

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

**ANÁLISE DA TEMPERATURA DO AR UTILIZANDO A
TEORIA DA COMPLEXIDADE EM FLORESTA DE
TRANSIÇÃO NO NORTE DE MATO GROSSO**

HOZANA SILVA

PROF. DR. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO
ORIENTADOR

PROF.^a DR.^a IRAMAIA JORGE CABRAL DE PAULO
COORIENTADORA

Cuiabá, MT

Março de 2014

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

**ANÁLISE DA TEMPERATURA DO AR UTILIZANDO A
TEORIA DA COMPLEXIDADE EM FLORESTA DE
TRANSIÇÃO NO NORTE DE MATO GROSSO**

HOZANA SILVA

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

PROF.DR. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO
ORIENTADOR

PROF.^a DR.^a IRAMAIA JORGE CABRAL DE PAULO
COORIENTADORA

Cuiabá, MT
Março de 2014

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S586a Silva, Hozana.

Análise da Temperatura do Ar Utilizando a Teoria da Complexidade em Floresta de Transição no Norte de Mato Grosso / Hozana Silva. -- 2014
92 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Sérgio Roberto de Paulo.

Co-orientadora: Iramaia Jorge Cabral de Paulo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2014.

Inclui bibliografia.

1. Ambiente. 2. Séries Temporais. 3. Atratores Reconstruídos. 4. Defasagem. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

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

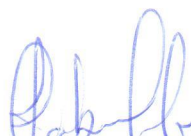
FOLHA DE APROVAÇÃO

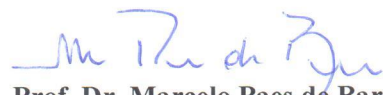
**TÍTULO: ANÁLISE DA TEMPERATURA DO AR UTILIZANDO A
TEORIA DA COMPLEXIDADE EM FLORESTA DE
TRANSIÇÃO NO NORTE DE MATO GROSSO**

AUTORA: HOZANA SILVA

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 25 de fevereiro de 2014, pela comissão julgadora:


Prof. Dr. Sérgio Roberto de Paulo
Orientador
Instituto de Física - UFMT


Prof. Dr. Iramaia Jorge Cabral de Paulo
Coorientadora
Instituto de Física - UFMT


Prof. Dr. Marcelo Paes de Barros
Examinador Interno
Instituto de Física - UFMT


Prof. Dr. Lúcio Ângelo Vidal
Examinador Externo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Mato Grosso – IFMT

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha Mãe que nos deixou a quem sou muito grata, pela dedicação, ensinamento e principalmente pelo amor incondicional. Ao meu Pai e minha tia Ilda pelo incentivo na minha formação e minhas decisões. Aos meus irmãos pela força nos momentos difíceis e ao meu noivo pelo seu amor e compreensão nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

- Primeiramente agradeço a Deus pela proteção diária, nos guiando nessa caminhada.
- Agradeço a toda minha família por estarem ao meu lado, nos momentos felizes e difíceis da vida.
- Agradeço ao professor orientador Dr. Sérgio Roberto de Paulo, pela excelente orientação desde a época do PIBID, pela paciência e principalmente pela humildade em transmitir seu conhecimento.
- Agradeço a professora coorientadora Dr^a Iramaia Jorge Cabral de Paulo, pelo incentivo e por acreditar na minha capacidade pessoal da qual tenho muita admiração.
- Ao professor Dr. José de Souza Nogueira (Paraná) pela compreensão e pelo conselho fornecido no decorrer dessa caminhada e pelo incentivo à pesquisa.
- Ao professor Dr. Denilton Carlos Gaio, pelo ensinamento e pela sua dedicação.
- Ao professor Dr. Carlo Ralph de Muis pelo ensinamento no programa estatístico.
- Ao professor Dr. Marcelo Paes de Barros e Lúcio Ângelo Vidal pelo compartilhamento de conhecimento;
- A todos os professores Doutores do mestrado em Física Ambiental, por transmitirem seus conhecimentos me ajudando a desenvolver esta pesquisa.
- Ao professor Luís Annuniação, pela presença marcante em nossa turma, pessoa da qual tenho muita admiração e respeito.
- Ao professor Mauro Sérgio França pela sua bondade e ajuda.
- Aos amigos do mestrado Anna Carolinna, Fahim Elias, Heloisa Marques, Jesumar Siqueira, Marcos Fausto, Rúbia Fantin, Thiago Duarte e Willanny leal, pela amizade e por serem essas pessoas maravilhosas.
- Aos todos os colegas do Programa de Pós – graduação em Física Ambiental pelo compartilhamento de conhecimentos.
- A Soilce Carrilho, pela atenção e gentileza desde o início do mestrado.
- Ao Cesário pelo suporte em assuntos relativos à secretaria, pela simpatia e educação.
- A Jô pela amizade e alegria e por deixar o ambiente sempre limpo.
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.
- A todos aqueles que de alguma forma me ajudaram direta ou indiretamente contribuíram na realização dessa Pesquisa.

EPÍGRAFE

"A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original".

Albert Einstein

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	vii
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO.....	xiii
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. PROBLEMÁTICA	15
1.2. JUSTIFICATIVA	16
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1. TEORIA DA COMPLEXIDADE	18
2.2. ESPAÇO DE FASE.....	19
2.3. NÃO LINEARIDADE	20
2.4. ATRATOR	22
2.4.1. Dimensionalidade do Atrator	23
2.5. RECONSTRUÇÃO DA DINÂMICA DE SISTEMAS COMPLEXOS A PARTIR DOS DADOS DE UMA SÉRIE TEMPORAL.....	26
2.6. TEMPERATURA DO AR	29
2.7. UMIDADE DO AR.....	30
2.8. PRECIPITAÇÃO.....	30
2.9. MASSA DE AR E FRENTES.....	31
2.10. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	31
3. MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
3.2. CLIMA	34
3.3. COLETA DE DADOS	34
3.4. MÉTODOS.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1. AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE OS ATRADORES RECONSTRUÍDOS E AS ESTAÇÕES DO ANO.....	38

4.1.1. Atratores e Séries Temporais do Período Seco dos Anos de 2001, 2002, 2003 e 2007.....	39
4.1.2. Atratores e Séries Temporais do Período Chuvoso dos Anos de 2001, 2002, 2003 e 2007.....	45
4.1.3. Atratores e Séries Temporais do Período Chuvoso-Seco dos Anos de 2001, 2002, 2003 e 2007.	51
4.1.4. Atratores e Séries Temporais do Período Seco chuvoso dos anos de 2002, 2003 e 2007.....	57
4.2. INFLUÊNCIAS DA FRENTE FRIA NO PADRÃO DA TEMPERATURA	63
4.3. INFLUÊNCIAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR NA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR	67
4.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DA PESQUISA ...	70
4.4.1. Período Seco dos anos de 2001, 2002, 2003 e 2007.	70
4.4.2. Período Chuvoso dos anos de 2001, 2002, 2003 e 2007.....	73
4.4.3. Período Chuvoso-Seco dos anos de 2001, 2002, 2003 e 2007...	75
4.4.4. Período Seco-Chuvoso dos anos de 2002, 2003 e 2007.	78
4.4.5. Análise Quantitativa do Coeficiente de Dispersão.....	82
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
6.1. CITADAS	87
6.2. CONSULTADAS	91

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Trajetória no espaço de fase de um pêndulo.....	20
Figura 2. Representativa dos quatro tipos de atratores.	23
Figura 3. Conjunto de Cantor.....	24
Figura 4. Gráfico da dimensão de correlação pelo método de (GRASSBERGER e PROCACCIA, 1983).	26
Figura 5. À esquerda o atrator de Rossler e à direita o atrator de Lorenz.....	27
Figura 6. Local de estudo Transition Forest (Danelichen V.H.M, 2012).	33
Figura 7. Foto da torre em SINOP-MT.....	35
Figura 8. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de junho de 2001.	39
Figura 9. Série temporal da temperatura do ar no mês de junho de 2001.....	40
Figura 10. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de agosto de 2001.	40
Figura 11. Série temporal da temperatura do ar no mês de agosto de 2001.	41
Figura 12. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de junho de 2002.	41
Figura 13. Série temporal da temperatura do ar no mês de junho de 2002.....	41
Figura 14. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de julho de 2002.	42
Figura 15. Série temporal da temperatura do ar no mês de julho de 2002.....	42
Figura 16. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de agosto de 2002.....	43
Figura 17. Série temporal da temperatura do ar no mês de agosto de 2002.	43
Figura 18. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de agosto de 2003.....	44
Figura 19. Série temporal da temperatura do ar no mês de agosto de 2003.	44
Figura 20. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de julho de 2007.	45
Figura 21. Série temporal da temperatura do ar no mês de julho de 2007.....	45
Figura 22. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de fevereiro de 2001.	46
Figura 23. Série temporal da temperatura do ar no mês de fevereiro de 2001.	46
Figura 24. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de dezembro de 2002.....	46
Figura 25. Série temporal da temperatura do ar no mês dezembro de 2002.....	47
Figura 26. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de janeiro de 2003.	47
Figura 27. Série temporal da temperatura do ar no mês de janeiro de 2003.....	47
Figura 28. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de fevereiro de 2003.....	48
Figura 29. Série temporal da temperatura do ar no mês de fevereiro de 2003.	48
Figura 30. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de janeiro de 2007.	49

Figura 31. Série temporal da temperatura do ar no mês de janeiro de 2007.....	49
Figura 32. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de fevereiro de 2007.....	49
Figura 33. Série temporal da temperatura do ar no mês de fevereiro de 2007.	50
Figura 34. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de dezembro de 2007.....	50
Figura 35. Série temporal da temperatura do ar no mês de dezembro de 2007.	50
Figura 36. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de março de 2001.	52
Figura 37. Série temporal da temperatura do ar no mês de março de 2001.....	52
Figura 38. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de abril de 2001.	52
Figura 39. Série temporal da temperatura do ar no mês de abril de 2001.....	53
Figura 40. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de maio de 2001.	53
Figura 41. Série temporal da temperatura do ar no mês de maio de 2001.....	54
Figura 42. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de maio de 2002.	54
Figura 43. Série temporal da temperatura do ar no mês de maio de 2002.....	54
Figura 44. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de março de 2003.	55
Figura 45. Série temporal da temperatura do ar no mês de março de 2003.....	55
Figura 46. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de maio de 2003.	56
Figura 47. Série temporal da temperatura do ar no mês de maio de 2003.....	56
Figura 48. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de março de 2007.	56
Figura 49. Série temporal da temperatura do ar no mês de março de 2007.....	57
Figura 50. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2002.....	58
Figura 51. Série temporal da temperatura do ar no mês de setembro de 2002.	58
Figura 52. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de outubro de 2002.....	58
Figura 53. Série temporal da temperatura do ar no mês de outubro de 2002.	59
Figura 54. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de novembro de 2002. ...	59
Figura 55. Série temporal da temperatura do ar no mês de novembro de 2002.....	59
Figura 56. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003.....	60
Figura 57. Série temporal da temperatura do ar no mês de setembro de 2003.	60
Figura 58. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de outubro de 2003.....	61
Figura 59. Série temporal da temperatura do ar no mês de outubro de 2003.	61
Figura 60. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2007.....	61
Figura 61. Série temporal da temperatura do ar no mês de setembro de 2007.	61
Figura 62. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de outubro de 2007.....	62

Figura 63. Série temporal da temperatura do ar no mês de outubro de 2007.	62
Figura 64. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de novembro de 2007. ..	63
Figura 65. Série temporal da temperatura do ar no mês de novembro de 2007.....	63
Figura 66. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de maio de 2003.	64
Figura 67. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de maio de 2003 representa o ciclo externo.	64
Figura 68. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de maio de 2003 representa o ciclo interno.....	65
Figura 69. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003.....	65
Figura 70. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003 representa dois ciclos.	66
Figura 71. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003 representa o ciclo externo.....	66
Figura 72. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003 representa o ciclo interno.	66
Figura 73. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003.....	67
Figura 74. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003 (faixa 2 a 2,5 kPa).....	68
Figura 75. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003 (faixa 2,5 a 3 kPa).....	68
Figura 76. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003 (faixa 2 a 3 kPa).....	68
Figura 77. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003 (faixa 0 a 3 kPa).....	69
Figura 78. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003 (faixa 3 a 6 kPa).	69
Figura 79. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de junho de 2001.	70
Figura 80. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de agosto de 2001.....	70
Figura 81. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de junho de 2002.	71

Figura 82. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de julho de 2002.....	71
Figura 83. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de agosto de 2002.....	71
Figura 84. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de agosto de 2003.....	72
Figura 85. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de julho de 2007.....	72
Figura 86. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de fevereiro de 2001.....	73
Figura 87. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de dezembro de 2002.....	73
Figura 88. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de janeiro de 2003.....	73
Figura 89. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de fevereiro de 2003.....	74
Figura 90. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de janeiro de 2007.....	74
Figura 91. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de fevereiro de 2007.....	74
Figura 92. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de dezembro de 2007.....	75
Figura 93. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de março de 2001.....	75
Figura 94. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de abril de 2001.....	76
Figura 95. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de maio de 2001.....	76
Figura 96. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de maio de 2002.....	76
Figura 97. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de março de 2003.....	77

Figura 98. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de maio de 2003.	77
Figura 99. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de março de 2007.	77
Figura 100. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de setembro de 2002.	78
Figura 101. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de outubro de 2002.	78
Figura 102. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de novembro de 2002.....	79
Figura 103. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de setembro de 2003.	79
Figura 104. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de outubro de 2003.	79
Figura 105. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de setembro de 2007.....	80
Figura 106. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de outubro de 2007.	80
Figura 107. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de novembro de 2007.....	80
Figura 108. Gráfico de Nível de Significância.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Nível de significância para valores dos anos de 2001, 2002, 2003 e 2007.82

RESUMO

SILVA, H. **Análise da Temperatura do Ar Utilizando a Teoria da Complexidade em Floresta de Transição no Norte de Mato Grosso**. Cuiabá, 2014. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

O objetivo do trabalho foi analisar a temperatura do ar utilizando a teoria da complexidade em floresta de transição no Norte Mato Grosso. Avaliar a relação entre os atratores reconstruídos e as estações do ano, a influência de frentes frias e posteriores variáveis que modificam os padrões da temperatura do ar. Os dados abrangem os anos 2001, 2002, 2003 e 2007, a análise estatística foi realizada com o teste de Qui-Quadrado (X^2), verificando que os valores médios horários representam os dados experimentais para os meses considerados. Logo, a Floresta Amazônica tem sido considerada um importante ecossistema no controle do clima local. Com o desmatamento em grande escala, poderão se perceber mudanças no clima local. Por isso, a Teoria da Complexidade é necessária para entender a floresta amazônica por se tratar de um ambiente complexo, onde suas variáveis se influenciam mutuamente não obedecendo a uma linearidade, por consequência levando à incerteza e imprevisibilidade intrínsecas. Com essa condição, torna-se necessário um estudo que aprofunde no comportamento dos ecossistemas da Floresta Amazônica. Para um melhor entendimento da previsibilidade das variáveis ambientais com a temperatura do ar, faz-se necessário um estudo sobre essa variável em certos períodos, verificando, assim, as dificuldades em prevê-las e um possível efeito da sazonalidade. Uma maneira de conduzir esse estudo é a reconstrução de atratores, tendo como base a Teoria da Complexidade.

Palavras-chave: ambiente, séries temporais, atratores reconstruídos, defasagem.

ABSTRACT

SILVA, H. **Analysis of Air Temperature grounded through Complexity Theory in Transitional Forest in Northern- State of Mato Grosso, Brazil.** Cuiabá, 2014. Dissertation (Master Degree on Environmental Physics) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

The aim of study was to study the air temperature behavior using complexity theory in transition forest in Sinop Mato Grosso State. Evaluate the relationship between the attractors reconstructed and the seasons, influence of cold fronts and subsequent variables that modify the patterns of air temperature. The data include the years 2001, 2002, 2003 and 2007. The statistical analysis was performed with chi - square test (χ^2) checking the hourly average values represent the experimental data for months. Soon the Amazon rainforest has been considered important ecosystem in control of the local climate. With the large-scale deforestation, may notice changes in the local climate. Therefore, Complexity Theory is needed to understand the Amazon rainforest because it is a complex environment where your variables influence each other not obeying a linearity thus transmitting to the inherent uncertainty and unpredictability. With this condition, it is necessary a study more dup that this ecosystems behavior of the Amazon rainforest. For a better understanding of the environmental variables predictability, likes air temperature, it is necessary a study of this variable in certain periods, thus verifying the difficulties in providing for them and a possible effect of seasonality. One way to conduct this study is the reconstruction of attractors, based on the Theory of Complexity.

Keywords: environment, time series, reconstructed attractors, time lag.

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

As mudanças climáticas no mundo têm sido constantemente divulgadas pela mídia ao longo destes últimos anos, sendo que as informações transmitidas em geral são imprecisas, porém não discernem as certezas e incertezas em relação às variações do clima presente e, principalmente do futuro.

O aumento da temperatura vem alterando muitos aspectos, em que os limites preocupam com as projeções indicando um maior número de dias quentes e ondas de calor em todas as regiões continentais. Além disso, dias com geadas e ondas de frios podem se tornar menos frequentes. Os países em desenvolvimento são os mais vulneráveis a esses impactos, em função de terem menos condições de adaptação.

De acordo com o IPCC (2007), os cenários projetados no Brasil para este século indicam que a temperatura média do planeta continuará aumentando. São esperadas mudanças profundas e variáveis no clima, conforme a região do País, afetando ecossistemas aquáticos e terrestres.

Consequentemente, estudos apresentados pelo Ministério do Meio Ambiente mostram que o aumento médio da temperatura do planeta repercutirá negativamente na Amazônia sendo uma delas, a elevação das temperaturas nessa região e, em questão atual o desmatamento decorrente das intensas atividades de uso da terra o qual representa uma ameaça mais imediata.

Em vista disso, essas mudanças levaram os cientistas à utilização de projeções ou simulações geradas por modelos que levam em consideração os diferentes cenários, com os seguintes resultados para o futuro do clima:

Amazônia- reduções percentuais de - 10% na distribuição de chuva e aumento de 1°C a 1,5°C até 2040;

Caatinga-aumento de 0,5°C a 1°C na temperatura do ar e decréscimo entre 10% e 20% na precipitação durante as próximas três décadas até 2040;

Cerrado - aumento de 1°C na temperatura superficial com diminuição percentual entre 10% a 20% na precipitação durante as próximas três décadas;

Pantanal- aumento de 1°C temperatura e diminuição entre 5% e 15% nos padrões de chuva até 2040.

Desta maneira, o clima regional e global pode mudar com o desmatamento e outras atividades associadas ao uso da terra, alterando o ecossistema pelo uso de forma não planejada e não sustentável. Assim sendo, estudo envolvendo a correlação entre as condições micrometeorológicas e as condições dos ecossistemas ligadas ao uso da terra estão sendo conduzidas pelo Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso.

1.2. JUSTIFICATIVA

Diante das dificuldades citadas, o grupo de pesquisa em Física Ambiental da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT) desenvolve pesquisas sobre o comportamento de variáveis microclimatológicas há 10 anos. A quantidade de dados armazenados é relativamente grande, possibilitando testes confiáveis.

Deste modo, a Teoria da Complexidade é importante para entender a floresta amazônica por se tratar de um ambiente complexo, onde suas variáveis se influenciam mutuamente não obedecendo a uma linearidade, por consequência levando-se à incerteza e imprevisibilidade intrínsecas. Com essa condição, torna-se necessário um estudo que aprofunde nesse comportamento dos ecossistemas da Floresta Amazônica, construir modelos com equações matemáticas que possibilitem simulações mais próximas da realidade para avaliar o comportamento dessa região no futuro.

Para um melhor entendimento da previsibilidade das variáveis ambientais com a temperatura do ar, faz-se necessário um estudo sobre essa variável em certos períodos, verificando, assim, as dificuldades em prevê-las e um possível efeito da sazonalidade. Uma maneira de conduzir esse estudo é a reconstrução de atratores, tendo como base a Teoria da Complexidade.

Assim, tem-se como objetivo geral estudar o comportamento da temperatura do ar fundamentada na a Teoria da Complexidade em floresta de transição de Sinop-Mato Grosso.

Objetivos específicos:

- Reconstruir os atratores;
- Avaliar a relação entre os atratores reconstruídos e as estações do ano;
- Analisar a influência de frentes frias e posteriores variáveis que modificam os padrões da temperatura do ar;
- Analisar estatisticamente os resultados da pesquisa.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. TEORIA DA COMPLEXIDADE

A complexidade é uma ideia que faz parte de nossa experiência cotidiana. Encontrando-se em contextos extremamente diversos ao longo de nossa vida, comumente temos a sensação de que a complexidade está de alguma forma relacionada com as diversas manifestações da vida. Assim, para a maioria, os fenômenos tratados em livros didáticos de física tradicionais, tais como a queda livre de um objeto sob a influência da gravidade, ou o movimento de um pêndulo – são fundamentalmente “simples”. Parecem simples por apresentarem somente um objeto e uma ação (ou poucas) envolvidos nos fenômenos. Em contraponto, os sistemas reais como a economia, a linguagem, o cérebro de mamíferos e comunidade de plantas, são considerados sistemas complexos por apresentarem um considerável número de interações entre os elementos ou fatores envolvidos (PRIGOGINE, 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 a criação de estruturas.

2.2. ESPAÇO DE FASE

O francês Jules Henri Poincaré introduziu novas técnicas para lidar com as equações diferenciais não lineares. Notou que as propriedades qualitativas das soluções podiam ser analisadas, sem que tais soluções necessitassem ser determinadas explicitamente. Deste modo, em vez de procurar fórmulas, ele partiu para uma abordagem que descreve as características da topologia do espaço de fase. (OLIVEIRA, 2006).

Espaço de fase é um espaço abstrato representado por vetores, $x_1(t)$, $x_2(t)$, ..., $x_n(t)$. Pode ter um numero arbitrário de dimensões, cujos eixos coordenados são os eixos X_1 , X_2 , ..., X_n . É caracterizado pelo número de variáveis independentes do sistema (SAVI, 2002). O número mínimo de variáveis necessárias para especificar o estado dinâmico do sistema é denominado de dimensionalidade do espaço de fase. (HILBORN, 1994).

Entende-se que um único ponto no espaço fase define um estado potencial do sistema no instante t . Chama-se retrato de fase um conjunto de curvas obtidas pela evolução do sistema a partir de um conjunto de condições iniciais (MONTEIRO, 2002). O recurso da análise topológica do espaço de fase é muito usado na ciência para se investigar a evolução temporal de um sistema (GLEICK, 1990). Visto que a topologia é uma geometria não euclidiana, na qual todos os comprimentos, ângulos e áreas podem ser distorcidos.

