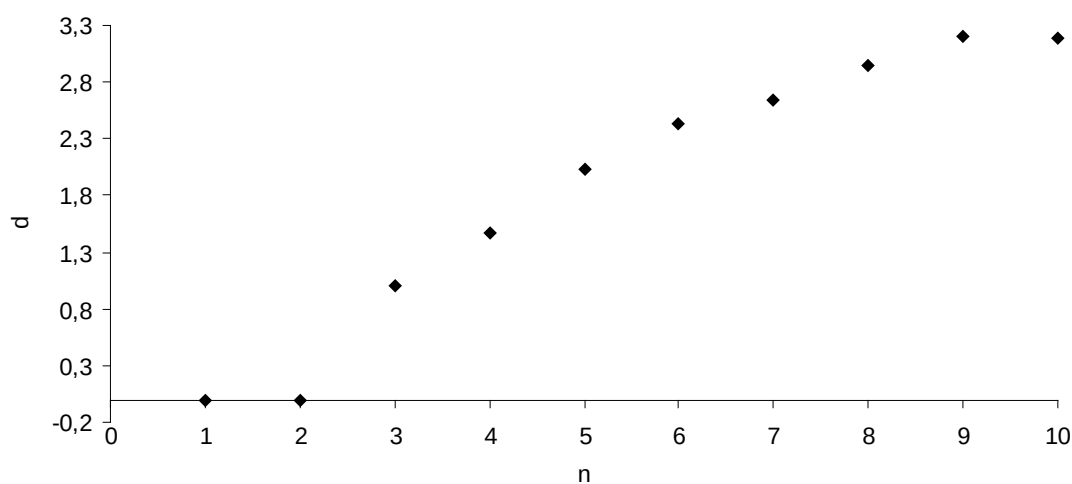


Figura 60 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a pressão média.

Na Figura 61, observa-se que para a variável pressão mínima a dimensionalidade do atrator é 3,19 e que a dimensionalidade do espaço de fase é igual a 10.

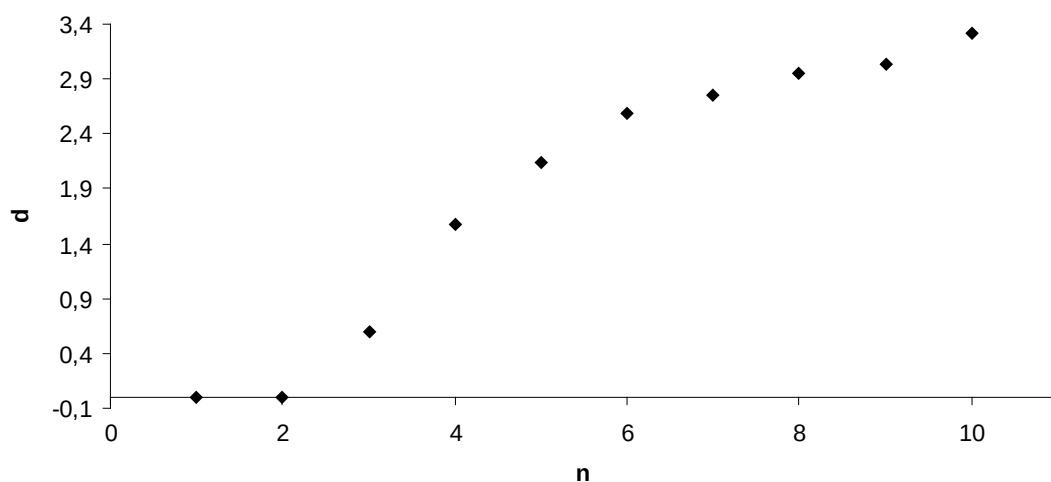


Figura 61 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a pressão mínima.

Na Figura 62, observa-se que para a variável temperatura máxima a dimensionalidade do atrator é 2,83 e que a dimensionalidade do espaço de fase é igual a 10.