Na verificação da evolução de um sistema, o espaço de fase é muito usado, no caso do pêndulo, o espaço de fase é plano formado pelas variáveis envolvidas no sistema. A energia total do sistema equação (2.1) é representada pela função hamiltoniana (H), onde m é a massa do objeto, l é o comprimento do braço do pêndulo e o ângulo θ formado entre a normal no ponto e abertura do pêndulo. A derivada $d\theta/dt$, por definição é a velocidade angular (ω) do sistema.

$$H = ml \left[\frac{1}{2} l \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 + g(1 - \cos \theta) \right] \quad (2.1)$$

No espaço de fase do pêndulo da Figura 1, por se tratar de um sistema conservativo, temos que a evolução do sistema é cíclica, mas quando considerado o atrito (sistema dissipativo, sendo mais próximo da realidade) o sistema tende a parar, isto é, o pêndulo perde amplitude e velocidade angular, visto no espaço de fase como um espiral chegando ao centro do gráfico (ponto 0,0), assim o estado preferencial do sistema é estar parado. A este estado preferencial, seja ele ponto, curva, plano ou qualquer forma, que foram generalizados de dimensão inteira ou não, ou até mesmo um conjunto de pontos no espaço de fase de dimensão n é dito **atrator** do sistema. Na maioria das vezes, os sistemas naturais são complexos e exibem comportamento fractal.

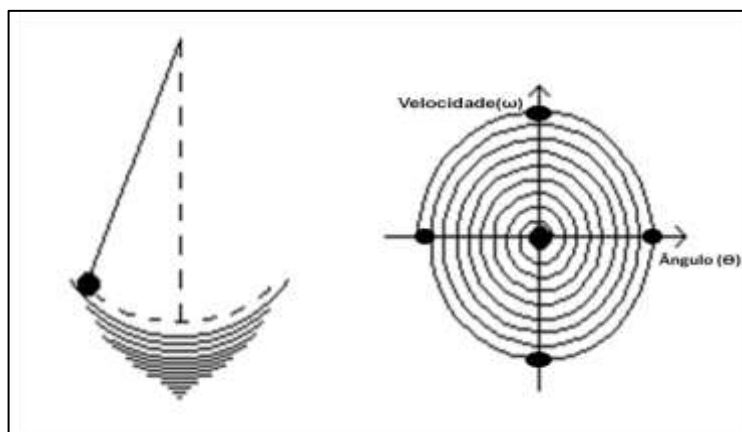


Figura 1. Trajetória no espaço de fase de um pêndulo

2.3. NÃO LINEARIDADE

O sistema complexo expressa características que permitem a diferenciação em relação aos outros sistemas (MATTOS, 2004), destacando como característica a não linearidade elementos da qual compõem um sistema complexo interagindo de maneira não linear. Esses sistemas são classificados como sistemas abertos ou sistemas complexos (CHRISTOFOLETTI, 1999). Sistemas Complexos são compostos por um conjunto de partes conectadas por alguma forma de inter-relação entre elas. Assim, para caracterizar um sistema é necessário não somente conhecer as partes, mas também os modos de relação entre elas.

Caracterizam-se também por serem sistemas abertos, dissipativos e distantes do equilíbrio; por apresentarem auto-organização, retroalimentações, eventos dados por bifurcações e diminuição da entropia (CHRISTOFOLETTI, 1999). As propriedades emergentes das inter-relações de um sistema complexo decorrem em grande parte de fenômenos não lineares entre as partes.

O modelo linear estabelece que pequenas causas estão associadas a pequenos efeitos (SAVI, 2007). O pensamento não linear, por sua vez, não estabelece essa relação e considera que pequenas causas podem provocar grandes efeitos. A natureza está repleta de não linearidades que são responsáveis pela diversidade de comportamentos dos sistemas naturais. Prigogine (1980), Nicolis e Prigogine (1989), afirmam que nosso mundo é cheio de instabilidades e flutuações que são, em última instância, responsáveis pela fantástica variedade e riqueza de formas e estruturas que vemos na natureza que nos cerca.

Segundo Paiva Neto (2004), sistema dinâmico é um sistema cujo estado muda com o tempo (t). Dois tipos principais de sistemas dinâmicos são encontrados em aplicações: aqueles nos quais a variável tempo é contínua ($t \in \mathbb{R}$) e aqueles nos quais a variável tempo é discreta.

Quando o tempo é discreto, o sistema dinâmico pode ser representado como a interação de uma função, isto é.

$$X_{t+1} = f(x_t), t \in \square \quad (2.2)$$

E quando o tempo é contínuo, o sistema dinâmico é descrito por uma equação diferencial.

$$\frac{dx}{dt} = \dot{x} = f(x, t), t \in \square \quad (2.3)$$

Para determinar se uma função obedece às leis lineares ou não lineares basta saber se a propriedade da superposição se aplica ou não, respectivamente. Segundo Nicolis e Prigogine (1998), em um sistema linear o efeito final da ação combinada de

duas causas diferentes é simplesmente a superposição dos efeitos de cada causa, individualmente consideradas.

2.4. ATRATOR

Um atrator pode ser definido como sendo um conjunto de valores, ou pontos, no espaço de fase para o qual o sistema converge com o tempo (se a função for contínua) ou por n interações (se a função for discreta). Dessa maneira, pode ter tantos graus de liberdade quanto o número de variáveis que influenciam o sistema, sendo que as propriedades gerais da dinâmica de um sistema podem ser deduzidas pela forma de seu atrator. Ou seja, no estudo de atrator podemos encontrar informações sobre o comportamento das variáveis do sistema (ECKMANN e RUELLE, 1985).

Na literatura apresentam quatro tipos básicos de atratores estes são classificados topologicamente, conforme suas características no sistema.

I. Os atratores estáveis, ou pontuais: São aqueles que derivam de sistemas que atingem um equilíbrio estável. Estes atratores possuem ordem zero e convergem para um único ponto no espaço de fase;

II. Os atratores periódicos: São aqueles que derivam de sistemas cíclicos. Estes atratores possuem ordem um e convergem para uma circunferência;

III. Os atratores quase periódicos: São aqueles que derivam de sistemas cíclicos e são compostos por uma superposição de duas frequências diferentes, na mesma série. Estes atratores possuem ordem dois e perfazem dois ciclos se estabilizam formando um toroide;

IV. Os atratores aperiódicos, ou atratores estranhos: São aqueles que derivam de sistemas caóticos, isto é, são sensíveis às condições iniciais. Estes atratores possuem ordem n , sendo $n > 2$ e podem ser inteiro ou real.

Os diferentes tipos de atratores do espaço de fase dessa classificação são ilustrados na Figura 2.

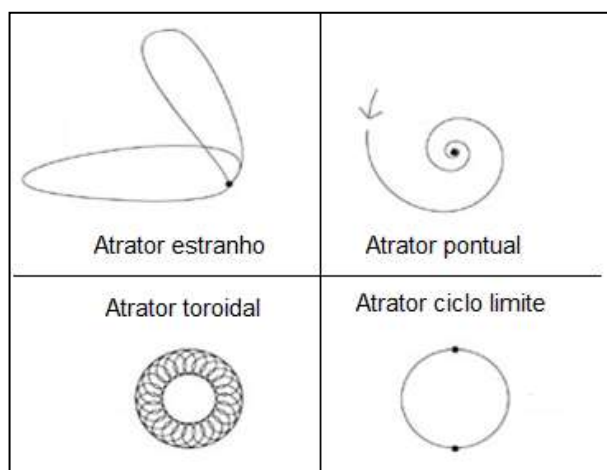


Figura 2. Representativa dos quatro tipos de atratores.

De acordo com Nicolis e Prigogine (1998), em todos os sistemas onde a dinâmica é redutível a uma ou duas dimensões do espaço, o comportamento é severamente limitado pela condição topológica imposta por algum movimento de baixa dimensão, ocorrendo à possibilidade da existência de atratores, ou seja, regiões no espaço de fase onde os dados analisados são encontrados com maior frequência.

2.4.1. Dimensionalidade do Atrator

Uma ideia de dimensão foi proposta por Kolmogorov, denominada de *capacidade*, e era definido como a quantidade que mede o quanto um objeto, ou conjunto preenche um lugar no espaço em que está imerso (NUSSENZVEIG, 2003). Esta noção de dimensão introduzida por Kolmogorov está bem próxima da definição de dimensionalidade do atrator, também conhecida como dimensão de Hausdorff.

Os autores Ekmann e Ruelle (1985) definem dimensão de um conjunto como a quantidade de informação necessária para especificar pontos na sua exatidão. Entretanto, segundo Abarbanel et al., (1993), o simples conceito de dimensão como o número de coordenadas necessárias para especificar estado é um conceito geométrico relacionado com escalas de volumes "V" ou hipervolumes, em função de um parâmetro de comprimento "L" característico e da dimensão "d" do objeto:

$$V \propto L^d \quad (2.4)$$

Isolando a variável d , a dimensão é definida matematicamente como:

$$d = \frac{\log V}{\log L} \quad (2.5)$$

As aplicações são um subconjunto de $\mathbb{R}^m$ ou espaços de Banach, e as métricas naturais a serem usadas são definidas pela norma. Dessa maneira a equação 2.5 se transforma em:

$$d = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\frac{\log [N(\varepsilon)]}{\log \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)} \right) \quad (2.6)$$

Onde $N(\varepsilon)$ é o numero mínimo de conjuntos elementares necessários para cobrir o espaço considerado e ε é o tamanho de cada elemento do conjunto elementar.

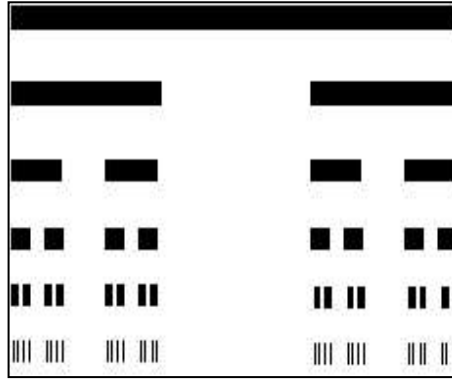


Figura 3. Conjunto de Cantor.

A Figura 3 simboliza o Conjunto de Cantor, também conhecido como Poeira de Cantor, que é construído tomando-se um segmento de reta e repartindo em três segmentos iguais. Em seguida retira-se o segmento do meio, depois os dois segmentos restantes são repartidos em três e retirados os segmentos do centro. Esse processo é repetido infinitamente. Portanto, se aplicado à equação 2.6 ao conjunto de cantor obter-se-á o valor de:

$$d = \frac{\log(2)}{\log(3)} \cong 0,6 \quad (2.7)$$

Se o atrator é imerso no espaço de dimensão progressivamente mais elevado ele exhibe cada vez mais uma estrutura complexa, com seus desdobramentos e suas medidas de dimensão aumentadas (CAMPANHARO et al., 2007). Isto progride continuamente até que o atrator seja completamente revelado em um ponto que a região satura. Quando esta condição é alcançada, a dimensão de imersão é suficientemente alta.

Segundo o método de Grassberger e Procaccia (1983), essa medida da densidade do atrator imerso no espaço de fases denomina-se de **dimensão de correlação** e ela fornece uma estimativa do número mínimo de equações diferenciais necessárias para descrever a dinâmica do sistema.

A fórmula da dimensão de correlação D_c é:

$$D_c = \lim_{R \rightarrow 0} \left\{ \frac{\log[C(R)]}{\log R} \right\} \quad (2.8)$$

Onde a função correlação integral, $C(r)$ é dada por:

$$C_{(r)} = \frac{1}{N^2} \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^N \theta(r - |x_i - x_j|) \quad (2.9)$$

Assim, X_i representa um ponto no espaço, $C(r)$ medem a extensão de um ponto de dados que afetam a posição de outros pontos. De outra maneira $C(r)$ pode ser entendido como função de correlação integral do atrator. N representa o número de pontos analisados no atrator e $\Theta(x)$ é a função degrau de Heaviside e esta função obedece às seguintes circunstâncias:

$$\theta(x) = 1 \text{ se } x \geq 0 \quad (2.10)$$

$$\theta(x) = 0 \text{ se } x < 0$$

Para efetuar a determinação de $C(r)$ pela equação (2.9) primeiramente adota-se um ponto de referência X_i no espaço de fase, a partir desse ponto e com o auxílio da função de Heaviside, θ , é contado o número de pontos dentro do raio da hipersfera (r) e conseqüentemente a medida de quanto à presença deste ponto de referência influência na posição dos demais dados, que é propriamente a função correlação.

Desse modo, pode-se obter o valor da dimensão de correlação através da inclinação da reta $\log [C(r)] \times \log [r]$, como representa a Figura 4.

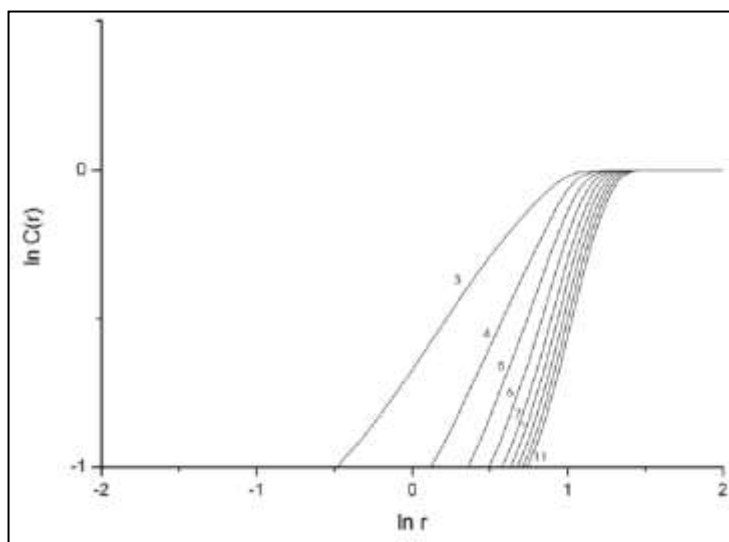


Figura 4. Gráfico da dimensão de correlação pelo método de (GRASSBERGER e PROCACCIA, 1983).

2.5. RECONSTRUÇÃO DA DINÂMICA DE SISTEMAS COMPLEXOS A PARTIR DOS DADOS DE UMA SÉRIE TEMPORAL

Edward Lorenz, em 1963, publicou em um artigo uma descoberta extraordinária quando estudava um modelo de previsão do tempo atmosférico. Seu

modelo exibia um comportamento bastante complexo, mas bem definido por poucas e simples equações diferenciais. A dinâmica do modelo apresentava que dois pontos localizados muito próximos seguiam rotas divergentes no tempo. A dinâmica gerada pelo modelo exibia uma característica não usual (MOREIRA, 1992). Sistemas como este de Lorenz são conhecidos como “caóticos determinísticos” ou simplesmente “caóticos”, ou seja, embora tenham comportamento aperiódico e imprevisível, a sua dinâmica é regida por equações diferenciais simples. Comparou numericamente diversos métodos aplicados a certos modelos simplificados testando assim sua tese.

Lorenz foi o pioneiro a descrever movimentos caóticos de um atrator de baixa dimensão. Estes movimentos particularizam-se por uma instabilidade intrínseca devido à sensibilidade às condições iniciais. O caos é aplicado como ferramenta de observação de fenômenos mal compreendidos do ponto de vista determinístico, tais como fenômenos que envolvem epidemia, turbulência em fluidos, fluxo de calor, ritmos biológicos e movimentos populacionais, sociais e econômicos (GLEICK, 1987).

No sistema caótico, as órbitas do atrator nunca repetem o mesmo caminho. Porém, as órbitas estão confinadas a uma região limitada do espaço de fase. Atratores de sistemas caóticos são classificados de atratores estranhos, terminologia introduzida por Ruelle e Takens (1971), quando estavam questionando a interpretação matemática do fenômeno de turbulência importante na época e propôs que turbulência deve corresponder à existência no espaço de configurações de algum "atrator estranho" de acordo com Figura 5.

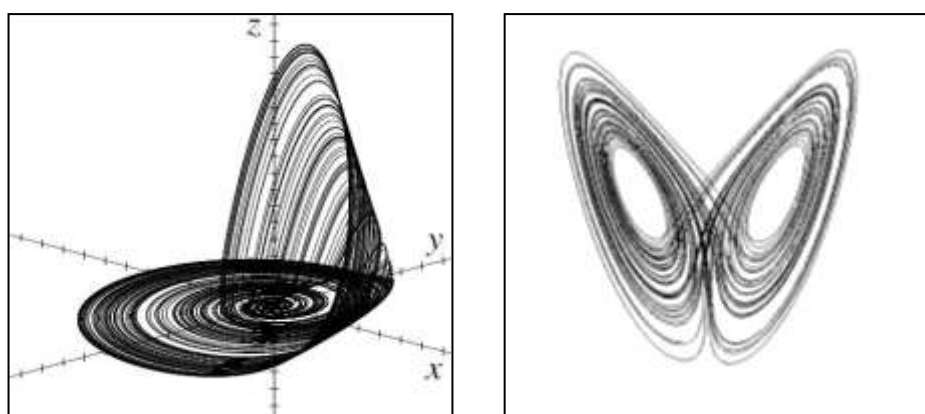


Figura 5. À esquerda o atrator de Rossler e à direita o atrator de Lorenz.

A primeira experiência em reconstruir um atrator caótico através de uma série de uma variável foi feita por Packard et al., (1980). Esses investigaram o sistema dinâmico de Rossler em um espaço de fase formado pelos eixos X , Dx/Dt e D^2x/D^2t . Consequentemente provaram que a figura geométrica que caracteriza o comportamento assintótico (que sofre uma divergência exponencial) do sistema é equivalente no que diz respeito ao formato, ao atrator original obtido por meio das equações diferenciais de evolução para X , Y e Z . Este método torna o cálculo impreciso pelo fato da determinação numérica de derivadas de um conjunto discreto de pontos ser muito sensível a ruído.

A partir de Lorenz (1963), Ruelle e Takens (1971) e Grassberger e Procaccia (1983), diversos estudos confirmam a presença de atratores estranhos associados a situações específicas, a partir de séries temporais em diferentes áreas. Encontrado em séries temporais marítimas (FRAEDRICH, 1986; NICOLIS e NICOLIS, 1984) em trajetórias de ciclone tropicais (FRAEDRICH e LESLIE, 1989), em séries temporais relacionadas ao fenômeno El Niño (GOBER et al., 1992), variabilidade da frequência cardíaca (FERREIRA et al., 2010) e também na dinâmica de florestas da Amazônia Legal (CAMPANHARO, 2006; CAPISTRANO, 2007; PALÚ, 2008; MELLO, 2010; PRADO, 2011).

Segundo Paiva Neto (2004) um atrator estranho é um fractal, um objeto geométrico de dimensão não inteira e estrutura possuindo característica de auto-similaridade. Em geral, os sistemas naturais são sistemas complexos que apresentam comportamento fractal. Podemos dizer que os fractais são conjuntos de objetos com forma irregular ou fragmentada e desfruta essencialmente a mesma estrutura em todas as escalas (NUSSENZVEIG, 2003). As principais propriedades que caracterizam e definem os fractais são:

- Auto-similaridade ou auto-semelhança, que pode ser determinística ou estatística;
- A irregularidade, ou fragmentação na sua forma;
- Em geral, possuem uma dimensão não inteira.

2.6. TEMPERATURA DO AR

A temperatura do ar à superfície apresenta um ciclo diário, varia entre máximo e mínimo. Em situações normais, o valor máximo ocorre cerca de duas horas depois da culminação do Sol; o mínimo acontece pouco antes do nascer do Sol. A presença dos fenômenos capazes de perturbar o estado prevalecente da atmosfera (como uma invasão de ar frio, por exemplo), pode alterar a expectativa quanto aos horários prováveis de ocorrência das temperaturas extremas (VAREJÃO, 2002).

Dessa forma a temperatura do ar é um dos efeitos mais importantes da radiação solar. O aquecimento da atmosfera próxima à superfície terrestre ocorre principalmente por transporte de calor, a partir do aquecimento da superfície pelos raios solares (PEREIRA et al., 1987). Vários fatores influenciam a distribuição da temperatura sobre a superfície, tais como a distância a partir dos corpos hídricos, o relevo, a natureza dos ventos predominantes e as correntes oceânicas (AYOADE, 2007).

Segundo Ayoade (2007), as variações sazonais na temperatura do ar são maiores nas áreas extratropicais, particularmente nos interiores continentais, enquanto são mais baixas em torno da faixa equatorial, particularmente nas superfícies hídricas. Portanto, podemos dizer que as variações sazonais da temperatura aumentam com a latitude e com o grau de continentalidade.

Com isso, temos a seguinte consideração à hora em que há maior ganho energético do Sol é justamente a hora do dia em que o Sol está a pino, ou seja, meio-dia (12 horas), quando está a pino no horizonte (fazendo zênite). Analisando os primeiros dois metros de superfícies como área de maior atividade biológica, tem-se que o horário de maior temperatura é por volta de 14 e 16 horas (TORRES e MACHADO, 2011).

Por outro lado, sabendo-se que depois do pôr do Sol a superfície perde a fonte de energia e com isso o ar começa a perder temperatura culminando nos instantes anteriores ao primeiro raio solar do outro dia, a superfície atinge sua temperatura mínima, variando o horário de acordo com a época do ano e a latitude. Esse padrão é considerado para dia normal sem influência de outros processos meteorológicos.

2.7. UMIDADE DO AR

A umidade do ar é uma variável essencial na determinação tempo e clima embora a umidade de água represente 2% da massa total da atmosfera e 4% de seu volume. Esta variável varia de regiões quase zero em áreas quentes e áridas, até um máximo de 3% nas latitudes médias e 4% nos trópicos úmidos. O termo para representar a quantidade de vapor de água presente na atmosfera é a umidade do ar.

Geralmente, o ar encontra-se com uma concentração de vapor de água menor que a de saturação. A relação porcentual entre a concentração de vapor de água existente no ar e a concentração de saturação (concentração máxima), na pressão e temperatura em que o ar se encontra, é definida como Umidade Relativa do Ar. (TUBELIS e NASCIMENTO, 1984, p. 95)

A umidade relativa é influenciada fortemente pela temperatura. De forma que o aumento da temperatura favorece a diminuição da umidade relativa.

2.8. PRECIPITAÇÃO

O termo precipitação em meteorologia é usado para qualquer deposição em forma líquida ou sólida da atmosfera (AYOADE, 2007). Sendo assim, o termo refere-se às várias formas líquidas e congeladas de água, como a chuva, neves contribuem significativamente para com os totais de precipitação.

A quantidade de precipitação é expressa em espessura da camada d'água que se formaria sobre uma superfície horizontal, plana e impermeável, com 1m² de área. Milímetro é a unidade adotada, que corresponde à queda de um litro de água por quadrado da projeção da superfície terrestre.

$$1\text{litros/m}^2 = 1\text{dm}^3/100\text{dm}^2 = 0,1\text{cm} = 1\text{ mm} \quad (2.11)$$

No entanto, uma precipitação de 80 mm equivale à queda de 80 litros de água por metro quadrado de projeção do terreno (800.000 litros por hectare). Sendo caracterizada por sua duração e intensidade, definida como a quantidade de água caída por unidade de tempo e usualmente expressa em mm por hora (mm h⁻¹).

2.9. MASSA DE AR E FRENTES

De acordo com Ayoade (2007), uma massa de ar pode ser definida como um grande corpo de ar horizontal e homogêneo deslocando-se como uma entidade reconhecível e tendo tanto origem tropical quanto polar. Além disso, Oliveira e Dolif (2007) descrevem que as massas de ar não se misturam se sua densidade é diferente.

Em geral, massas de ar têm densidade diferente quando uma é mais fria que a outra. Não é possível ver o limite entre as massas de ar, esse limite é uma frente. Eventualmente as densidades e temperaturas dessas duas massas de ar se igualam, mas isso leva muito tempo e então a frente se dissipa. Cada qual Oliveira e Dolif (2007), definem caso a massa de ar frio deslocar em direção à massa de ar quente, a frente então é chamada de frente fria. Na região onde ocorre a entrada de ar frio haverá, imediatamente uma redução brusca na temperatura ambiente (consequência da substituição do ar quente por ar frio), tendo em vista o desenvolvimento de nuvens convectivas e a ocorrência de aguaceiros, quase sempre acompanhados de trovões e relâmpagos. Quando a massa de ar quente se deslocar em direção à massa de ar frio a frente é chamada de frente quente. Se não houver deslocamento da região fronteira chama-se de estacionária.

As frentes frias são parte fundamental dos regimes de precipitação e temperatura de grande parte do Brasil. Durante o período de inverno, a presença da massa de ar frio pode determinar um forte declínio de temperatura e geadas, principalmente na Região Sul, sul do Mato Grosso do Sul e Regiões Serranas da Região Sudeste.

2.10. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Em muitos problemas de estatística, aparece uma variável que é a soma dos quadrados de K variáveis normais reduzidas independentes. A distribuição dessa variável é, por definição, a distribuição de qui-quadrado (X_k^2) com K graus de liberdade. Assim, se $X_1, X_2, \dots, X_k$ são variáveis aleatórias independentes com distribuições normais de médias $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ e variâncias $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_k^2$,

respectivamente, então a equação 2.11 tem a distribuição de qui - quadrado com K graus de liberdade.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \left(\frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i} \right)^2 = \sum_{i=1}^k Z_i^2 \quad (2.11)$$

Consequentemente, o teste é utilizado para:

- Verificar se a frequência com que um determinado acontecimento observado em uma amostra se desvia significativamente ou não da frequência com que ele é esperado.
- Comparar a distribuição de diversos acontecimentos em diferentes amostras, a fim de avaliar se as proporções observadas destes eventos mostram ou não diferenças significativas ou se as amostras diferem significativamente quanto às proporções desses acontecimentos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi desenvolvido utilizando o banco de dados das variáveis Micrometeorológicas do Programa de Pós- Graduação em Física Ambiental. Os dados foram coletados no município de Sinop, distante aproximadamente 560 km de Cuiabá, Capital do Estado de Mato Grosso, Brasil (Figura 6). A fazenda Maracaí, possui aproximadamente uma área de 20 km², localizada na região, a 60 km da cidade de Sinop, (11°24,75'S; 55°19,50'O). Está contida em uma floresta de transição entre floresta úmida e o cerrado, possui um dossel contínuo de altura entre 26m a 28m, em terreno plano a 423m do nível do mar, pertencente à bacia do rio Teles Pires, no meio Norte de Mato Grosso.

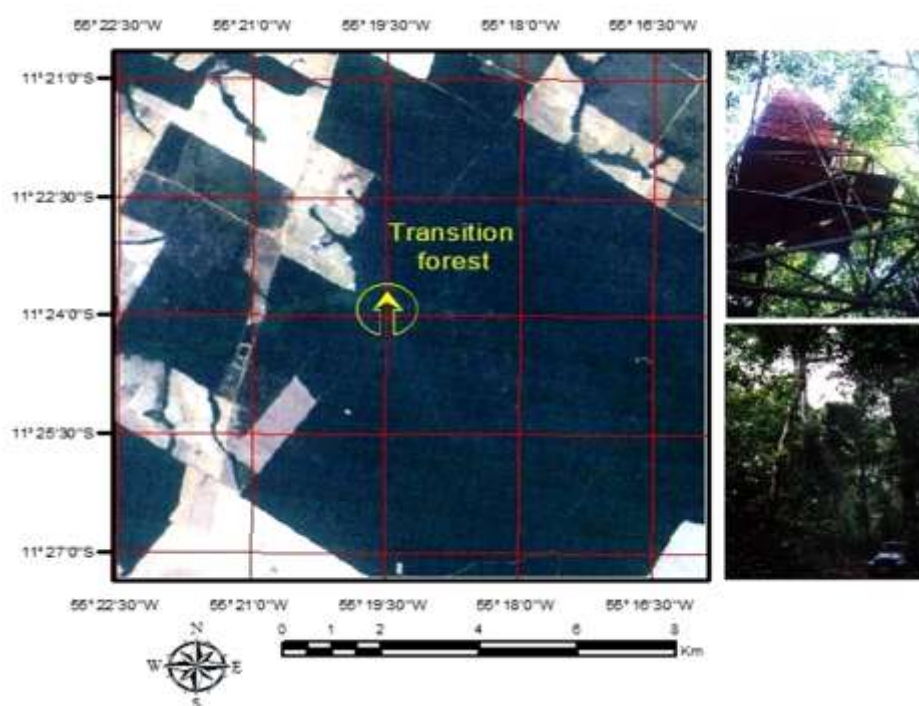


Figura 6. Local de estudo Transition Forest (Danelichen V.H.M, 2012).

3.2. CLIMA

A área de estudo é caracterizada por clima tropical úmido, com duas estações definidas, uma estação seca de junho a agosto, e uma estação chuvosa de dezembro a fevereiro, com uma temperatura média anual de 24°C e precipitação de 2000 mm/ano. (MIRANDA et al., 2004). O solo foi caracterizado como Neossolo Quartzarênio Órtico típico a moderado álico. É um solo de textura bastante arenosa com 84% areia, 4% silte, 12% argila na camada superior do solo (50 cm). Este solo tem alta porosidade e capacidade de drenagem rápida da água das chuvas que se dá entre quatro a sete dias. (PRIANTE FILHO et al., 2004).

A região Amazônica é caracterizada por apresentar clima quente e úmido, dando assim a conotação de uniformidade climática, porém apresenta na realidade, nítida variação térmica e acentuada variabilidade hídrica, esta em termos espacial e temporal. A maior flutuação na radiação solar, na temperatura do ar e umidade atmosférica, está associada com o padrão das chuvas, verificando-se que por ocasião do período mais chuvoso, ocorre redução na temperatura do ar, radiação solar global, brilho solar e aumento na umidade do ar, com o oposto ocorrendo por ocasião do período de menor pluviosidade (BASTOS, 2005).

3.3. COLETA DE DADOS

A coleta dos dados ocorreu em uma torre (Figura 7) na qual foi instalada sensores de correlação de vórtices turbulentos que foram montados a uma altura de 42 m acima do solo sendo aproximadamente 13m acima do dossel da floresta, onde funciona o sistema de correlação de vórtice turbulento (*eddy covariance*). Sendo a frequência de 10 HZ (0,1 em 0,1 segundos) registrando e armazenando uma média a cada 30 minutos. Os dados analisados serão de Temperatura do Ar. O tempo de coleta compreende entre os anos de 2001, 2002, 2003 e 2007.

Em vários pontos da torre, foram instalados medidores de temperatura de bulbo úmido e bulbo seco, radiômetro líquido, pluviômetro sensores de chuva e termopares para medir fluxo de calor latente. Para medir as flutuações de velocidade

do vento, temperatura e vapor d'água, foram utilizados um sistema de vórtice turbulento, um sistema de anemômetro sônico em três dimensões (SWS-211/3K, *applied technologies, Inc. Boulder, Colorado*) e um analisador de gás infravermelho de caminho aberto (NOAA-ATDD, *Oak Ridge, Tennessee*).

Entre os anos de 1999 a 2005 o sistema de correlação de vórtices turbulentos era composto por um anemômetro- termômetro sônico tridimensional (SWS-211/3K, *Applid Technologies, Inc., Boulder; Colorado, E.U.A*) e por um conversor analógico/ digital (datapacker). É uma técnica micrometeorológica que quantifica diretamente as trocas de massa e energia da superfície – atmosfera, pela medida do transporte turbulentos de vapor d'água e calor (VOURLITIS et al., 2002 e VOURLITIS *et al.*, 2001).

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, e um novo Datalogger, o CR5000 Campbell, USA, dispensando a utilização de um computador portátil. Com os dados gerados criam-se planilhas do software Microsoft Excel, onde são analisados.

A instalação, a manutenção e a calibração de todos os aparelhos foram feitas pelo grupo de estudo da Física Ambiental. Dessa maneira os dados a serem analisados em planilhas eletrônicas serão os anos que se subdividirão em meses e estes em dias; os dados diários foram acumulados a cada 30 min em um datalogger, começando de 0:00 h à 23:30h.



Figura 7. Foto da torre em SINOP-MT.

3.4. MÉTODOS

Em 1980 um grupo da Universidade da Califórnia de Santa Cruz e David Ruelle, simultaneamente e independentes um do outro, introduziram a ideia de usar defasagens temporais para reconstrução do espaço de fase de sistemas dinâmicos observados. (ABARBANEL, 1993). Uma maneira fundamental de reconstruir a dinâmica do sistema se dá a partir da obtenção de vetores de estado atrasados da série temporal original $X_0(t)$, de forma que o espaço de fase passe a ser definido pelo conjunto de vetores $\{X_k(t)\}$ (sendo $k = 1, \dots, n - 1$). O método consiste em a partir da série temporal original $X_0(t)$ gerar outras séries temporais com 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.

Isto é:

$$\begin{aligned} X_0 &= X_0(t_1), \dots, X_0(t_N) \\ X_1 &= X_0(t_1 + \tau), \dots, X_0(t_N + \tau) \\ &\vdots \\ &\vdots \\ X_K &= X_0[t_1 + (n - 1)\tau], \dots, X_0[t_N + (n - 1)\tau] \end{aligned} \tag{3.1}$$

Conforme o teorema de Takens (1981), a trajetória completa de um sistema em um espaço de fases pode ser reconstruída a partir da medida de uma única variável independente dos sistemas. Ou seja, em sistemas cujas equações dinâmicas que os regem não são conhecidas, a caracterização do seu atrator associado pode se limitar a conhecer apenas uma série de valores, correspondentes à evolução temporal de uma das variáveis do sistema (PINTO, 2009). O conjunto geométrico imerso nesse espaço de fases, que carrega as informações da dinâmica do sistema, é denominado de *atrator reconstruído* e é topologicamente equivalente ao atrator que seria produzido pela solução numérica do sistema dinâmico de equações, caso elas fossem conhecidas (CAMPANHARO, 2006).

Contudo, a qualidade do atrator reconstruído é bastante sensível ao escolhido para o tempo de atraso. Portanto, qual defasagem temporal usar? Nicolis e Prigogine (1998) afirmam que a escolha da defasagem (τ) deve ser aquela na qual a série

original ($X_0(t)$) e a série defasada ($X_1(t_N + \tau)$) apresentarem a menor correlação. Já Mañé e Takens afirmam que não importa qual é a escolha da defasagem temporal. Eles discutem que o atrator emerge suavemente aparece no espaço de fase de coordenadas defasadas como se visto nas coordenadas originais, que não são conhecidas. 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 $X(t_N + m\tau)$ e $X[t_N + (m + 1)\tau]$ terem valores próximos e as séries tornam-se indistinguíveis. Na prática, o uso de τ muito pequeno gera atratores reconstruídos com sua trajetória próximos a uma reta. Contudo, o uso de um τ muito grande acarreta em $X(t_N + m\tau)$ e $X(t_N + (m + 1)\tau)$ serem completamente diferente uma da outra. No entanto, para valores de τ grande demais, geram atratores com sua trajetória dispersa, ambos os tempos de defasagem geram atratores reconstruídos mal definidos.

A utilização de um tempo de defasagem de 5 horas pode ser adotada em quaisquer que sejam as análises de séries temporais para a estimativa da dimensionalidade dos processos envolvidos na interação atmosfera- biosfera, na floresta de transição de Sinop, independentemente de qual variável estiver sendo estudada e, também, de que época do ano os dados se referem (PALÚ, 2008).

Para a reconstrução do atrator, foi utilizada a série temporal da variável temperatura do ar. Segundo os resultados de Capistrano (2007), dentre todas as variáveis medidas na Floresta de Sinop é a mais bem comportada e, portanto, mais simples de ser modelada. Procurou-se aqui verificar o comportamento da temperatura quando sofre influência da precipitação e de uma frente fria.

Utilizou-se a análise estatística do Qui- Quadrado (χ^2) na temperatura média horária, verificando assim o coeficiente de dispersão. Na série temporal, todos os dados permaneceram na série, porém na reconstrução dos atratores foram retirados alguns dados inadequados para não comprometer a análise da temperatura do ar.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE OS ATRADORES RECONSTRUÍDOS E AS ESTAÇÕES DO ANO

De acordo com o teorema de Takens, aplicou-se o método de reconstrução do atrator com o propósito de obter as características completas de um sistema a partir de uma variável independente (Temperatura). Com base nos resultados de Capistrano (2007), que de todas as variáveis medidas na floresta de Sinop, a variável mais bem comportada é a temperatura e, portanto, fácil de ser modelada. Foram analisados os anos 2001, 2002, 2003 e 2007, porém alguns meses desses anos foram excluídos, devido às falhas nos dados ocorridos durante a coleta, mas não influenciou no desenvolvimento do trabalho.

O tempo de defasagem é de cinco horas conforme o resultado de Palú (2008). A utilização de um tempo de defasagem de 5 horas pode ser adotada em quaisquer que sejam as análises de séries temporais para estimativa da dimensionalidade dos processos envolvidos na interação atmosfera-biosfera, na floresta de transição de Sinop, independentemente de qual variável estiver sendo estudada, e também a que época do ano os dados se referem.

As Figuras são representadas pelo eixo X formado pelos valores das séries temporal original (Temperatura do Ar), o eixo Y formado pela mesma série temporal, mas com tempo defasagem " τ ", o eixo Z formado com o dobro desse tempo defasagem 2τ .

Dessa maneira, os anos foram divididos em períodos seco (representado cor vermelha), chuvoso (azul), chuvoso-seco (roxo) e seco-chuvoso (laranja).

4.1.1. Atratores e Séries Temporais do Período Seco dos Anos de 2001, 2002, 2003 e 2007.

A fim de observar os efeitos intra-anual da temperatura do ar na floresta em estudo, foram utilizados os dados das séries temporais de temperatura do ar de cada mês do ano para a reconstrução dos atratores. Analisar essa dependência sazonal mês a mês, considerando os dados disponíveis. O tempo de defasagem utilizado para a reconstrução dos atratores foi a defasagem de cinco horas, corroborando assim, com a conclusão de (PALÚ, 2008). Para ajudar na análise dos atratores reconstruídos, as respectivas séries temporais dos dados de temperatura do ar foram dispostas abaixo de cada atrator.

O período do ano e da sazonalidade em relação à variável analisada foi dividido segundo (ARRUDA, 2004), em período seco, compreendido entre os meses de junho a agosto, período intermediário, compreendido entre seco e chuvoso, estando entre os meses de setembro a novembro, período chuvoso, compreendido entre os meses de dezembro a fevereiro e o período intermediário chuvoso e seco, compreendido entre os meses de março a maio.

As figuras 8 e 9 mostram mais de uma formação do ciclo no atrator reconstruído, verifica-se que na série temporal da figura 9 há uma variação regular por ser considerado um período seco.

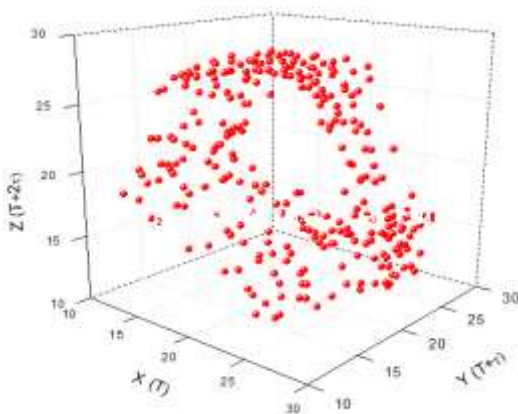


Figura 8. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de junho de 2001.

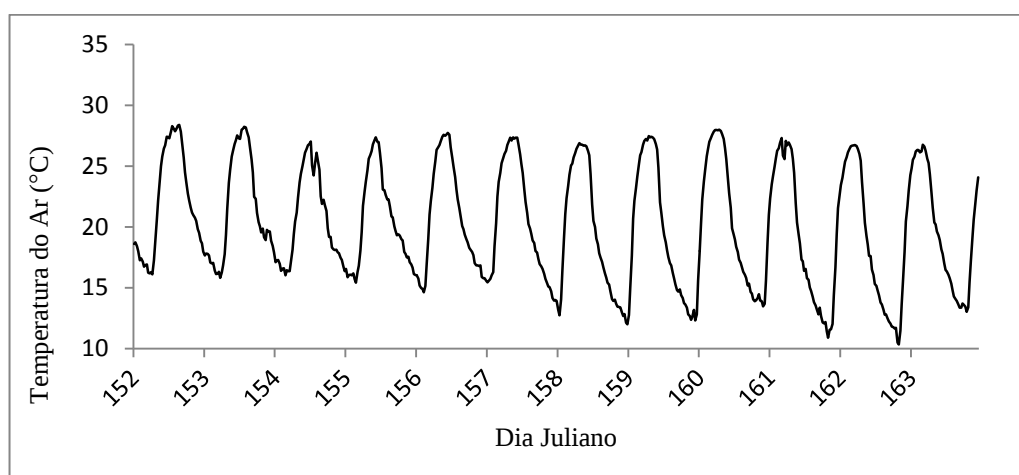


Figura 9. Série temporal da temperatura do ar no mês de junho de 2001.

Nota-se na Figura 10 um atrator reconstruído apresenta um formato diferenciado, pois não apresentou o esperado em relação à figura 8, sendo um ciclo definido. Considerando que esse mês representa um período seco, na série temporal a Figura 11 expressa uma série não regular por se tratar do mesmo período. Pode se afirmar que a configuração do atrator é sensível ao padrão da série temporal por apresentar uma trajetória diferente, pelos poucos dados disponíveis nesse mês.

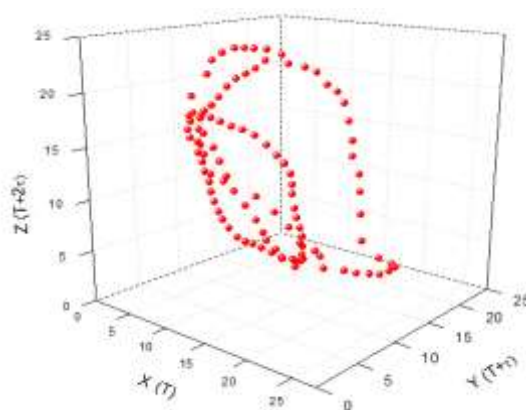


Figura 10. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de agosto de 2001.

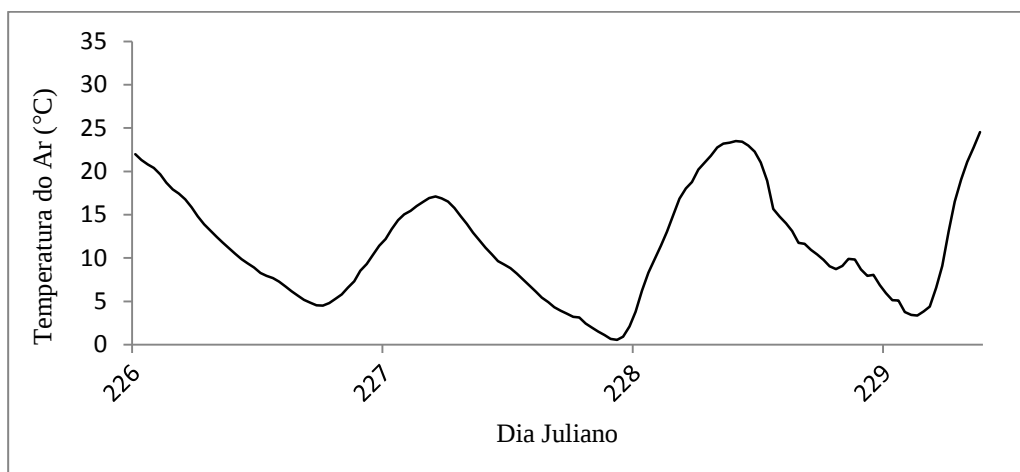


Figura 11. Série temporal da temperatura do ar no mês de agosto de 2001.

Observa-se na Figura 12 que o atrator reconstruído apresenta uma trajetória regular, seguindo o padrão da série temporal Figura 13.

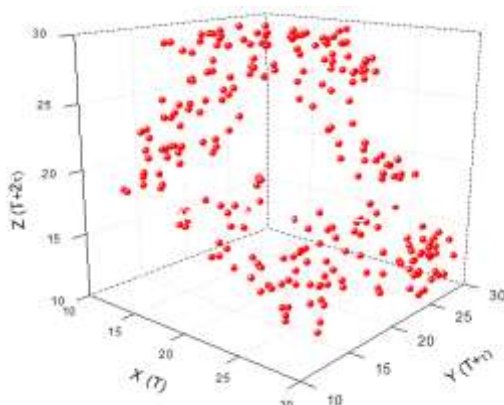


Figura 12. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de junho de 2002.

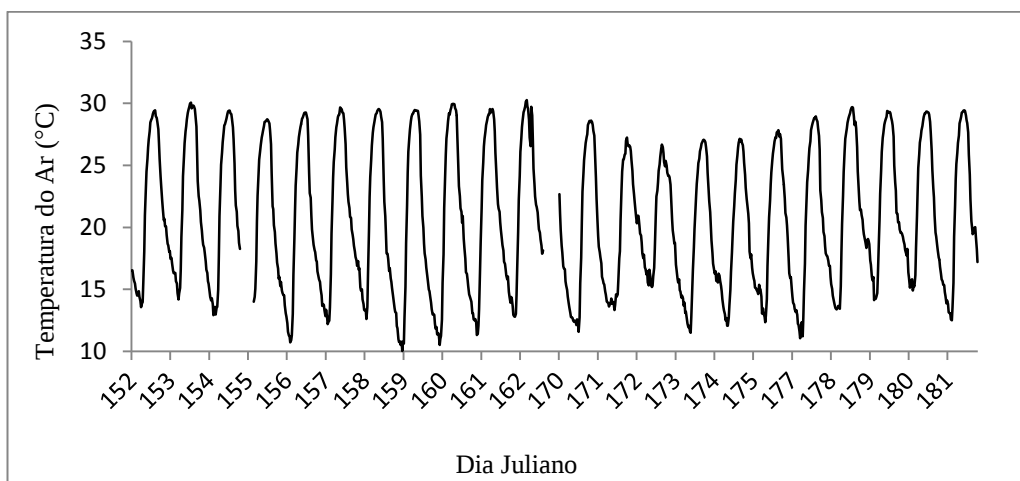


Figura 13. Série temporal da temperatura do ar no mês de junho de 2002.

Observa-se na Figura 14 atrator reconstruído apresenta dois ciclos um interno e outro externo. Além disso, a série temporal Figura 15 apresenta temperatura baixa, indicando a presença de frente fria.

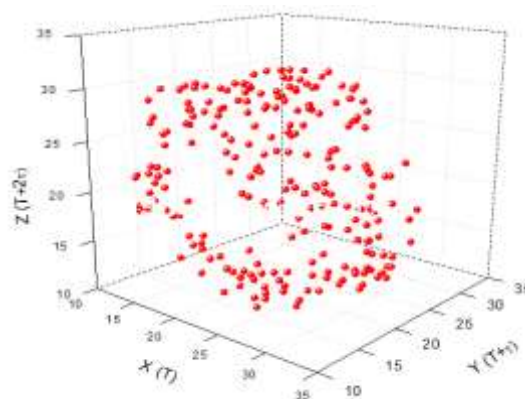


Figura 14. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de julho de 2002.