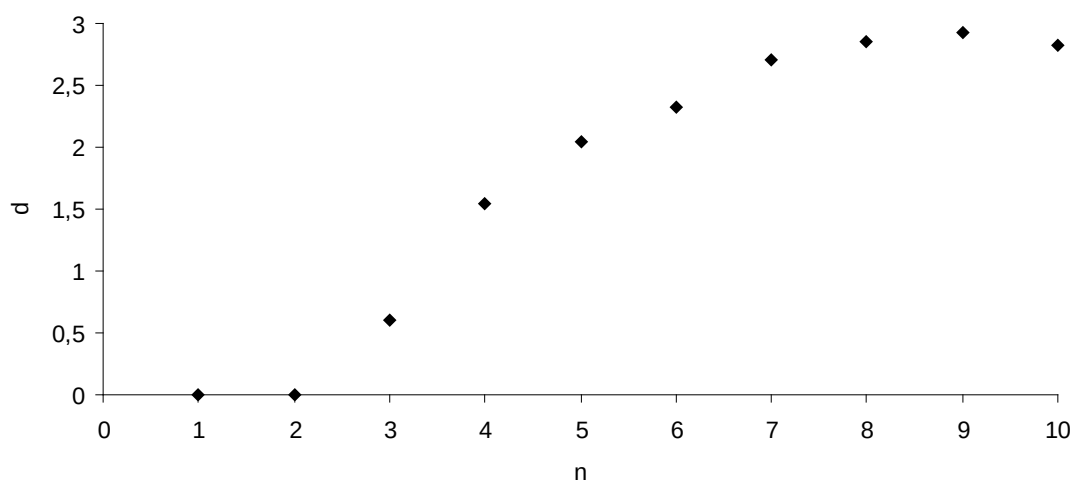


Figura 62 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a temperatura máxima.

Na Figura 63, observa-se que para a variável temperatura média a dimensionalidade do atrator é 3,04 e que a dimensionalidade do espaço de fase é igual a 10.

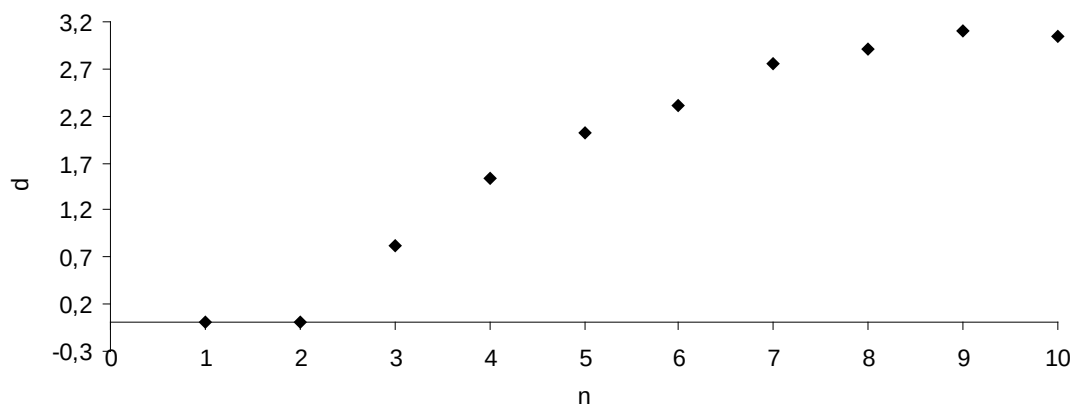


Figura 63 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a temperatura média.

Na Figura 64, observa-se que para a variável temperatura mínima a dimensionalidade do atrator é 2,62 e que a dimensionalidade do espaço de fase é igual a 11.

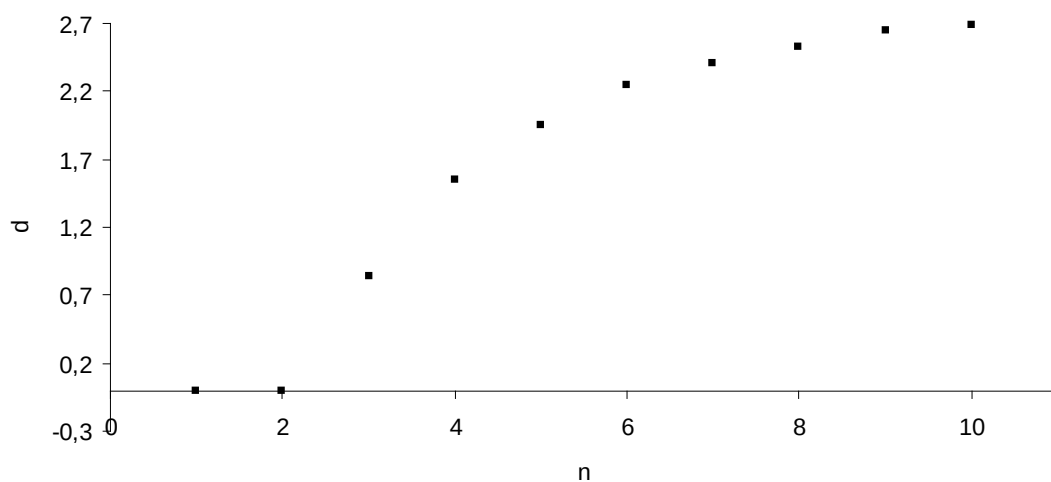


Figura 64 - Dimensionalidade do atrator versus dimensão do espaço de fase para a temperatura mínima.