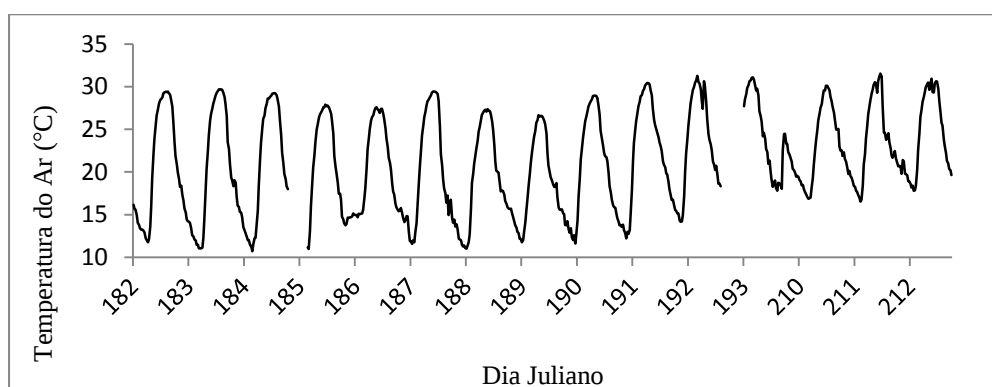


Figura 15. Série temporal da temperatura do ar no mês de julho de 2002.

Na Figura 16, o atrator reconstruído apresenta ciclo regular, apesar de alguns pontos estarem dispersos, seguindo a variação da série temporal da Figura 17.

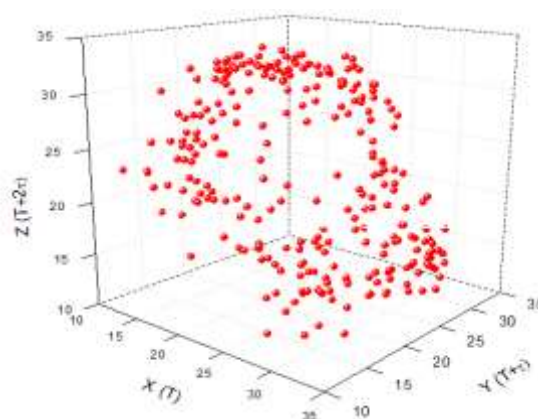


Figura 16. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de agosto de 2002.

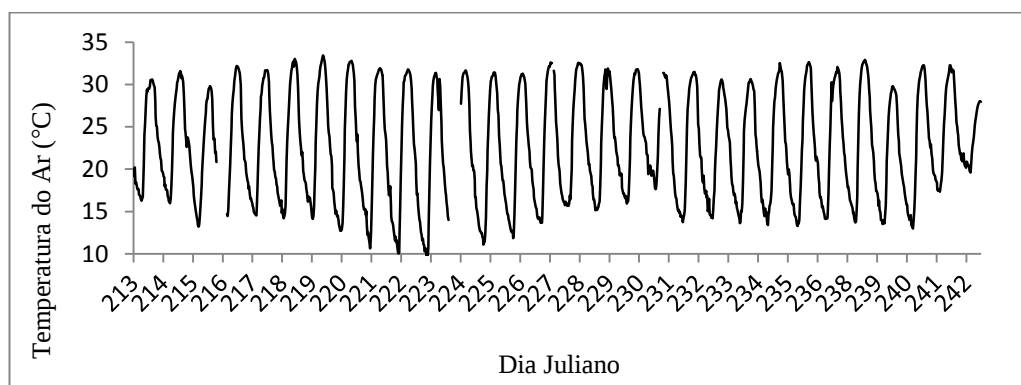


Figura 17. Série temporal da temperatura do ar no mês de agosto de 2002.

Observa-se na Figura 18, atrator reconstruído apresenta uma dispersão nos seus pontos, apesar de representar um período seco. A série temporal Figura 19 apresenta padrão alterado no começo da série por causa de falhas no equipamento.

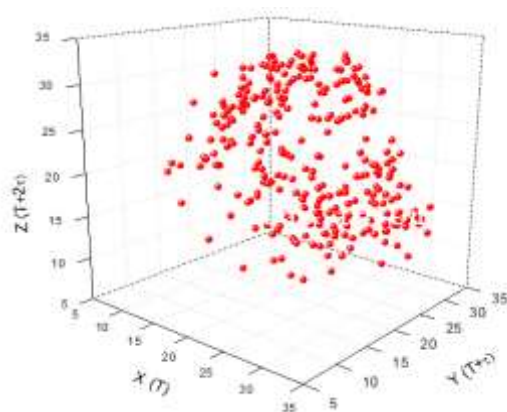


Figura 18. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de agosto de 2003.

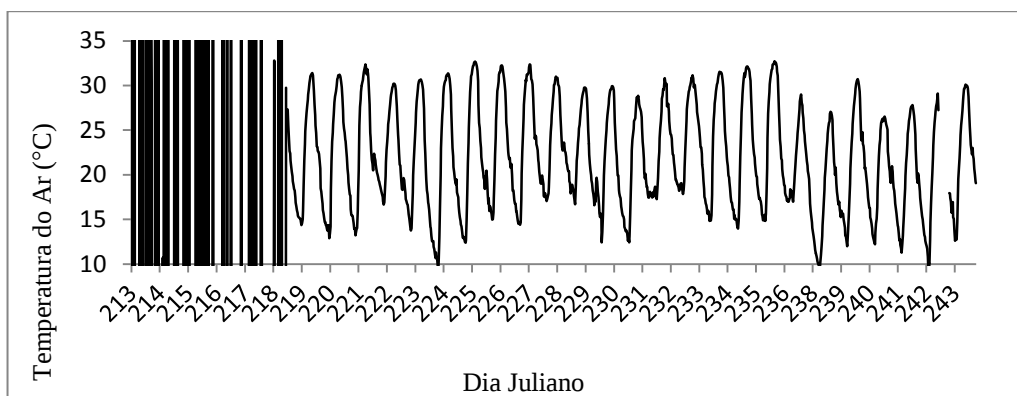


Figura 19. Série temporal da temperatura do ar no mês de agosto de 2003.

Nota-se na Figura 20 que atrator reconstruído, representa um período seco, com formação de ciclo de acordo com o padrão da série temporal Figura 21.

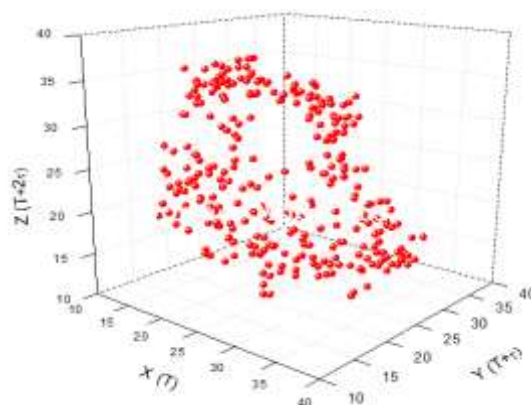


Figura 20. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de julho de 2007.

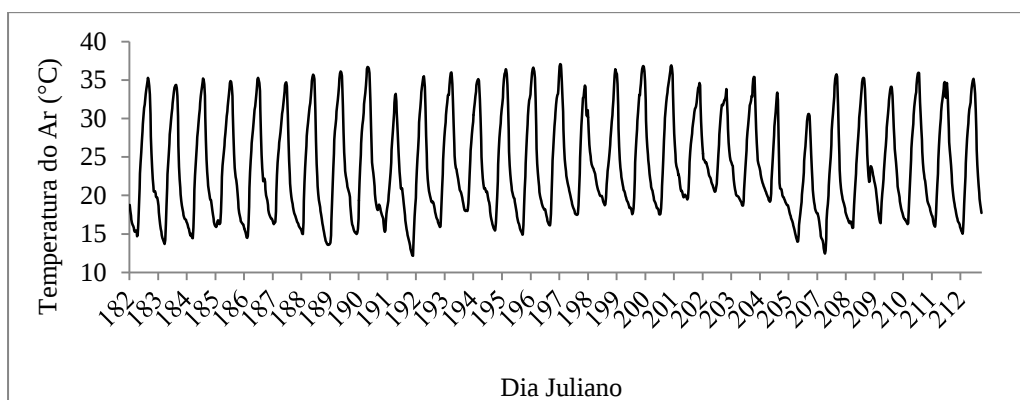


Figura 21. Série temporal da temperatura do ar no mês de julho de 2007.

Na análise dos resultados dos anos de 2001, 2002, 2003 e 2007, constatou-se que nos atratores reconstruídos a partir da série temporal dos meses junho de 2001, junho de 2002, julho de 2002, agosto de 2002, agosto de 2003 e julho de 2007, correspondem ao período seco, compreendendo formação dos atratores com formato padronizado exceto no mês agosto de 2001, apresentando uma configuração diferente comparados com os meses do período seco.

4.1.2. Atratores e Séries Temporais do Período Chuvoso dos Anos de 2001, 2002, 2003 e 2007.

Na Figura 22, o atrator reconstruído apresenta um formato irregular sem a formação do ciclo, percebe-se na série temporal na Figura 23 a diminuição na temperatura em certo período do dia, o que ocasiona essa configuração.

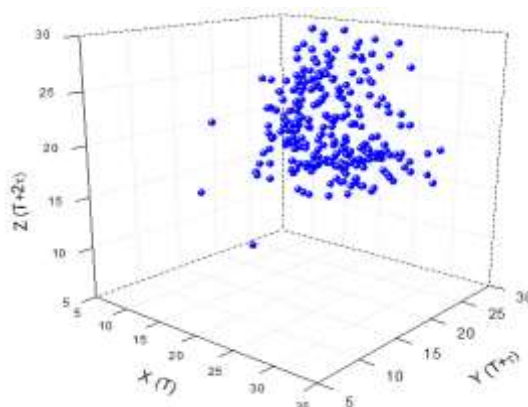


Figura 22. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de fevereiro de 2001.

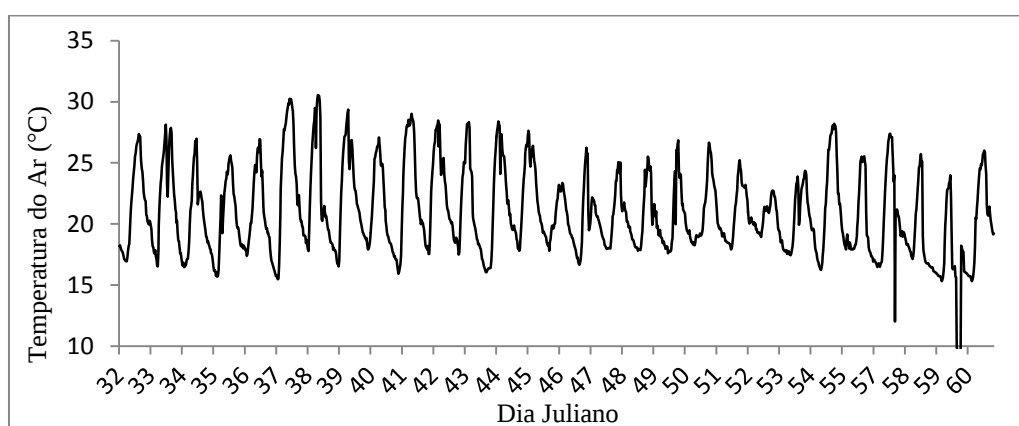


Figura 23. Série temporal da temperatura do ar no mês de fevereiro de 2001.

Da Figura 24, do atrator reconstruído, pode se afirmar que representa um período chuvoso. Assim, a presença da umidade faz com que os pontos do atrator se dispersem, seguindo o padrão da série temporal Figura 25.

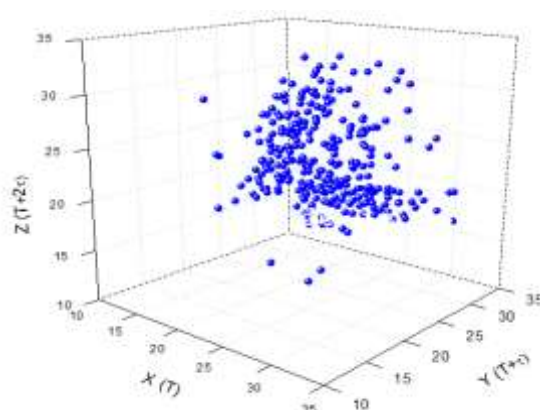


Figura 24. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de dezembro de 2002.

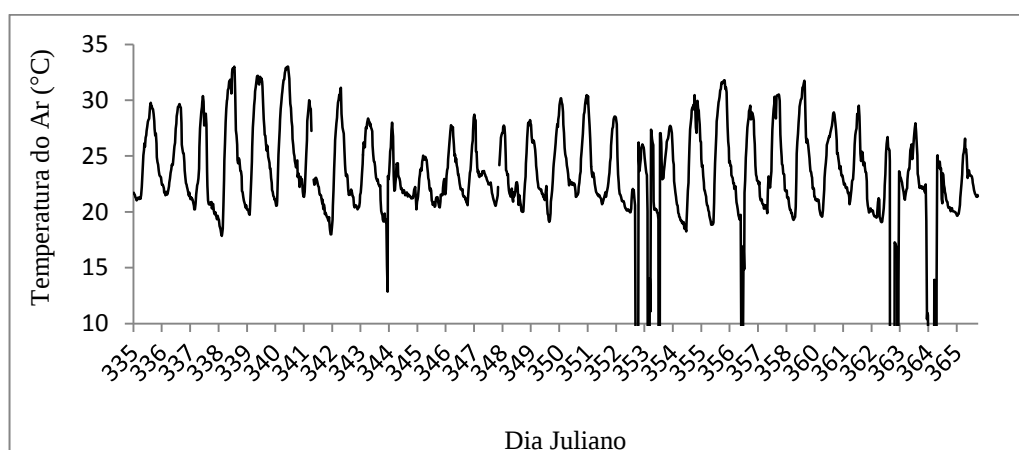


Figura 25. Série temporal da temperatura do ar no mês dezembro de 2002.

Observa-se na Figura 26 que o atrator reconstruído apresenta dispersão nos pontos do atrator, isso ocorre por ser considerado o período chuvoso. A variação da série temporal Figura 27 por não está completa não interferiu na análise.

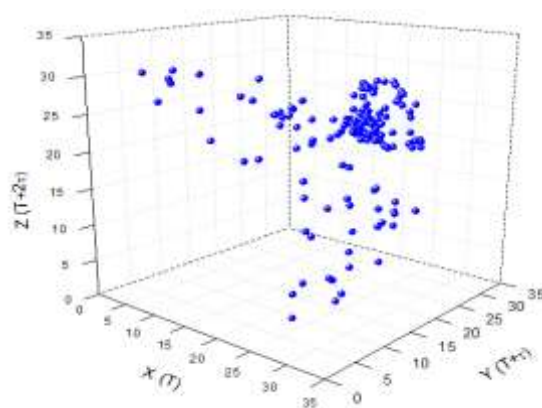


Figura 26. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de janeiro de 2003.

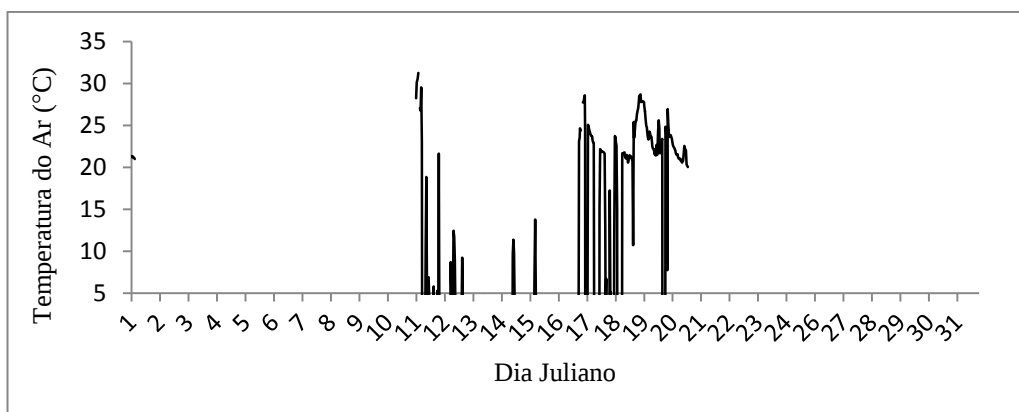


Figura 27. Série temporal da temperatura do ar no mês de janeiro de 2003.

Na Figura 28 o atrator reconstruído não apresenta formação de ciclo, considerando que esse mês representa período chuvoso seguindo assim, o padrão da série temporal Figura 29.

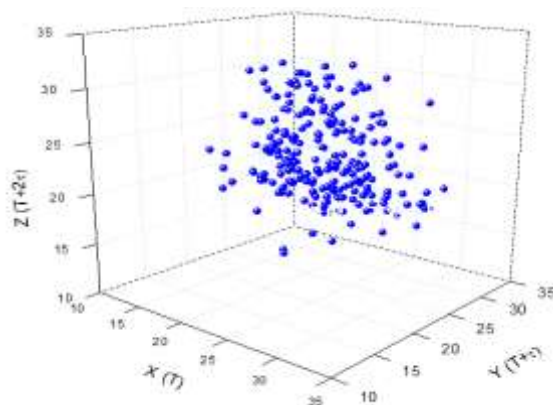


Figura 28. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de fevereiro de 2003.

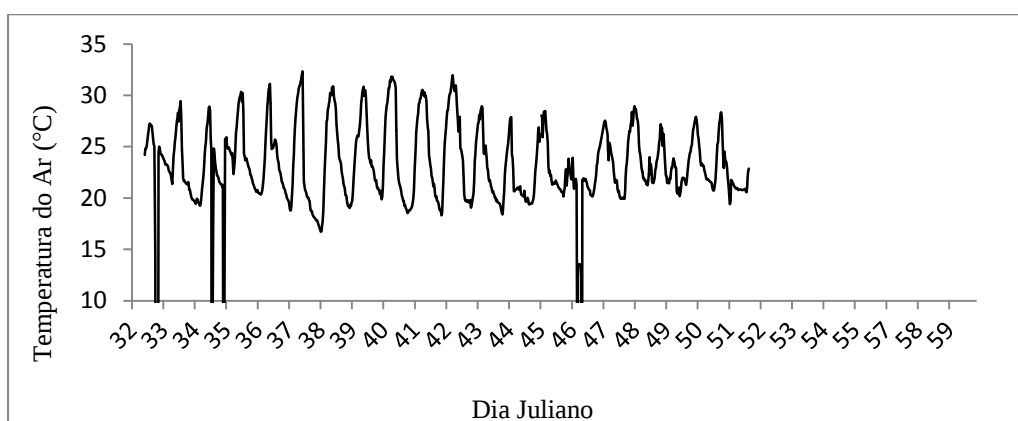


Figura 29. Série temporal da temperatura do ar no mês de fevereiro de 2003.

Nota-se que na Figura 30 que o atrator reconstruído representa um período chuvoso, mas apresenta um ciclo regular conforme a variação da série temporal da Figura 31.

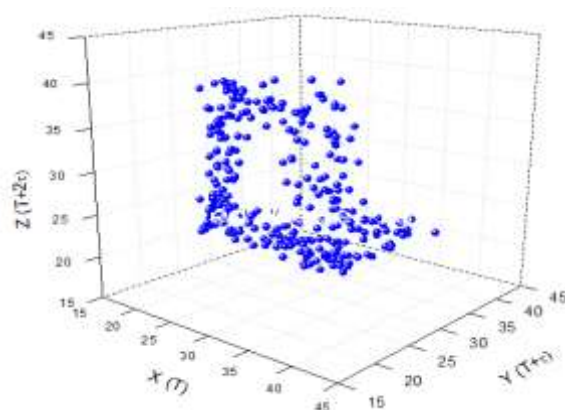


Figura 30. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de janeiro de 2007.

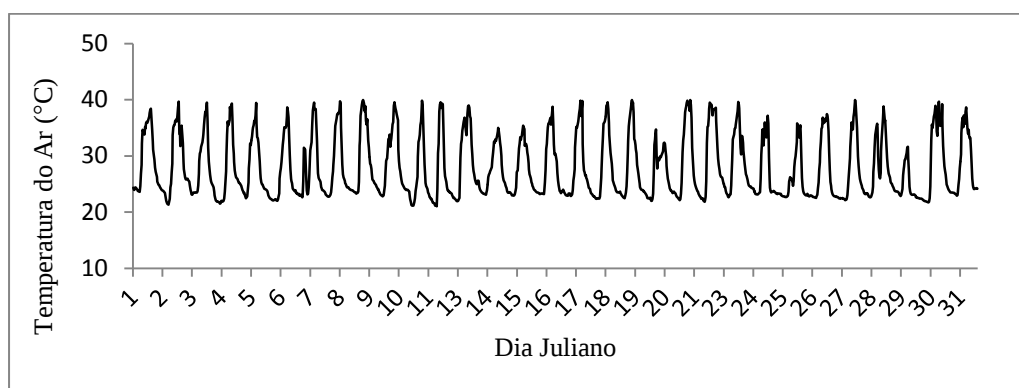


Figura 31. Série temporal da temperatura do ar no mês de janeiro de 2007.

Na Figura 32, o atrator reconstruído representa período chuvoso, não há formação do ciclo, segue o padrão da série temporal da Figura 33.

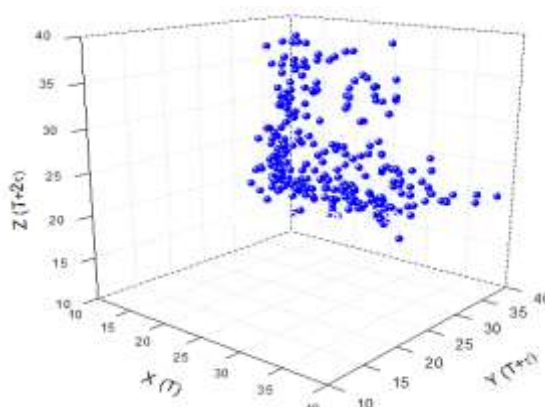


Figura 32. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de fevereiro de 2007.

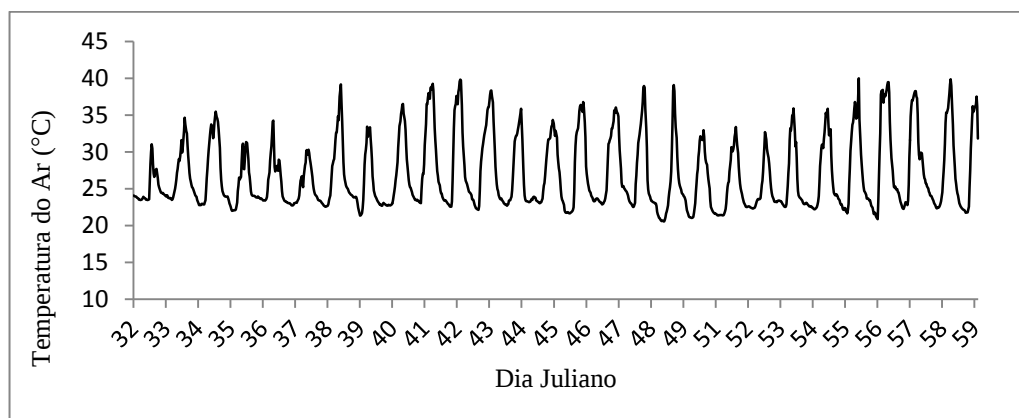


Figura 33. Série temporal da temperatura do ar no mês de fevereiro de 2007.

Na Figura 34 o atrator reconstruído não apresenta formação de ciclo por ser um período chuvoso, de acordo com a variação da série temporal Figura 35.

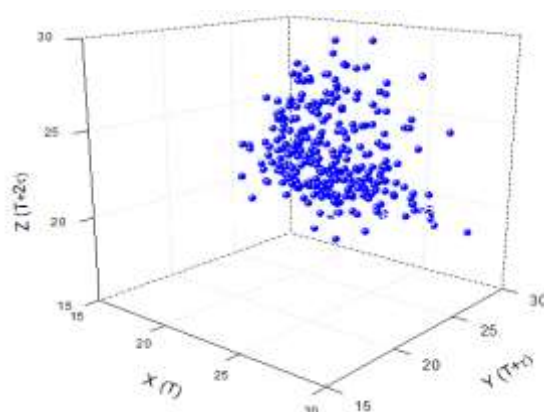


Figura 34. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de dezembro de 2007.

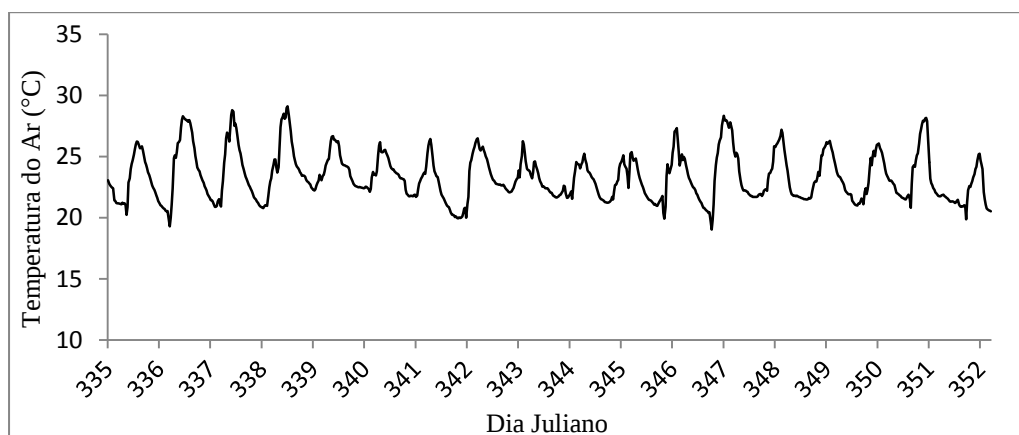


Figura 35. Série temporal da temperatura do ar no mês de dezembro de 2007.

Analisando os resultados dos atratores reconstruídos desse período chuvoso, notou-se que nos meses fevereiro de 2001, dezembro de 2002, janeiro de 2003, fevereiro de 2003, fevereiro de 2007, dezembro de 2007 não se observa formação de ciclo, devido à dispersão dos pontos exceto para o mês de janeiro 2007.

Assim sendo, pela análise dos resultados dos anos de 2001, 2002, 2003 e 2007, conclui-se que os atratores reconstruídos a partir da série temporal dos meses que correspondem ao período seco (junho, julho e agosto) compreendem um ciclo que se obteve um melhor padrão quando comparados aos meses correspondentes ao período chuvoso (dezembro, janeiro e fevereiro).

Segundo Capistrano (2007), entre todas as variáveis analisadas, nas seis séries temporais, as únicas que apresentaram uma diferença sistemática, com relação à dimensionalidade, entre estação seca e chuvosa, foram a temperatura, a concentração de CO_2 e a concentração de H_2O no ar.

Do mesmo modo, Prado (2011), constatou que os atratores reconstruídos a partir da série temporal do mês de junho, correspondente ao período seco, tem sua trajetória mais bem comportada quando comparado ao mês de dezembro, correspondente ao período chuvoso, demonstrando coerência com os padrões das respectivas séries temporais.

4.1.3. Atratores e Séries Temporais do Período Chuvoso-Seco dos Anos de 2001, 2002, 2003 e 2007.

Na Figura 36, nota-se, que o atrator reconstruído possui a mesma configuração da Figura 34, por se tratar de um período chuvoso, ocorrendo dessa forma uma dispersão dos atratores por considerar esse período seguindo a variação da série temporal da Figura 37.

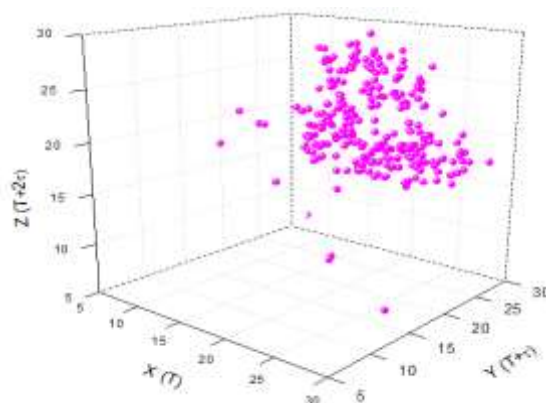


Figura 36. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de março de 2001.

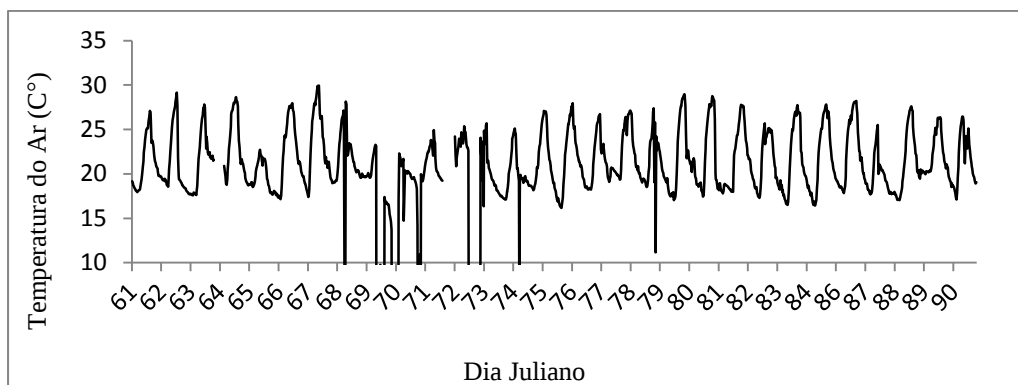


Figura 37. Série temporal da temperatura do ar no mês de março de 2001.

Observa-se na Figura 38 que no atrator reconstruído há início na formação do ciclo menos regular, analisando a série temporal da Figura 39, nota-se aumento da temperatura, favorecendo a formação de ciclo.

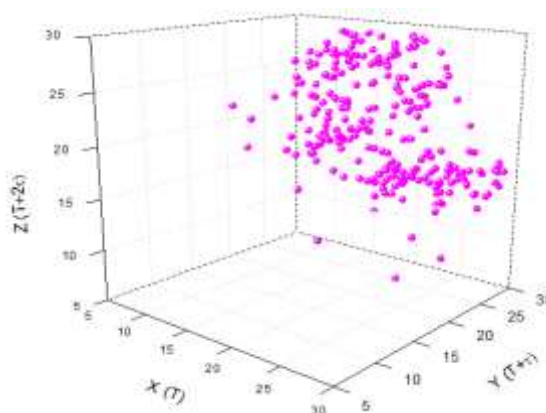


Figura 38. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de abril de 2001.

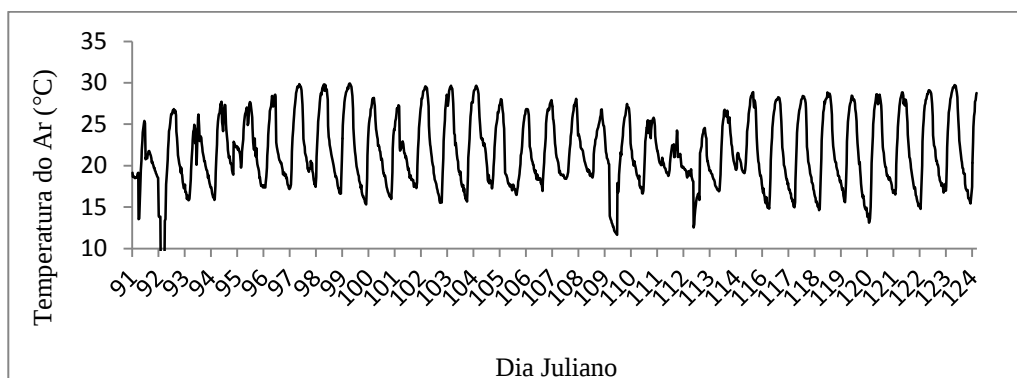


Figura 39. Série temporal da temperatura do ar no mês de abril de 2001.

Na Figura 40, observa-se a formação do ciclo, confere a diminuição da dispersão do atrator dando início a uma configuração do atrator reconstruído. Apesar de a série temporal apresentar falhas no decorrer de alguns dias não houve mudança na análise.

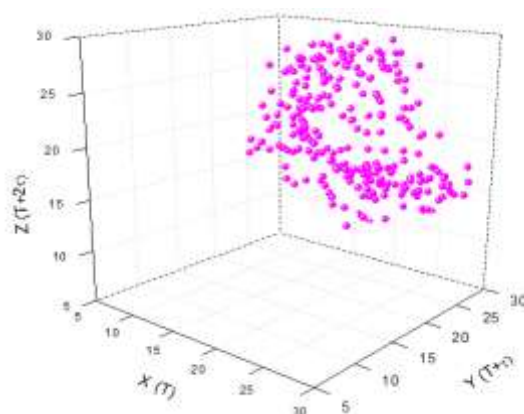


Figura 40. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de maio de 2001.

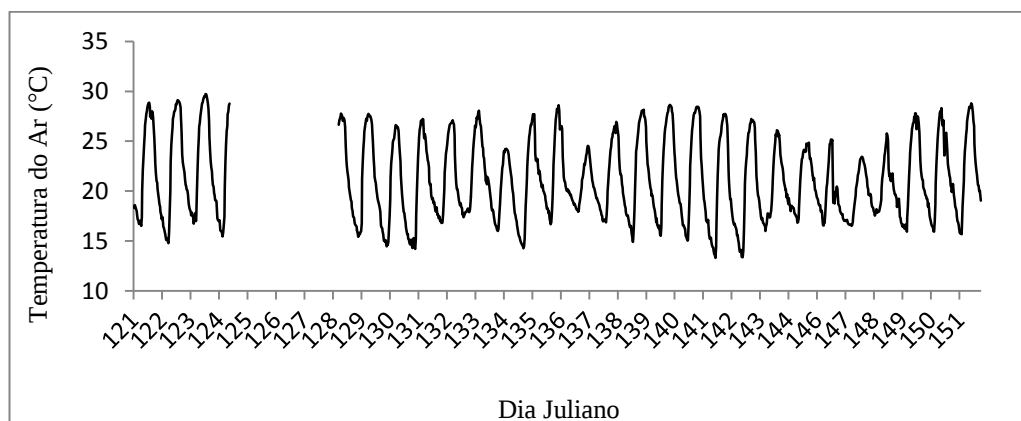


Figura 41. Série temporal da temperatura do ar no mês de maio de 2001.

A Figura 42 apresenta a reconstrução do atrator, percebe-se um formato regular, determinando assim um período semelhante ao período seco, mesmo apresentando falha na série temporal Figura 43.

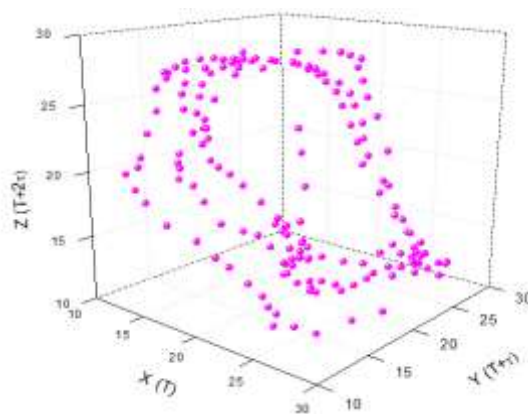


Figura 42. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de maio de 2002.

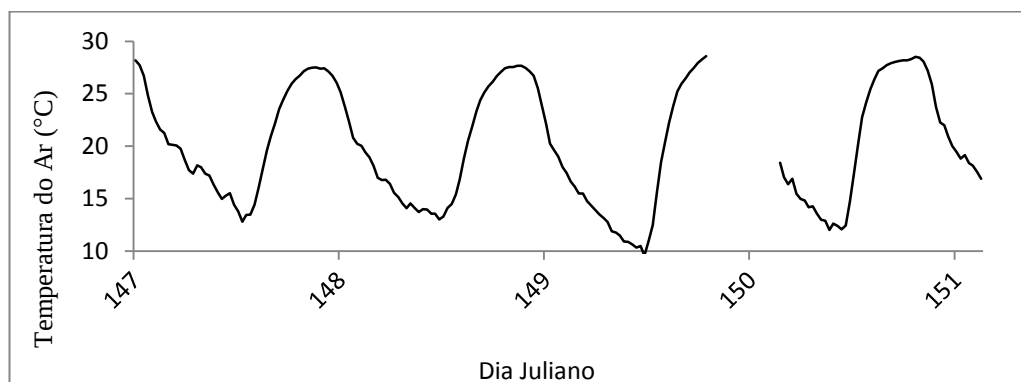


Figura 43. Série temporal da temperatura do ar no mês de maio de 2002.

Na Figura 44 do atrator reconstruído percebe-se formação do ciclo, por se tratar de período chuvoso-seco com isso percebe-se formação do ciclo, a série temporal incompleta não alterou a análise.

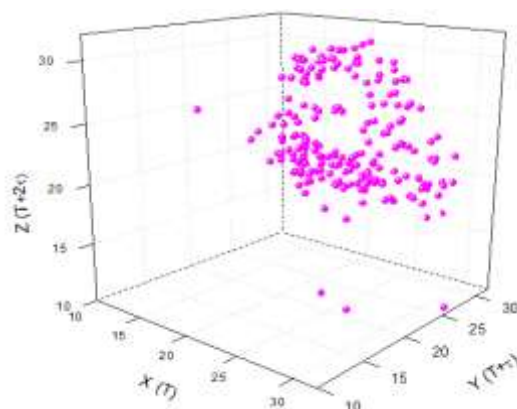


Figura 44. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de março de 2003.

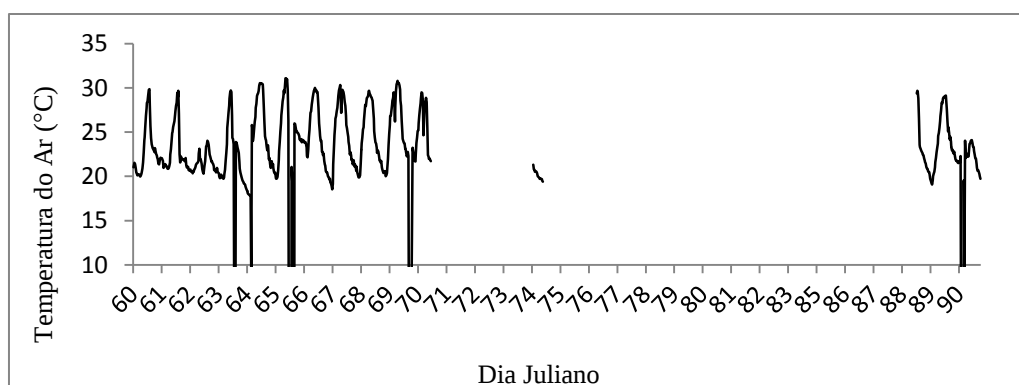


Figura 45. Série temporal da temperatura do ar no mês de março de 2003.

A Figura 46 do atrator reconstruído apresenta dois ciclos um interno e outro externo, indicando a presença de frente fria. Na série temporal Figura 47, nota-se diminuição na temperatura consequentemente com a entrada frente fria no sistema.

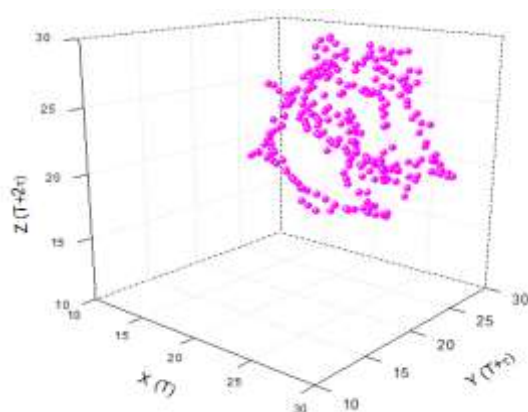


Figura 46. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de maio de 2003.

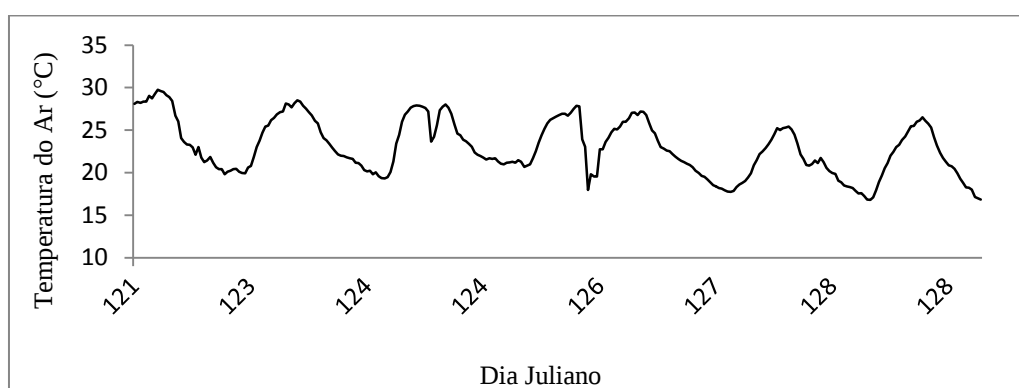


Figura 47. Série temporal da temperatura do ar no mês de maio de 2003.

Observa-se na Figura 48 do atrator reconstruído a representação do período-seco, com a formação de um ciclo, sendo sensível à variação da série temporal Figura 49.

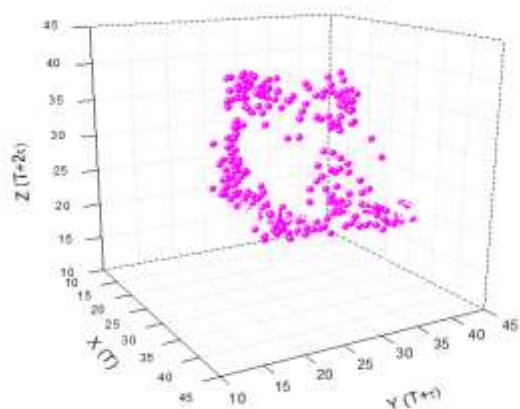


Figura 48. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de março de 2007.

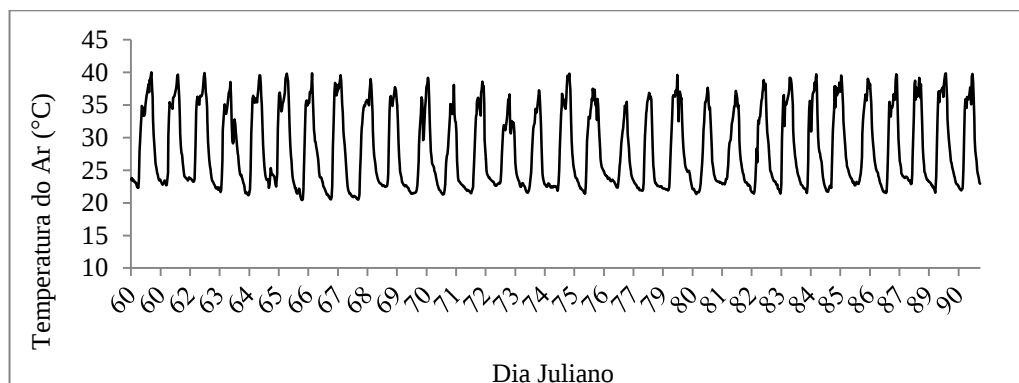


Figura 49. Série temporal da temperatura do ar no mês de março de 2007.

As figuras acima, que representam o perfil do atrator reconstruído no espaço de fase, demonstram que o atrator nem sempre é evidente em todos os meses, que é um resultado coerente, uma vez que se trata do período intermediário entre a estação chuvosa – quando há grande dispersão dos dados – e a estação seca – quando os ciclos são mais evidentes. Para os períodos de março 2001, abril de 2001, maio de 2001, março de 2003, não houve formação do ciclo. Nesse mesmo período, o mês de maio de 2002 e março de 2007 evidencia a formação dos ciclos. Além disso, o mês de maio de 2003 apresenta dois ciclos, um interno outro externo, indicando a entrada de frente fria no sistema.

4.1.4. Atratores e Séries Temporais do Período Seco chuvoso dos anos de 2002, 2003 e 2007.

Na Figura 50, o atrator reconstruído apresenta um formato regular comparado com as figuras do atratores reconstruídos do período seco. A série temporal Figura 51 apresenta um decaimento brusco na temperatura indicando assim uma possível falha no equipamento da qual não afetou na análise.

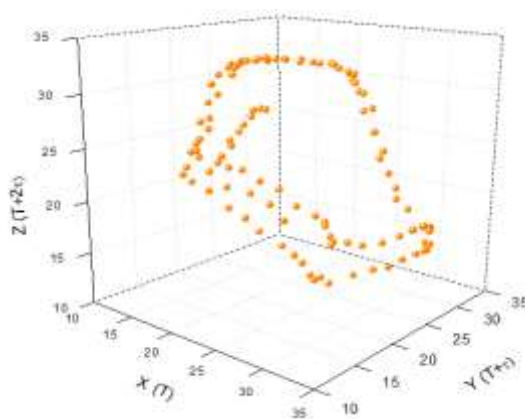


Figura 50. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2002.

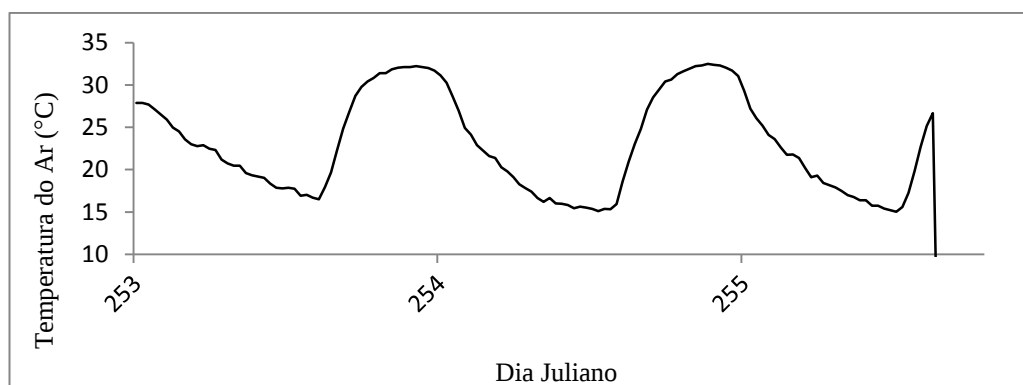


Figura 51. Série temporal da temperatura do ar no mês de setembro de 2002.