CAPISTRANO (2007) obteve dimensionalidade de atrator para a temperatura entre 1,3 e 2,1 e dimensionalidade do espaço de fase entre 6 e 10 em Sinop.

A tabela 5 faz um resumo dos valores encontrados de n e d de cada uma das

variáveis micrometeorológicas estudadas:

Tabela 05 Dimensionalidade dos Atratores e do Espaço de Fase das Variáveis Microclimatológicas.

Variável Micrometeorológica	Dimensão do Espaço de Fase(n)	Dimensão do Atrator(d)
Direção do Vento	16	4,45
Velocidade do Vento	14	4,26
Precipitação	>20	-
Temperatura Máxima	9	2,92
Temperatura Média	9	3,11
Temperatura Mínima	10	2,69
Pressão Máxima	10	3,59
Pressão Média	11	3,34
Pressão Mínima	9	3,21
Umidade Relativa	10	3,23

Observa-se com a análise Heaviside que todas as variáveis em que foram obtidos a dimensão do espaço de fase e a dimensão do atrator têm comportamento caótico uma vez que todas as dimensões d foram superiores a dois e que estes atratores possuem geometria fractal devido ao valor não inteiro.

Não foi encontrado o atrator para a precipitação. O que explicita o caráter extremamente mal comportado desta variável e reforça a incerteza da existência sempre dos atratores.

Pela tabela 5 é possível observar que em ordem crescente de complexidade temos a sequência de variáveis micrometeorológicas: temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura média, pressão mínima, umidade relativa, pressão média, pressão máxima, velocidade do vento e direção do vento.

5 CONCLUSÕES

A periodicidade mais relevante na análise de Fourier foi diária. Entretanto, destacam-se outros períodos, como próximos do anual e semestral.

A análise por Power Spectrum evidenciou periodicidade diária e uma seqüência de pequenos picos relativos a períodos de 2, 4, 8 e 18 dias. Esta análise não evidenciou periodicidade anual ou semestral. Os picos observados na análise de Power Spectrum foram menos claros que na análise de Fourier tradicional.

A análise Heaviside determinou o grau de complexidade das variáveis microclimatológicas. Tal complexidade é crescente na seguinte ordem: Temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura média, pressão mínima, umidade relativa, pressão média, pressão máxima, intensidade do vento e direção do vento. Significando que a temperatura se apresenta como variável de maior facilidade modelar e dependente de um menor número de outras variáveis. Não há dimensionalidade do atrator caótico para a precipitação, o que alimenta a discussão de que talvez nem todas variáveis possuam um atrator identificável. Assim, a precipitação parece um fenômeno intrinsecamente imprevisível no sentido que os modelos dificilmente poderiam ter precisão nos instantes de tempo em que ocorre a precipitação.

6 - 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.1331-1392. 1993.

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

CAMPANHARO, A. S. L. O. **Análise de Sinais Turbulentos na Copa da Floresta Amazônica: em busca de comportamento caótico e estruturas coerentes**. São José dos Campos, INPE, 2006, 122f.

CAPISTRANO, V. B. **Análise de séries temporais de variáveis microclimatológicas medidas em Sinop Mato Grosso utilizando a Teoria da Complexidade**. 47f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

CONTI, J. B. **Revista do Departamento de Geografia**, 16 (2005) 70 - 75.

DANTAS, M.E, SHINZATO, E., SCHISLEWSKI, G., FILHO, J.J.T., ROCHA, G.A., JÚNIOR, P.R.C. & SALOMÃO, F.X.T. **Diagnóstico Geoambiental da Região de Cuiabá/Várzea Grande e Entorno(MT)**. Resumo Expandido e Revisado, 2007, 15f.

ECKMANN, J. P.; RUELLE, D. **Ergodic Theory of Chaos and Strange Attractors**. USA, Review of Modern Physics, Vol. 57, n. 3, p. 617-656. 1985

FALCONER, K., **Fractal Geometry**. Mathematical foundations e applications. West

Sussex, UK: Jonh Wiley & Sons Ltd. 288f. 1990.