Na Figura 52, o atrator reconstruído apresenta contração entre os pontos, seguindo a variação da série temporal da Figura 53.

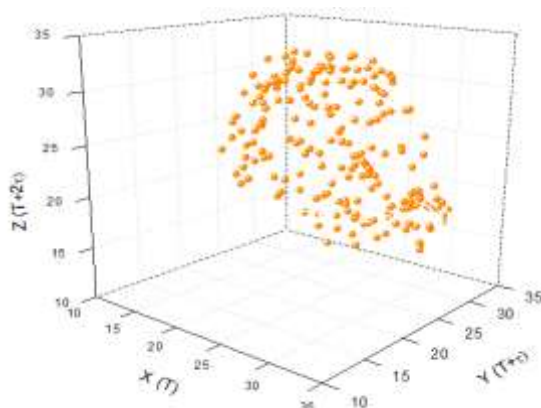


Figura 52. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de outubro de 2002.

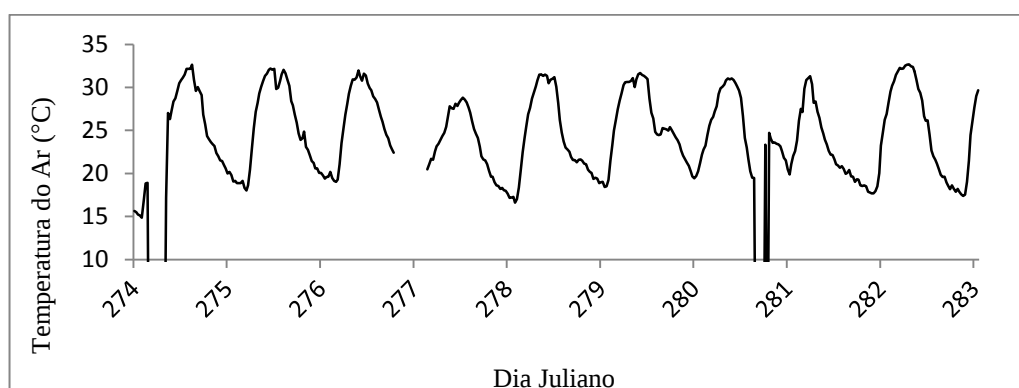


Figura 53. Série temporal da temperatura do ar no mês de outubro de 2002.

Na Figura 54, o atrator reconstruído apresenta alguns pontos dispersos indicando assim o início do período chuvoso de acordo com a série temporal da Figura 55.

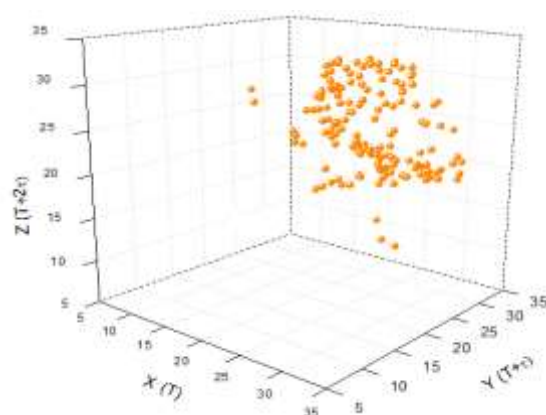


Figura 54. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de novembro de 2002.

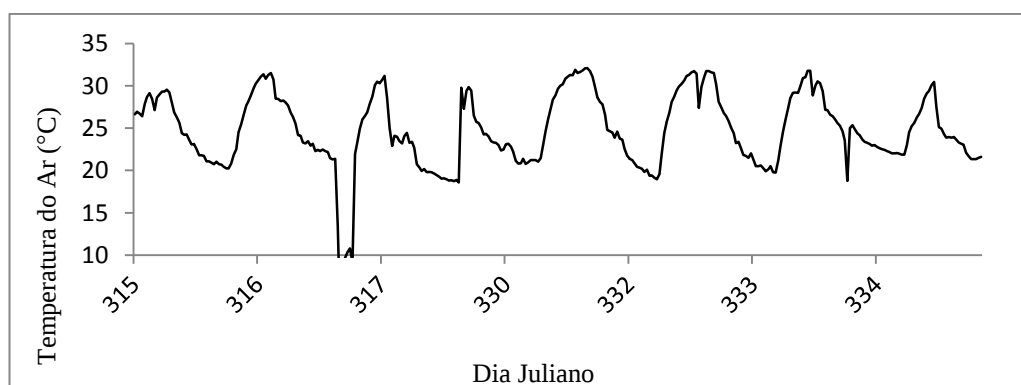


Figura 55. Série temporal da temperatura do ar no mês de novembro de 2002.

A Figura 56 do atrator reconstruído apresenta dispersão dos pontos do atrator, considerando um período seco chuvoso, segue o padrão da série temporal Figura 57.

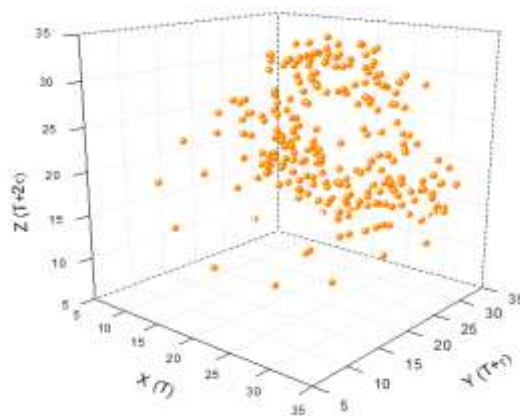


Figura 56. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003

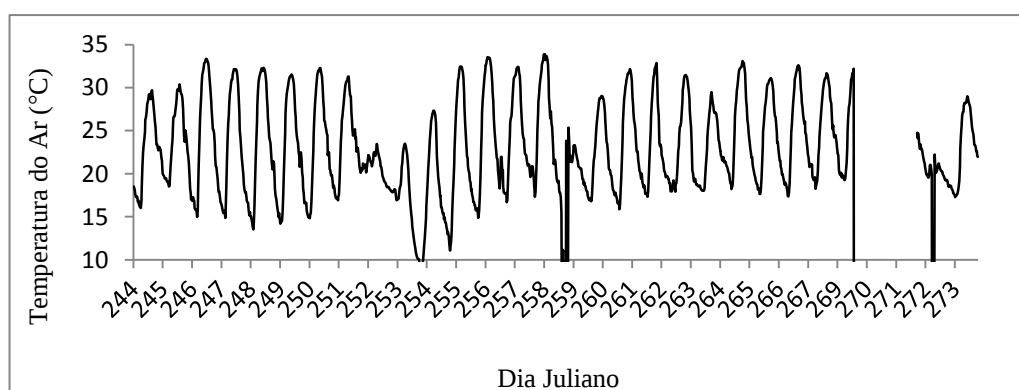


Figura 57. Série temporal da temperatura do ar no mês de setembro de 2003.

Na Figura 58 do atrator reconstruído, a configuração do atrator apresenta uma trajetória diferente comparada com as figuras anteriores (50 e 56) seguindo assim o padrão da série temporal da figura 59.

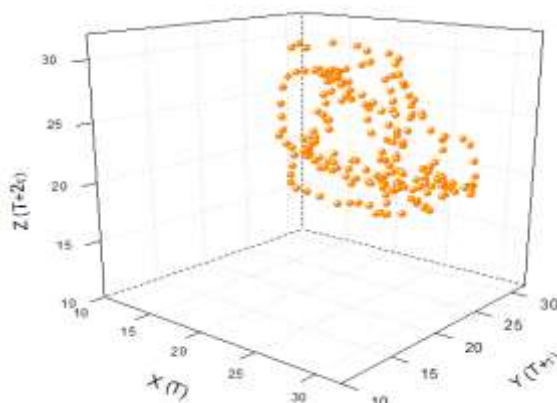


Figura 58. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de outubro de 2003.

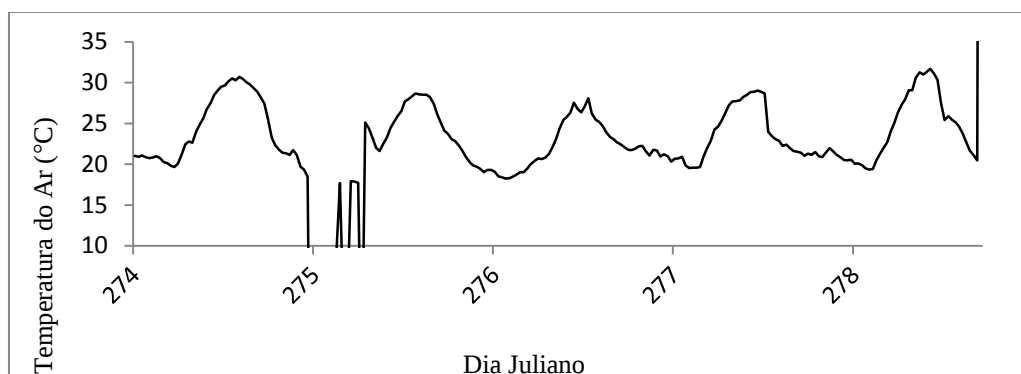


Figura 59. Série temporal da temperatura do ar no mês de outubro de 2003.

A Figura 60 do atrator reconstruído apresenta um formato definido, segue o padrão da série temporal Figura 61.

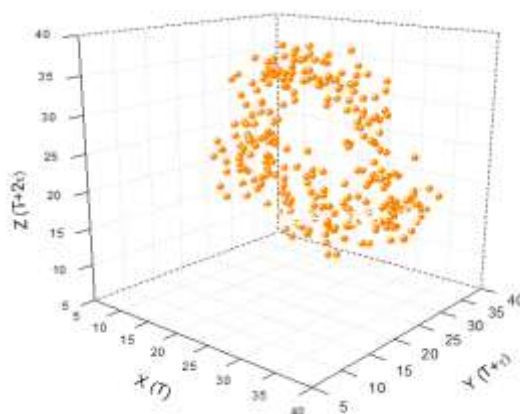


Figura 60. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2007.

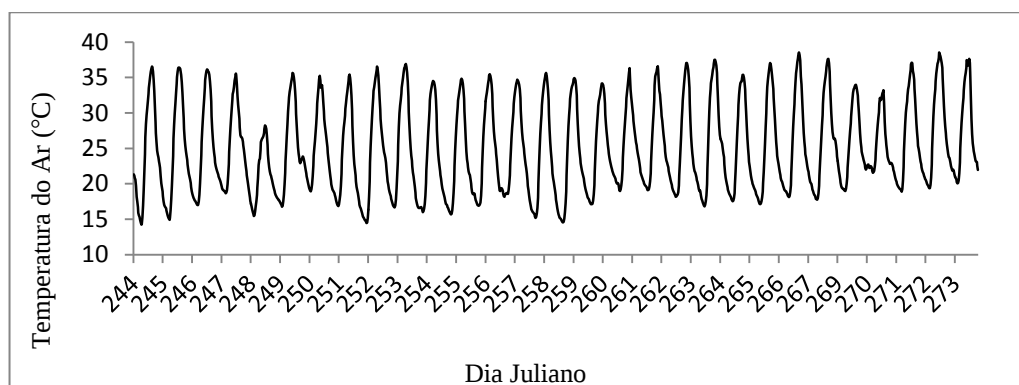


Figura 61. Série temporal da temperatura do ar no mês de setembro de 2007.

Observa-se na Figura 62 que o atrator reconstruído apresenta um ciclo definido comparado aos atratores do período seco, a série temporal da Figura 63 apresenta uma variação completa da série.

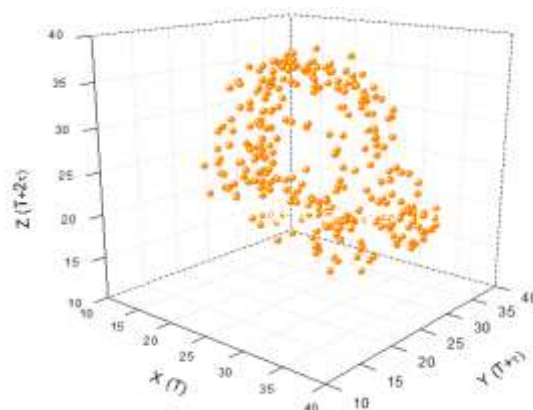


Figura 62. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de outubro de 2007.

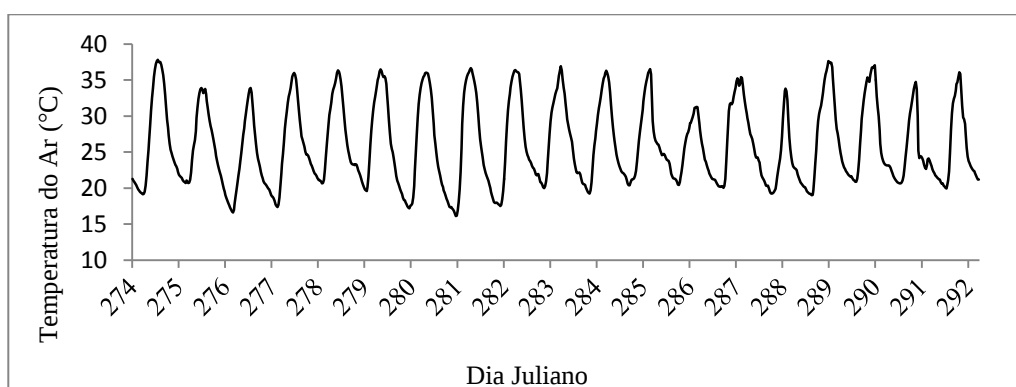


Figura 63. Série temporal da temperatura do ar no mês de outubro de 2007.

A Figura 64 atrator reconstruído, não apresenta formação de ciclo, observando assim, na série temporal da Figura 65 baixa temperatura no ambiente.

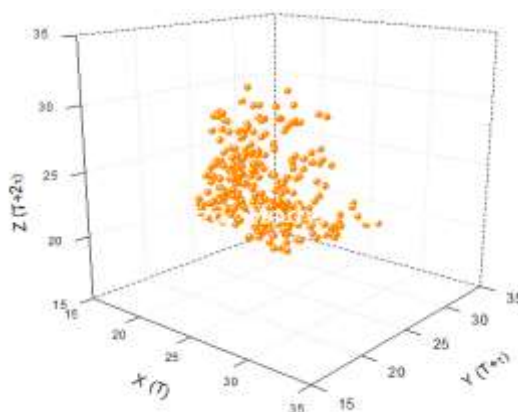


Figura 64. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de novembro de 2007.

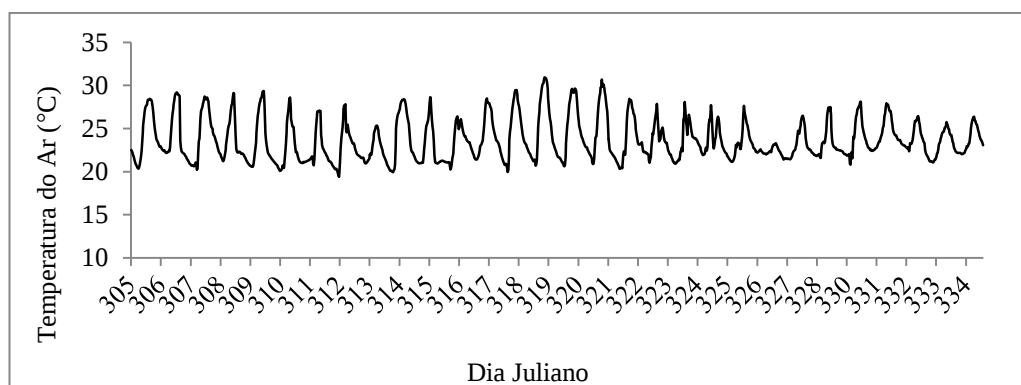


Figura 65. Série temporal da temperatura do ar no mês de novembro de 2007.

Nesse período seco chuvoso, observa-se que nos meses de outubro de 2002, outubro de 2003 e setembro de 2007, não apresentam formação de ciclo, no entanto nos meses setembro de 2002, novembro de 2002, setembro de 2003, outubro de 2007 e novembro de 2007 a formação do ciclo é evidente. Dessa forma, pode-se concluir que o período seco chuvoso apresenta um formato do ciclo dos atratores mais regular comparado ao período chuvoso-seco.

4.2. INFLUÊNCIAS DA FRENTE FRIA NO PADRÃO DA TEMPERATURA

A fim de observar os efeitos da frente fria na temperatura do ar na floresta em estudo, foram utilizados os dados das séries temporais de temperatura do ar dos

meses de maio e setembro de 2003 para a reconstrução dos atratores. Esses períodos são compreendidos como intermediário chuvoso e seco.

Na Figura 66 mostra-se o atrator reconstruído no mês de maio de 2003 e, observam-se dois ciclos, um interno e outro externo. Na Figura 67 apresenta-se o primeiro ciclo e na Figura 68 apresenta-se o segundo ciclo. Essa variação ocorre devido à entrada de uma frente fria que ocorreu no dia 07 de maio e com isso ocasionou a diminuição da temperatura para um valor aproximado de $16,8^{\circ}\text{C}$.

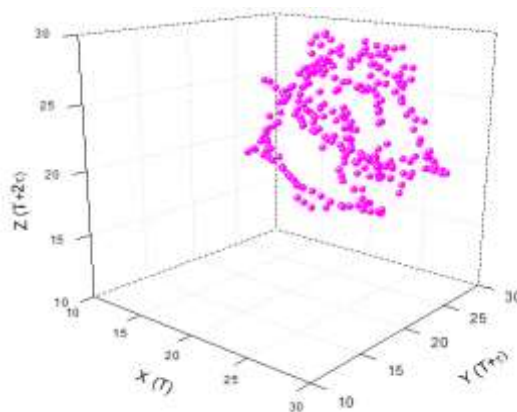


Figura 66. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de maio de 2003.

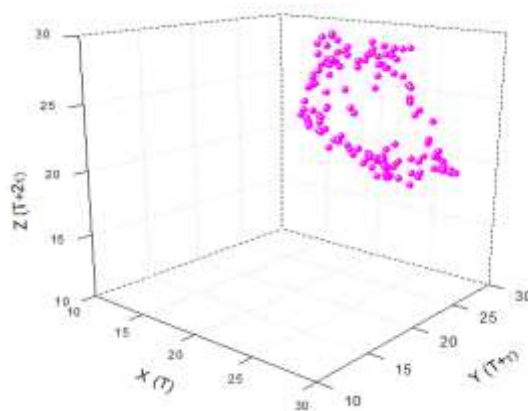


Figura 67. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de maio de 2003 representa o ciclo externo.

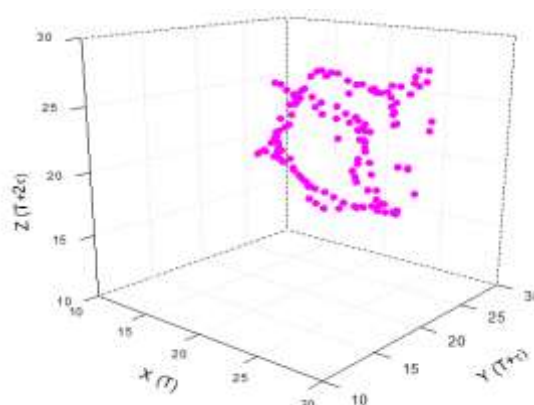


Figura 68. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de maio de 2003 representa o ciclo interno.

Na Figura 69 mostra-se o atrator reconstruído no mês de setembro de 2003 e observam-se dois ciclos. Na Figura 70 os ciclos dos atratores são mais evidentes. Na Figura 71 apresenta-se o primeiro ciclo do atrator e na Figura 72, o segundo ciclo do atrator. Essa variação ocorre devido à entrada de uma frente fria que ocorreu no dia 01 de setembro e com isso ocasionou a diminuição da temperatura para um valor aproximado de $14,2^{\circ}\text{C}$.

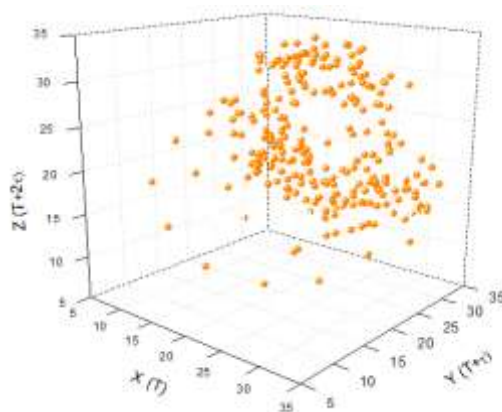


Figura 69. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003.

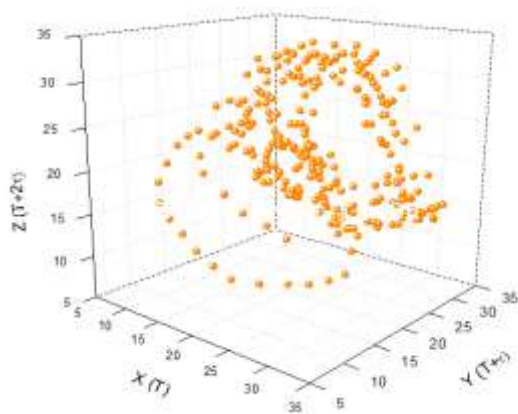


Figura 70. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003 representa dois ciclos.

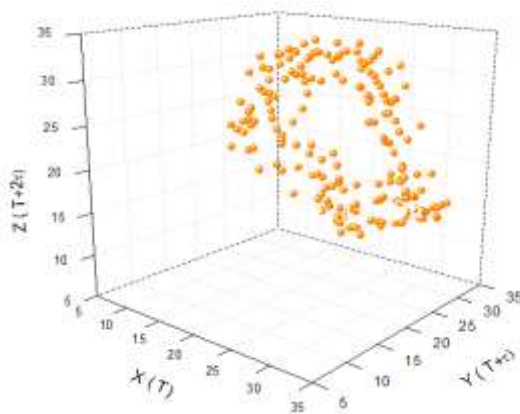


Figura 71. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003 representa o ciclo externo.

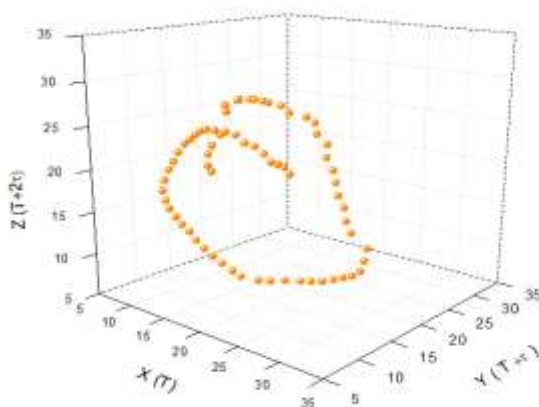


Figura 72. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003 representa o ciclo interno.

Na Figura 66 e Figura 70, a reconstrução dos atratores evidencia dois circuitos, um interno e o outro externo, ou seja, um deslocamento do ciclo no espaço de fase, pois com a diminuição da temperatura média, o ciclo passa a se dar em outra região do espaço de fase, correspondem a valores menores de temperatura. Em outras palavras, uma frente fria ocorre com a passagem do ar frio por determinado período, substituído o ar quente que existia, sendo assim, o efeito da frente fria é deslocar o atrator, no espaço de fase, da mesma forma que ocorre com as massas de ar.