FRAEDRICH, K. **Estimating the Dimensions of Weather and Climatic Attractors.** Journal of Atmospheric Science. V.43, p 419-432, 1986.

FRAEDRICH, K.; LESLIE, L. M. **Estimates of Cyclone Track Predictability.** Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. v.155. p. 79-92. 1989.

GALLEGO, M. C.; GARCIA, J.A.; CANCELLO, M. L. **Characterization of Atmospheric Turbulence by Dynamical Systems Techniques.** Boundary-Layer Meteorology, v.100, p.375-392, 2001.

GRASSBERGER, P. **Do Climatic Attractors Exist?** Nature, v.323, n. 16, 1986.

GÖBER, M.; HERZEL, H; GRAF, H. **Dimension Analysis of el Niño/ Southern oscillation time series.** Annales Geophysica, v.10, p. 729 a 734, 1992.

HILBORN, R. C. **Chaos and Nonlinear Dynamics. An Introduction for Scientists and Engineers.** New York: 2ª ed. Oxford University Press, 650f. 1994

HSU, H. P. **Análise de Fourier.** Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 274f, 1973.

IBBETSON, A. **Dinamical Meteorology: An Introductory Selection.** Ed. B. W. Atkinson. Methuen, London, 1981.

JARAMILLO, G.P.; PUENTE, C.E. **Strange Attractors in Atmospheric Boundary-Layer Turbulence.** Boundary-Layer Meteorology, v.64, p.175-197, 1993.

LORENZ, E. N. **Deterministic Nonperiodic Flow.** Journal of Atmospheric Science, v.20, p.130-141, 1963.

MACHADO, K. D. **Equações Diferenciais Aplicadas à Física.** 2ª edição. Ponta Grossa:UEPG, 2000. 600f.

MARIANO, R. T. G. **Análise Espectral de Séries Temporais de Variáveis Microclimatológicas em uma área de Ecótono entre os Biomas Amazônia e Cerradono Norte de Mato Grosso**. 83f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

MENDES, Rui Vilela. **Medidas de Complexidade e Auto-Organização**, Universidade Técnica de Lisboa, pg. 3 – 14, 1998.

MENDONÇA, F. **Aquecimento Global e suas Manifestações Regionais e Locais**. Revista brasileira de Climatologia, n.2, 2007 pg. 71 – 86

MIDDLETOWN, W. E. K. **The History of the Barometer**. The Johns Hopkins Press, 1964.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE. **Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima 2007- IPCC**. Disponível em: [://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas/pdfs](http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas/pdfs). Acesso em 28/10/ NICOLIS, G. e PRIGOGINE, I. **Exploring Complexity** – An Introduction. 5ª edição. New York, U.S.A.: W. H. Freeman and Company, 1998. 312f.

NICOLIS, C.; NICOLIS, G. **Is There a Climatic Attractor?** Nature, v.311, p.519-532, 1984.

PALU, A. E. R. **Determinação do Tempo de Defasagem mais Adequado para Análise de Séries Temporais de Variáveis Microclimatológicas Medidas numa Floresta de Transição no Norte de Mato Grosso**. 49f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

PINHEIRO, M. R **Frequências Dominantes de Variáveis Micrometeorológicas de uma Floresta de Transição do Norte de Mato Grosso pelo Método das Séries de Fourier**. 57f . Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

RESNICK, R e HALLIDAY, D. **Física 2**. 4ª edição. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora, 1984.

SEARS, F e ZEMANSKY, M. **Física 2**. 10ª edição. São Paulo. Editora Pearson Education, 2003.

TAKENS, F. Detecting strange attractors in Turbulence. In: RAND, D. A.; YOUNG, L. S. (Ed). **Proceeding of a symposium held at the university of warwick**. Berlin: Springer Verlag, 1980. v. 898, p 366 – 381.

THOMSEN, J. S. **A Restatement of the Zeroth Law of Thermodynamics**. American Journal of Physics, 30, 294, 1962.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. 2ª edição. Brasília: INMET, 2001. 532f.

WEBER, R. O.; TALKNER, P. STEFANICKI, G.; ARVISAIS, L. **Search for Finite Dimensional Attractors in Atmospheric Turbulence**. Boundary-Layer Meteorology, v.73, p1-14, 1995.

XIN, L.; FEI. H.; GANG, L. **Characteristics of Chaotic Attractors in Atmospheric Boundary-Layer Turbulence**. Boundary-Layer Meteorology. v.99, p. 335-345. 2001.