4.3. INFLUÊNCIAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR NA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR

Analisou-se qual a influência da umidade do ar na reconstrução dos atratores. Para essa análise, investigou-se o mês de setembro de 2003, por ser um período em que a presença da umidade foi mais notável. Separou-se o atrator por faixa de umidade na seguinte ordem: atrator reconstruído com o ciclo do mês de acordo com a Figura 73. A seguir pelas faixas de 2 a 2,5 kPa (Figura 74); 2,5 a 3 kPa (Figura 75); 2 a 3 kPa (Figura 76); 0 a 3 kPa (Figura 77); 3 a 6 kPa (Figura 78).

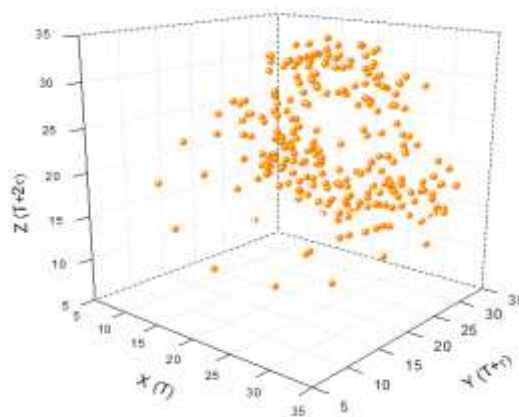


Figura 73. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003.

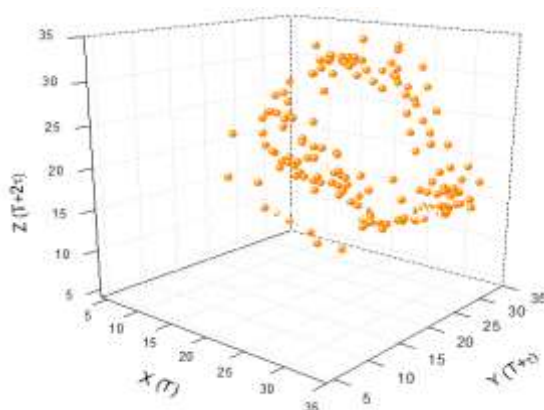


Figura 74. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003 (faixa 2 a 2,5 kPa).

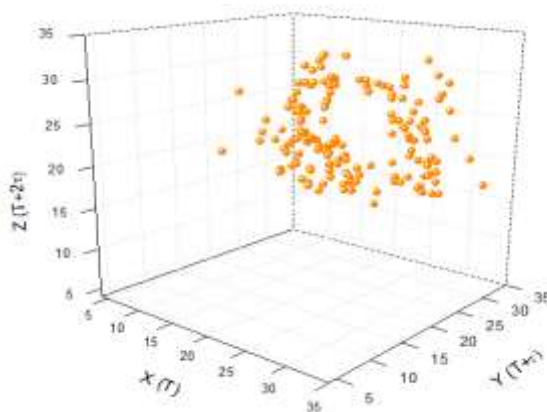


Figura 75. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003 (faixa 2,5 a 3 kPa).

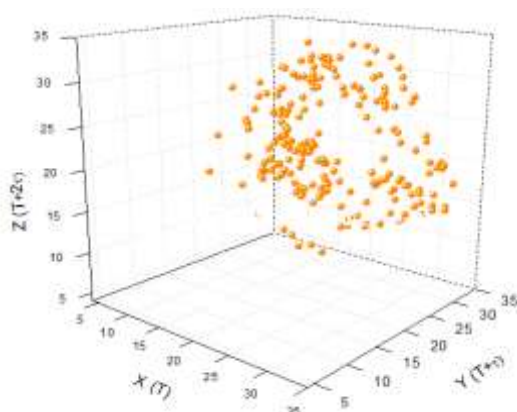


Figura 76. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003 (faixa 2 a 3 kPa).

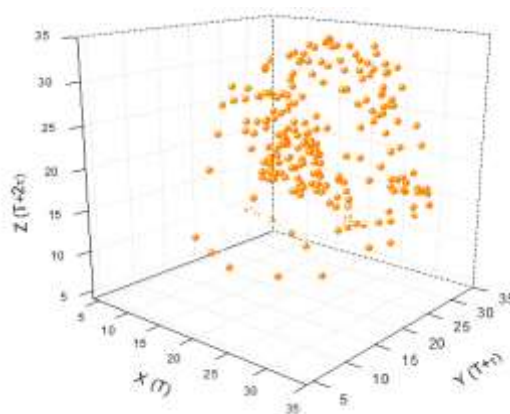


Figura 77. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003 (faixa 0 a 3 kPa).

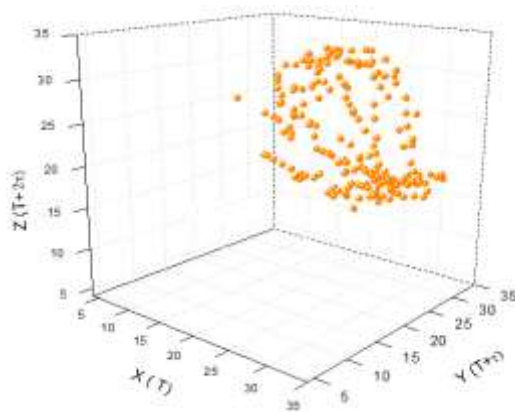


Figura 78. Atrator reconstruído a partir dos dados do mês de setembro de 2003 (faixa 3 a 6 kPa).

Percebeu-se que a presença de umidade do ar faz com que o atrator se diferencie, dependendo da faixa da umidade em que se encontra, obtendo assim uma mudança não aleatória. Aparentemente, com o aumento da umidade, o atrator experimenta uma espécie de contração (uma vez que o seu volume, na faixa 3 a 6 kPa, é menor que nas demais), sem, contudo, se deslocar no espaço de fase. Uma explicação possível para isso corresponde ao alto valor do calor específico da água. Com maior concentração de vapor d'água no ar, o calor latente inibe possíveis variações na temperatura, fazendo com que os dados fiquem mais concentrados numa determinada região do espaço de fase.

4.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DA PESQUISA

Para observar melhor o perfil dos atratores, foi calculada a média horária dos dados de temperatura do ar para os períodos analisados nesse trabalho. Refazendo a reconstrução do espaço de fase seguindo a mesma metodologia que se adotou anteriormente, mas agora se consideram apenas as médias horárias. Assim, obtiveram-se as Figuras de 79 a 107, separando-os em período seco, período chuvoso, período chuvoso-seco e período seco-chuvoso.

4.4.1. Período Seco dos anos de 2001, 2002, 2003 e 2007.

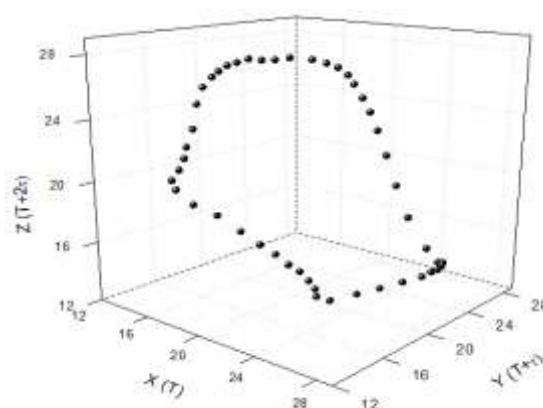


Figura 79. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de junho de 2001.

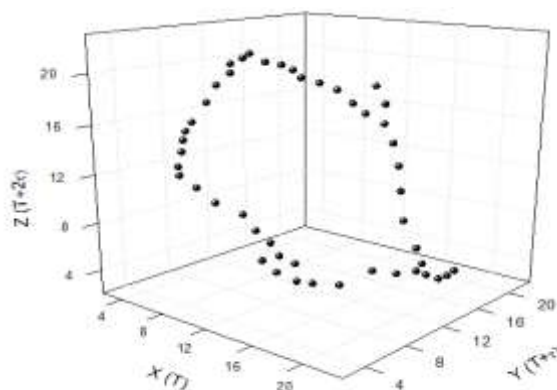


Figura 80. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de agosto de 2001.

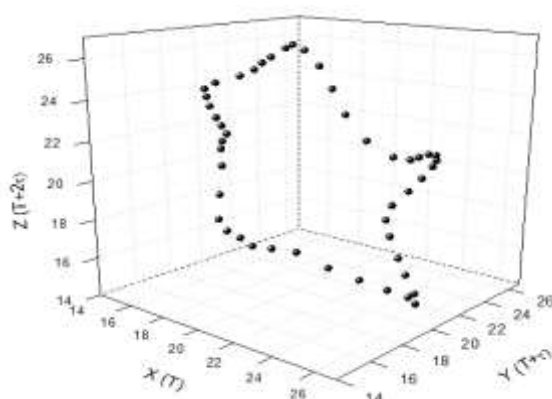


Figura 81. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de junho de 2002.

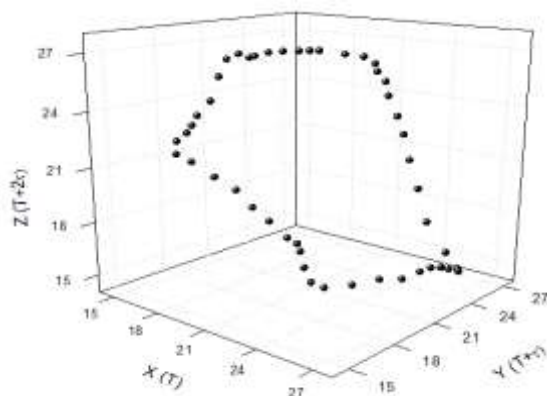


Figura 82. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de julho de 2002.

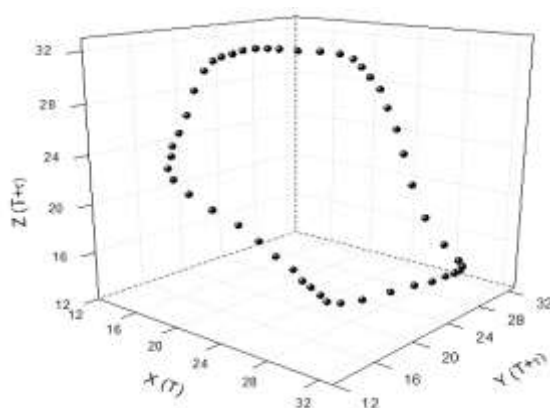


Figura 83. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de agosto de 2002

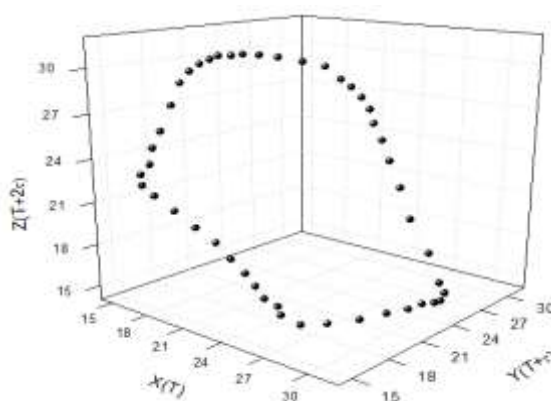


Figura 84. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de agosto de 2003.

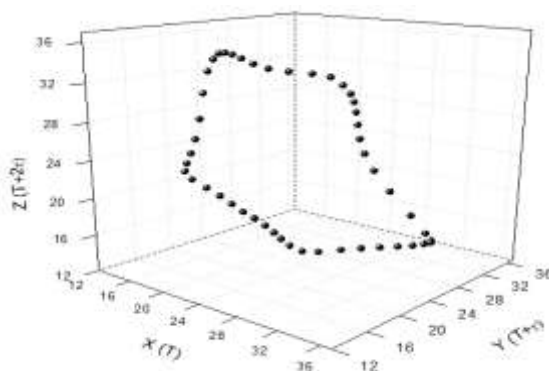


Figura 85. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de julho de 2007.

Em um todo é possível observar um ciclo fechado nesses meses que representam o período seco, percebe-se que nos meses junho de 2002 e julho de 2007 os atratores reconstruídos possuem um formato que se assemelha a uma estrela.

4.4.2. Período Chuvoso dos anos de 2001, 2002, 2003 e 2007.

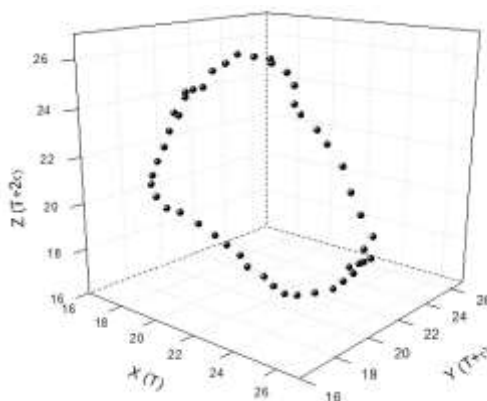


Figura 86. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de fevereiro de 2001.

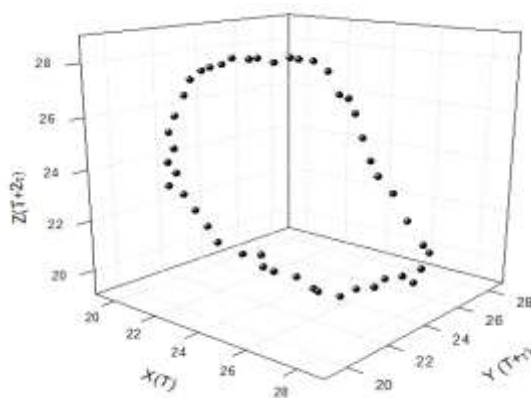


Figura 87. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de dezembro de 2002.

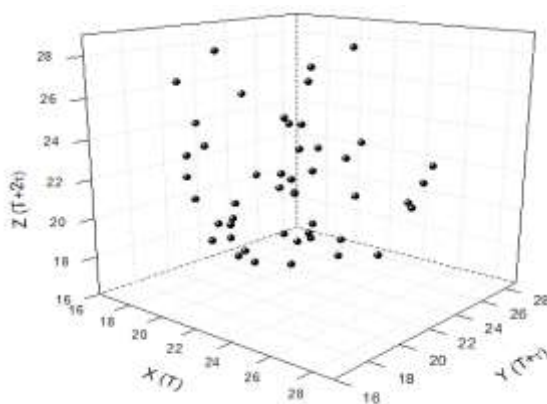


Figura 88. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de janeiro de 2003.

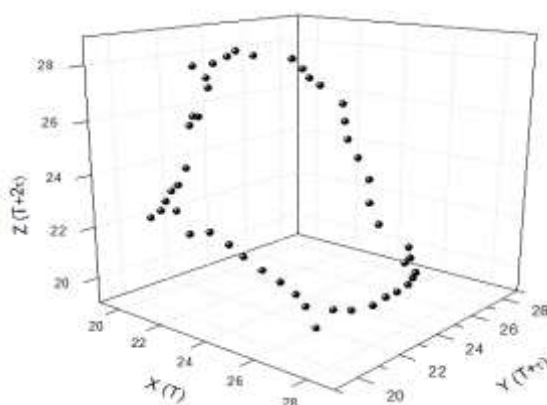


Figura 89. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de fevereiro de 2003.

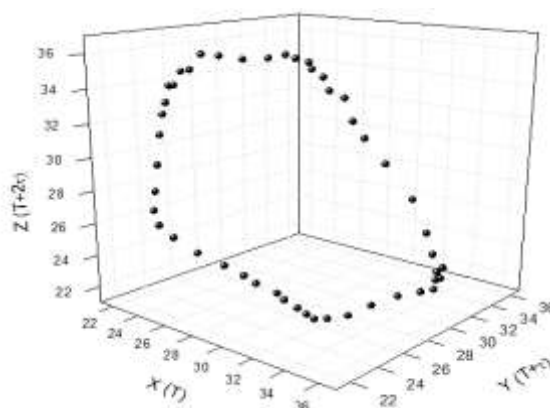


Figura 90. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de janeiro de 2007.

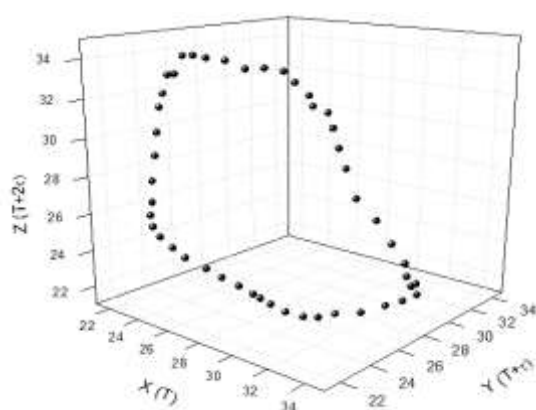


Figura 91. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de fevereiro de 2007.

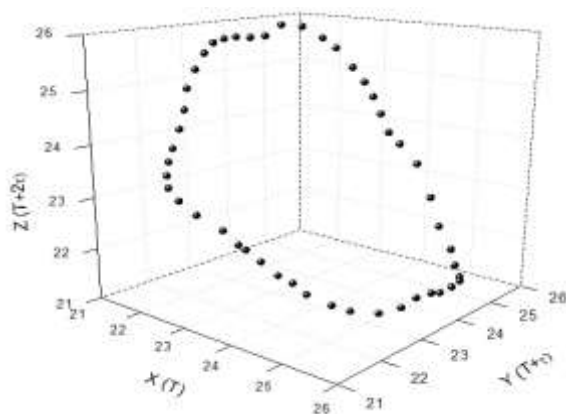


Figura 92. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de dezembro de 2007.

Considerando que esses meses representem o período chuvoso, nota-se a formação de um ciclo com linha suave, sendo significativo, exceto em janeiro de 2003 onde os pontos estão todos dispersos.

4.4.3. Período Chuvoso-Seco dos anos de 2001, 2002, 2003 e 2007.

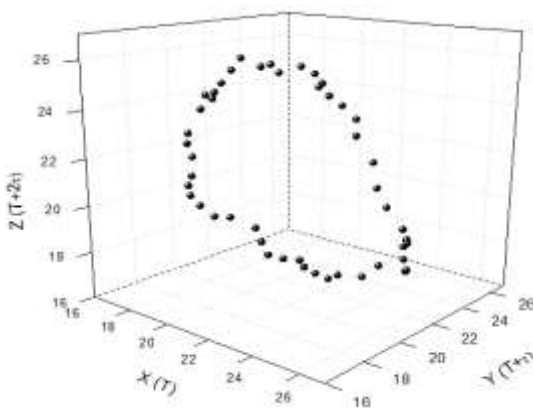


Figura 93. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de março de 2001.

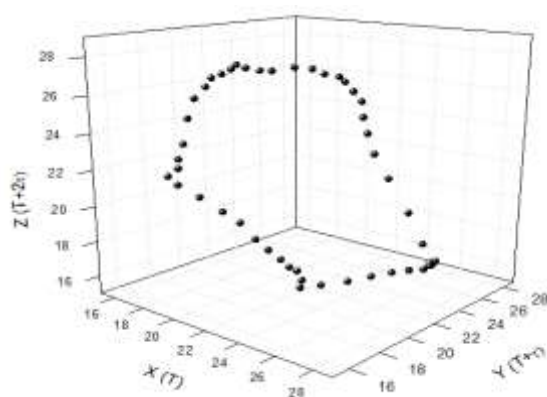


Figura 94. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de abril de 2001.

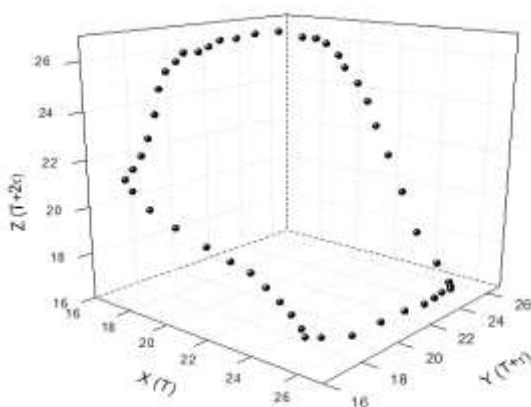


Figura 95. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de maio de 2001.

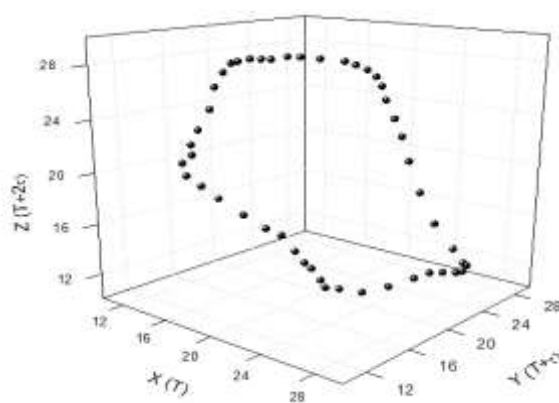


Figura 96. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de maio de 2002.

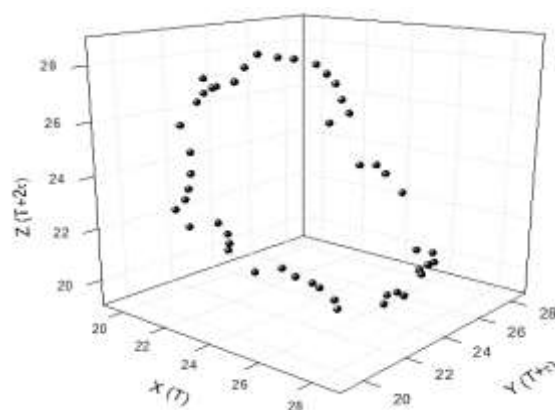


Figura 97. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de março de 2003.

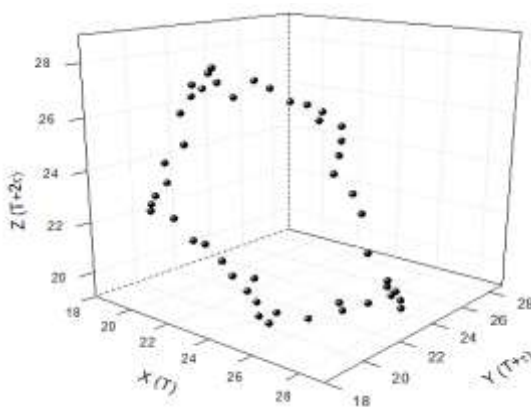


Figura 98. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de maio de 2003.

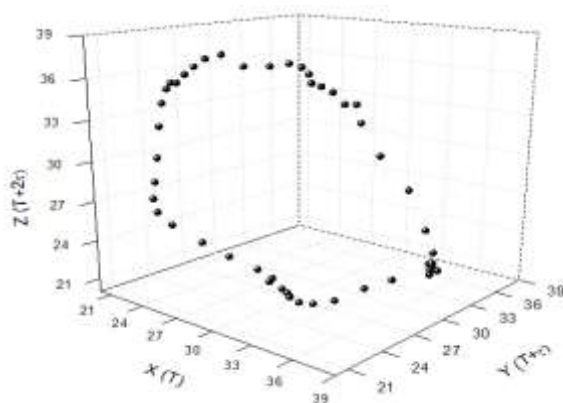


Figura 99. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de março de 2007.

Constatou-se que os atratores reconstruídos no período chuvoso-seco possuem a linha fechada e bem definida, percebe-se que o mês de maio de 2003 o atrator tem um formato de uma estrela.

4.4.4. Período Seco-Chuvoso dos anos de 2002, 2003 e 2007.

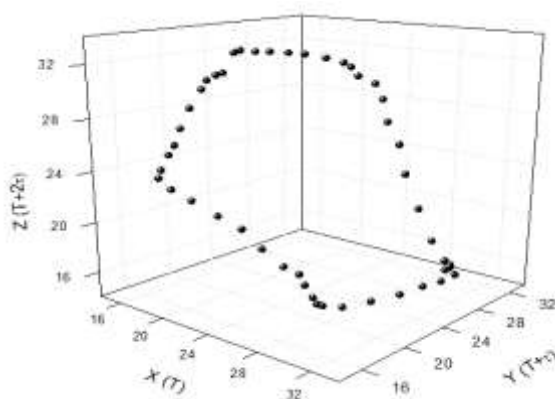


Figura 100. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de setembro de 2002.

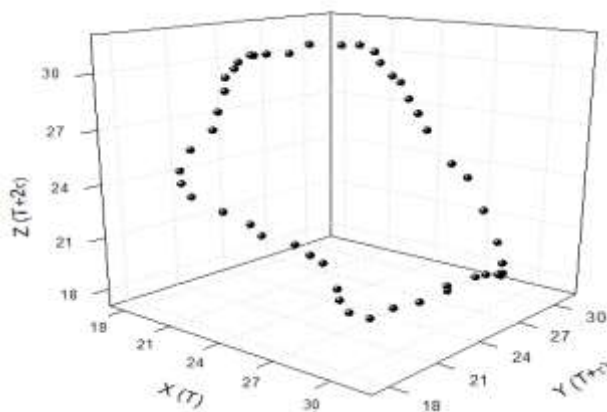


Figura 101. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de outubro de 2002.

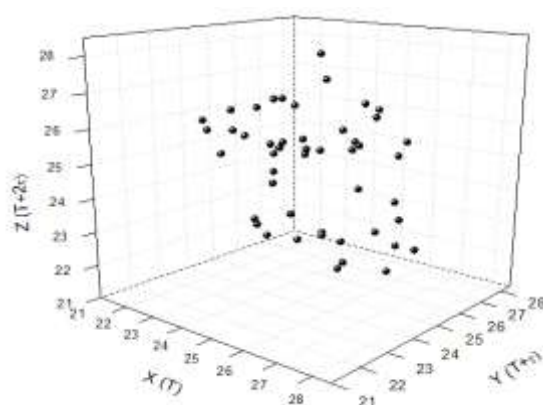


Figura 102. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de novembro de 2002.

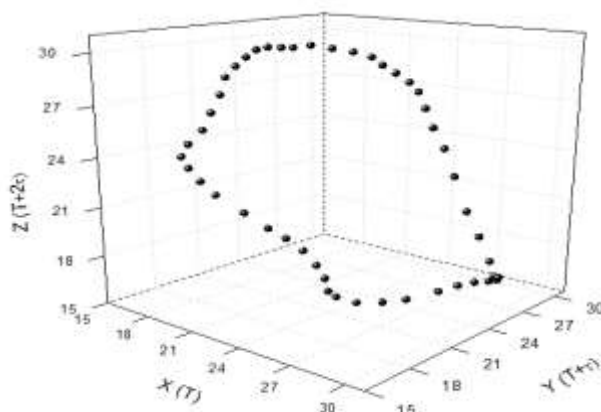


Figura 103. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de setembro de 2003.

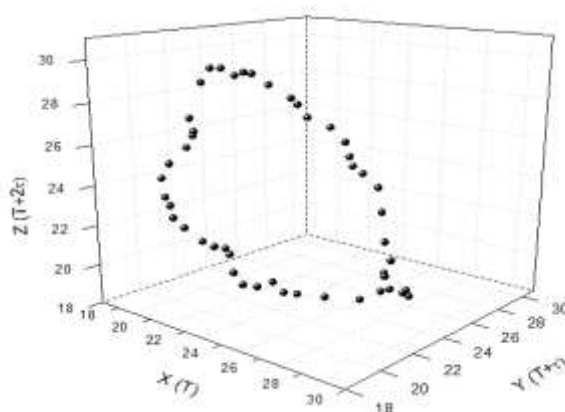


Figura 104. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de outubro de 2003.

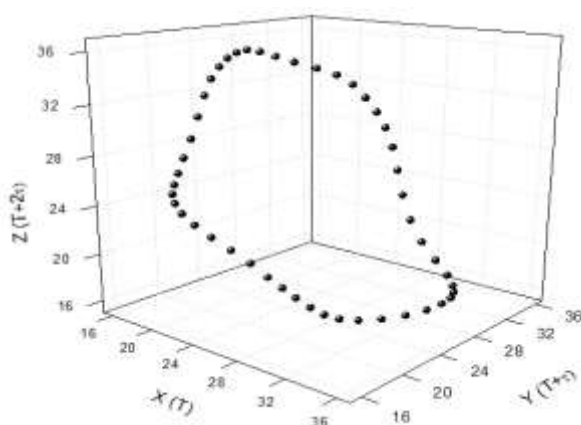


Figura 105. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de setembro de 2007.

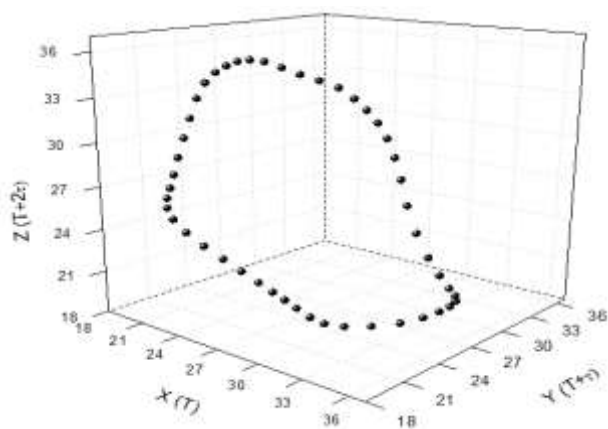


Figura 106. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de outubro de 2007.

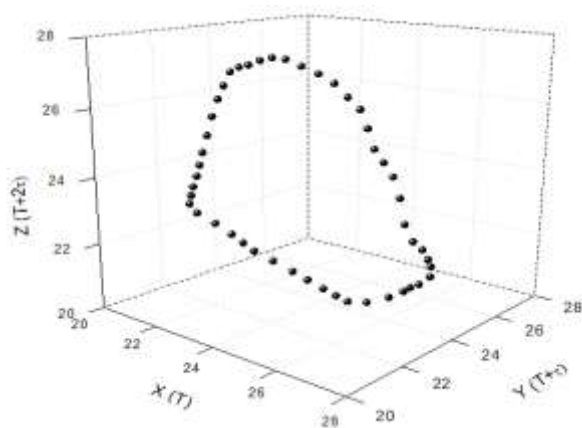


Figura 107. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de novembro de 2007.

Os atratores reconstruídos do período seco-chuvoso possuem um formato definido exceto o mês de novembro 2002 não houve formação do ciclo.

Fica evidente, na maioria dos meses, que a temperatura média horária possui um comportamento bastante regular. Isso pode ser concluído, pois se observa uma linha suave, sem desvios significativos e, nesses meses, que são a maioria, a temperatura média parece ser representativa de um processo regular que regula o perfil da temperatura.

Observa-se um ciclo que é uma linha fechada que forma um ciclo, exceto nos meses de janeiro 2003 e novembro de 2002, que são os meses em que houve muita chuva, dificultando a medição do aparelho ou outros problemas técnicos em relação ao seu funcionamento. A maioria dos meses tem perfil semelhante observado em dezembro de 2002, embora alguns deles apresentem um contorno um pouco mais complexo como junho de 2002, maio de 2003 e julho de 2007 próximos ao um perfil de uma estrela. Nessa análise, observou-se uma tendência em alguns meses de chuva ser menos regular que nos meses de seca.

4.4.5. Análise Quantitativa do Coeficiente de Dispersão

A partir da Tabela 1, construiu-se a Figura 107 e verifica-se que os pontos nos quais correspondem ao valor zero do coeficiente de dispersão não devem ser considerados por representarem os meses que não houve dados.

Tabela 1. Nível de significância para valores dos anos de 2001, 2002, 2003 e 2007.

Meses	Mês Equivalente	Valor Qui- Quadrado reduzido	Qui- Quadrado reduzido* 45
1/2/2001	2	0.2731	12.2888
1/3/2001	3	0.8907	40.0804
1/4/2001	4	0.3278	14.7508
1/5/2001	5	1.216	54.7194
1/6/2001	6	0.6661	29.973
1/8/2001	8	0.7597	34.1864
1/5/2002	5	0.7707	34.6813
1/6/2002	6	0.4414	19.8628
1/7/2002	7	0.4661	20.9738
1/8/2002	8	0.4653	20.9373
1/9/2002	9	0.7162	32.2305
1/10/2002	10	1.8757	84.4054
1/11/2002	11	0.4528	20.3752
1/12/2002	12	0.6773	30.4779
1/1/2003	1	3.5359	159.1144
1/2/2003	2	0.4338	19.5216
1/3/2003	3	0.7839	35.2758
1/5/2003	5	3.7742	169.8382
1/8/2003	8	0.3329	14.9799
1/9/2003	9	0.4442	19.9891
1/10/2003	10	1.4122	63.55
1/1/2007	1	1.7144	77.1477
1/2/2007	2	0.6	27.0013
1/3/2007	3	2.7344	123.0483
1/7/2007	7	0.5459	24.5648
1/9/2007	9	0.5538	24.9206
1/10/2007	10	0.6111	27.4979
1/11/2007	11	1.0664	47.9861
1/12/2007	12	0.2213	9.9593

O valor 1 é o valor que se espera quando se tem uma média horária representativa do todo. Assim encontrou-se o valor entre 0 a 1,5 em que se tem a média horária representativa do todo e, dessa forma regular, exceto os meses de novembro de 2002 (0,4) apresentando uma dispersão. Notou-se que os valores acima de 1,5 correspondem a atratores reconstruídos a partir de dados da média horária que possuem um formato semelhante a uma estrela, sendo irregular. Observou-se que os meses de janeiro e março de 2007, apresentam respectivamente valores de 1,7 e 2,7 apresentando-se uma forma regular.

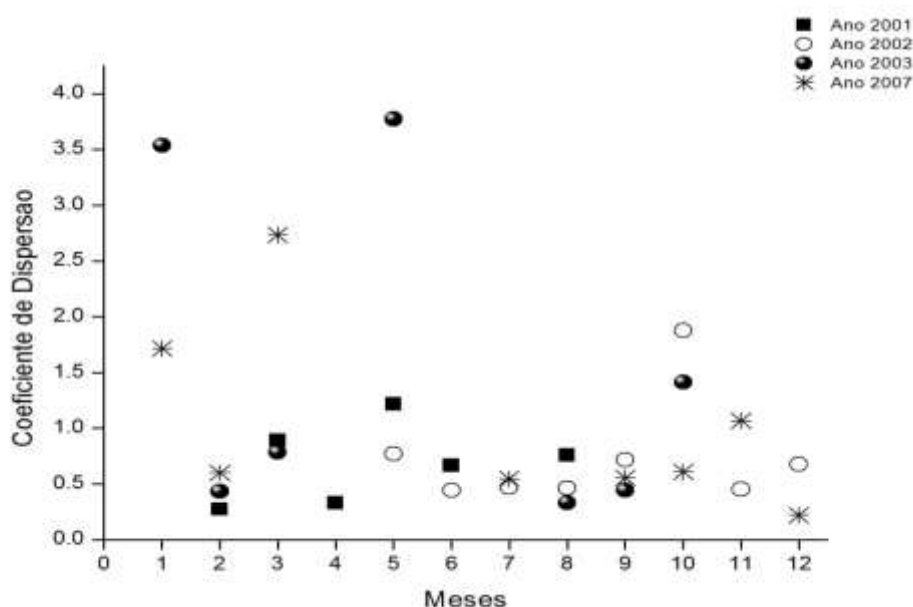


Figura 108. Gráfico de Nível de Significância.

Os pontos que correspondem aos valores acima 1,5 são inaceitáveis considerando o teste do Qui- Quadrado. Além disso, não se pode aceitar que a média horária seja representativa dos valores reais da temperatura. Desse modo os meses que correspondem a esses valores são: outubro de 2002, janeiro e maio de 2003, janeiro e março de 2007.

Portanto os pontos que correspondem a valores abaixo de 1,5 são aceitáveis considerando o teste do Qui-Quadrado, sendo assim, pode-se aceitar que a média horária seja representativa dos valores reais da temperatura e são relativas aos meses

de fevereiro, março, abril, maio, junho e agosto de 2001; maio, junho, julho, agosto, setembro, novembro e dezembro de 2002, fevereiro, março, agosto, outubro e setembro de 2003; fevereiro, julho, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2007. Em geral, os meses em que a média horária não é representativa correspondem ao período de chuvas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analizando os resultados obtidos pela reconstrução de atratores e pela análise estatística dos dados de temperatura, pode-se inferir que essa investigação foi capaz de fornecer informações importantes da variável microclimatológica estudada.

Dessa maneira, pela análise dos resultados dos anos de 2001, 2002, 2003 e 2007, os atratores reconstruídos a partir da série temporal dos meses que correspondem ao período seco (junho, julho e agosto) compreendem um ciclo que se obteve um melhor padrão quando comparados aos meses correspondentes ao período chuvoso (dezembro, janeiro e fevereiro).

Averiguou-se que o efeito da frente fria é o deslocamento do ciclo no espaço de fase, pois com a diminuição da temperatura média, o ciclo passa a se dar em outra região do espaço de fase, que correspondem a valores menores da temperatura. A presença de umidade do ar faz com que o atrator se diferencie dependendo da faixa da umidade em que se encontra com maior concentração de vapor d'água no ar, o calor latente inibe possíveis variações na temperatura, fazendo com os dados fiquem mais concentrados numa determinada região do espaço de fase.

Observou-se um ciclo de linha fechada exceto nos meses de novembro de 2002 e janeiro de 2003, sendo que na maioria dos meses, a temperatura média horária possuiu um padrão bastante regular. O coeficiente de dispersão esperado é próximo ou igual a 1, logo encontrou-se o valor entre 0 a 1,5 em que se tem a média horária representativa do todo e, dessa forma regular. Os valores acima de 1,5

correspondem a atratores reconstruídos a partir de dados da média horária que possuem um formato semelhante a uma estrela, sendo um pouco irregular.

Outra consideração importante está relacionada ao fato de que os ciclos constituídos pelas médias horárias geralmente têm a forma de uma estrela de cinco pontas. Esse formato se trata de um padrão bastante recorrente em uma diversidade de fenômenos estudados pela Teoria da Complexidade (Nicolis and Prigogine, 1998). Por exemplo, nas formas de fluxos que emergem em fluidos em rotação (um exemplo bastante interessante se refere à aparência do pólo norte de Saturno – um padrão, aliás, semelhante aos das figuras 79 a 107).

O fato da média horária se comportar no espaço de fase de tempos defasados como uma linha contínua, suave e fechada sugere fortemente que a temperatura pode ser modelada com um sistema de equações diferenciais de primeira ordem. Adicionalmente, o fato de que a média horária se apresenta como uma curva fechada que pode ser contida num volume de relativa baixa espessura sugere que um conjunto de duas equações diferenciais pode oferecer uma aproximação que pode descrever adequadamente o comportamento dessa variável, ou, em outras palavras, o fenômeno é de baixa dimensionalidade. Tal resultado é compatível com medidas diretas da dimensionalidade do atrator para as temperaturas de Sinop (de Paulo et al., 2014).

Dessa maneira, pode-se entender como a temperatura varia no sistema nos parâmetros estudados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1. CITADAS

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

ARRUDA, J. C. **Balanço de energia em uma área de floresta tropical de transição na região de Sinop em Mato Grosso, entre agosto de 1999 a maio de 2003.** Cuiabá, 2004. 75p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos.** Ed.Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2007.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** 8ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p.332, 2002 (Trad. Maria Juraci Zani dos Santos).

BASTOS, T. X. **Sistema de Produção da Pimenteira-do-reino.** Sistemas de Produção, EMBRAPA. Versão Eletrônica Dez, 2005.

CAMPANHARO, A. L. S. de O. **ANÁLISE DE SINAIS TURBULENTOS NA COPA DA FLORESTA AMAZÔNICA: EM BUSCA DE COMPORTAMENTO CAÓTICO E ESTRUTURAS COERENTES.** São José dos Campos, 2006. 122p. Dissertação (Mestrado) – Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

CAMPANHARO, A.S.L.O.; RAMOS, F.M.; MACAU, E.E.N.; ROSA, R.R.;BOLZAN, M.J.A.; SÁ, L.D.A. **Searching chaos and coherent structures in the atmospheric turbulence above the Amazon forest.** Phil. Trans. R. Soc. A, v.366, p. 579-589, 2007.

CAPISTRANO, V. B. **Análise de Séries Temporais de Variáveis Microclimatológicas Medidas em Sinop-MT Utilizando a Teoria da Complexidade**. Cuiabá, 2007. 62p. Dissertação (Mestrado) – Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

CHRISTOFOLETTI, E.B A. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1ª ed. São Paulo, 236p, 1999

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

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 the Royal Meteorological Society**, v. 155, p. 79 – 92, 1989.

GLEICK, J. **Caos: A criação de uma nova ciência**. 3.ed. Rio de Janeiro: Campus, p.310, 1990

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

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

HOFFMANN, R. **Estatística para economista**, 3ª ed, revista e ampliada, p. 197.

LORENZ, E. **Deterministic nonperiodic flow**. Journal of the Atmospheric Sciences, v. 20, p. 130-141, 1963.

MATTOS, S.H.V. L de; Perez Filho, A./ **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 5.Nº 1 p. 11-18, 2004

MENDES, R.V. **Medidas de Complexidade e Auto-Organização**, Universidade Técnica de Lisboa, p. 3 – 14, 1998.

MONTEIRO, L. H. A. **Sistemas Dinâmicos**. 2. ed. São Paulo, editora Livraria da Física, p. 626, 2002

MOREIRA, I. de C. Sistemas Caóticos em Física – Uma Introdução. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 15, p. 1-19, 1993.

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

NICOLIS, C. e NICOLIS, G. Is there a climatic attractor? **Nature**. v. 311, p. 529–532, 1984.

NICOLIS, G. e PRIGOGINE, I. **Exploring Complexity** – An Introduction. 5ª edição. New York, U.S.A.: W. H. Freeman and Company, p.312, 1998

NICOLIS, G. & Prigogine, I. (1989), **Exploring complexity**, Freeman.

NUSSENZVEIG, H. M. **Complexidade e caos**. ed. 2. Rio de Janeiro: editora UFRJ, p.276, 2003.

OLIVEIRA, G.S, NETO, G.D, JUNIOR, H.C, FIGUEIREDO, J.C, SANCHES, M.B, **Meteorologia e Ciências Ambientais**. Curso Astronáutica e Ciências de Espaço 2007.

PAIVA NETO, A. **Visualização Robusta de Atratores Estranhos**. Rio de Janeiro, 2004. 45p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada.

PALÚ, 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**. Cuiabá, 2008. 48p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física – Universidade Federal de Mato Grosso.

DE PAULO, S., DE PAULO, I.J.C., DE DECKER, Y. **Reconstructing the micrometeorological dynamics of the southern Amazonian transitional Forest**. Submedido a *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2014.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia. Fundamentos e Aplicações Práticas**. 1ª ed. Guaíba-RS: Livraria e Editora Agropecuária, p.478, 2002

PINTO, R. M. A. **Análise de Séries Temporais Através de Representações do Espaço de Fases**. Porto (PORTUGAL), 2009. 75p. Dissertação (Mestrado) - Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

PRADO, M.F. **Modelagem Primária da Temperatura do Ar em uma Floresta de Transição Amazônia Cerrado no Norte de Mato Grosso**. Cuiabá, 2011. 64p. Dissertação (Mestrado) - Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso.

PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S., NOGUEIRA, J. S. ; CAMPELO JR, J. H., NUNES, P. C.; SANCHES, L.; COUTO, E. G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, J. L.; MIRANDA, E. J.; PRIANTE, P. C.; PEREIRA, L. C.; BIUDES, M. S.; FRITZEN, C. L.; LACERDA, M.; SULI, G. S.; SHIRAIWA, S.; 113 SILVEIRA, M.; VOURLITIS, G. L. **Comparison of the mass and energy Exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon basin during the wet-dry season transition**. Global Change Biology, Urbana – IL – USA, v. 10, p. 863-876, 2004.

PRIGOGINE, I. (1980), **From being to becoming**, W.H. Freeman and Company.

SAVI, M. A. **Caos em Sistemas Mecânicos**. Série Arquimedes – v. 1, p.1-27, 2002. Ed. J.M. Balthazar, M. Boa ventura, G.N. Silva, M. Tsuchida. SBMAC – Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional.

SAVI, M.A. **Caos e Complexidade: O Filme da Vida**. Almanaque Reflexivo: Uma Visão Cognitiva de Mundo a Partir do que Sabemos Sobre Neurônios e Linfócitos. Editora Fiocruz, 2007.

SOUZA, E.B; SAMPAIO,G; CANDIDO,L.A; ROCHA, E.J.P; ALVES, J.M.B.; CARDOSO; M.F.; SOUZA,A.M.L.; COUTINHO,M.M.; CUNHA, A.C., et al. **Mudanças Ambientais de Curto e longo prazo: projeções, reversibilidade e**

atribuição. Cap 9, v. 1. In: Primeiro Relatório de avaliação nacional- Base científica das mudanças climáticas, 2012.

TAKENS, F. **Detecting strange attractors in turbulence**. In Dynamical systems and turbulence (eds D. A. Rand & L. S. Young). Lecture notes in mathematics, nº. 898, p. 366–381. Berlin, Germany: Springer, 1981.

TORRES, F.T.P e MACHADO, P.J.O, **Introdução à Climatologia**. São Paulo: Cengage Learning 2011, Câmara Brasileira do Livro, SP 2011, Brasil. Impresso no Brasil.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo: Nobel, 1984.

VAREJÃO, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital 2. Recife, p.449, 2006.

VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M.; NOGUEIRA, J. S. de; CASEIRO, F.; CAMPELO JR., J. H. **Seasonal variations in evapotranspiration of a transitional tropical Forest of Mato Grosso, Brazil**. Water Resources Research, v. 38, nº 6, p. 30-1; 30-11, 2002.

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

6.2. CONSULTADAS

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

GONÇALVES, M. R. P. **Determinação de Frequências Dominantes de Dados Micrometeorológicos Relacionados a Fenômenos naturais em Três**

Ecossistemas de Mato Grosso. Cuiabá, 2011. 120p. Tese (Doutorado) - Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso.

MARIANO, R, T, G. **Análise Espectral de Séries Temporais de Variáveis Micro-Climatológicas em uma Área de Ecótono Entre os Biomas Amazônia e cerrados no Norte.** Cuiabá, 2008. 83p. Dissertação (Mestrado) – Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

VIDAL, L. A. **Análise de Séries Meteorológicas de Altitude na Grande Cuiabá com Métodos da teoria da Complexidade.** Cuiabá, 2012. 78p. Tese (Doutorado) - Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso.