

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL**

MARIANA RODRIGUES MAGALHÃES

**PADRÕES ESPACIAIS E TEMPORAIS DA FENOLOGIA DE TRÊS ESPÉCIES
ARBÓREAS NA REGIÃO DO ALTO JEQUITINHONHA**

DIAMANTINA, MG - BRASIL

2013

MARIANA RODRIGUES MAGALHÃES

**PADRÕES ESPACIAIS E TEMPORAIS DA FENOLOGIA DE TRÊS ESPÉCIES
ARBÓREAS NA REGIÃO DO ALTO JEQUITINHONHA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, como pré-requisito para obtenção do grau de Mestre em Conservação e Restauração de Ecossistemas Florestais.

Orientador: Prof. Doutor Evandro Luiz Mendonça Machado.

DIAMANTINA, MG – BRASIL

2013

Ficha Catalográfica – Serviço de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecário Anderson César de Oliveira Silva, CRB6 – 2618.

M188p	<p>Magalhães, Mariana Rodrigues Padrões espaciais e temporais da fenologia de três espécies arbóreas na região do Alto Jequitinhonha / Mariana Rodrigues Magalhães. – Diamantina: UFVJM, 2013. 86 p.</p> <p>Orientador: Evandro Luiz Mendonça Machado</p> <p>Dissertação (Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.</p> <p>1. Inteligência Artificial. 2. Sazonalidade. 3. Correlação de Spearman. 4. Previsão de eventos fenológicos. I. Título II. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.</p> <p style="text-align: right;">CDD 631.5</p>
-------	---

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

PADRÕES ESPACIAIS E TEMPORAIS DA FENOLOGIA DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS NA REGIÃO DO ALTO JEQUITINHONHA

Mariana Rodrigues Magalhães

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Ciência Florestal, nível de
Mestrado, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Mestre.

APROVADO EM 26 / 07 / 2013

Prof.^a Rosângela Alves Tristão Borém – DCB

Prof.^a Anne Priscila Dias Gonzaga – UFVJM

Prof. Márcio Leles Romarco de Oliveira – UFVJM

Prof. Mayra Luiza Marques da Silva Binoti – UFVJM

Prof. Evandro Luiz Mendonça Machado – UFVJM
Presidente

DIAMANTINA

*À todos aqueles que contribuíram para a
realização deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade do Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Departamento de Engenharia Florestal e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal.

Ao Prof. Dr. Evandro Luiz Mendonça Machado, pelas oportunidades profissionais, confiança e paciência ao longo da graduação e mestrado.

A todos os professores que contribuíram para minha formação, com carinho especial ao Prof. Dr. Israel Marinho Pereira e a Prof(a) Dr(a) Maria José Hatem de Souza.

Aos colegas de Pós-Graduação em Ciência Florestal da UFVJM e aos companheiros de campo, em especial ao André Gianotti pela dedicação e ajuda em todo o processo na coleta dos meus dados.

Agradeço a Deus pelas oportunidades que tive, pelos anjos que colocou em minha vida e por estar sempre ao meu lado na superação de cada obstáculo.

Aos meus Pais, Ana Maria e Geraldo, pelo apoio, incentivo constante, amor incondicional e pela educação baseada na ética e valores humanos que me proporcionaram.

Aos meus Irmãos Isabela e Danilo pelo carinho, companheirismo e horas de diálogo planejando um futuro melhor para nossa família.

A toda minha família e amigos pelo incentivo e por sempre estarem ao meu lado. Em especial ao meu avô João Rodrigues da Silva pelos 95 anos de exemplo como pessoa, pelas horas de “prosa”, conselhos e apoio.

À Diamantina que me proporcionou conhecer pessoas tão especiais.

Os meus sinceros agradecimentos a todos que de alguma forma auxiliaram, direta ou indiretamente, para conclusão de mais esta etapa em minha vida.

*“Ninguém vale pelo que sabe, mas sim
pelo que faz com aquilo que sabe”.*

Leonardo Boff

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento de três espécies do Cerrado em três áreas distintas com base na relação com as condições meteorológicas e utilizar Redes Neurais Artificiais (RNAs) para prever a ocorrência de eventos fenológicos. As espécies *Caryocar brasiliense*, *Bowdichia virgilioides* e *Plathymenia reticulata* foram selecionadas devido ao seu potencial em recuperar áreas degradadas e multiprodutos. Os locais de estudo para a sazonalidade foram os municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) e para as RNAs foram DIA e ITA. Foram selecionados 12 indivíduos de cada espécie em cada local. As visitas fenológicas foram realizadas quinzenalmente entre 2008 e 2011, sendo registradas as fenofases seguindo a escala de Fournier. Os dados meteorológicos foram fornecidos pelas Estações Climatológicas Principais de Diamantina e Itamarandiba. Para a relação entre as variáveis meteorológicas e eventos fenológicos utilizou-se correlações de Spearman (rs) e estatística circular para testar a ocorrência de sazonalidade. As fenofases referentes à folhagem e às fases reprodutivas foram quantificadas pelo do índice de atividade. Nas três áreas os eventos relacionados à folhagem e floração das três espécies apresentaram sincronia e as fenofases referentes à frutificação apresentaram sincronia para a *Bowdichia virgilioides* e *Plathymenia reticulata*, já o *Caryocar brasiliense* apresentou sincronia entre DIA e SGRP. A maioria dos eventos apresentaram sazonalidade pelo menos para um dos períodos estudados. As espécies apresentaram relação com as variáveis meteorológicas, sendo que os intervalos parciais apresentaram tendência diferente dos períodos totais demonstrando a necessidade de uma série histórica mais longa. Para a análise das RNAs, os dados referentes às fases reprodutivas foram processados para obtenção da estimativa atual e futura dos valores referentes à porcentagem dos eventos fenológicos reprodutivos. As redes apresentaram-se como um grande apoio no estudo da fenologia, uma vez que com um banco de dados menor que três anos os valores estimados foram muito próximos dos observados principalmente quando utilizada uma fenofase por rede. A estimativa futura indicou a possibilidade de previsão de eventos fenológicos possuindo apenas dados meteorológicos.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Sazonalidade; Correlação de Spearman; previsão de eventos fenológicos.

ABSTRACT

This study aimed to understand the behavior of three species of the Cerrado in three distinct areas based on the relationship between meteorological conditions and use Artificial Neural Networks (ANN) to predict the occurrence of phenological events. The species *Caryocar brasiliense*, *Bowdichia virgilioides* and *Plathymenia reticulata* were selected because of their potential to recover degraded areas and multiproducts. The study locations for seasonality were the cities of Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) and Itamarandiba (ITA) and for ANN were DIA and ITA. We selected 12 individuals of each species at each site. The phenological visits were every two weeks between 2008 and 2011 and the were registered phenophases following scale Fournier. Meteorological data were provided by Climatological Stations Main Diamantina and Itamarandiba. For the relationship between the meteorological variables and phenological events used Spearman correlations (r_s) and circular statistics to test the occurrence of seasonality. The stages refer to the foliage and the reproductive phases were quantified using the activity index. In the three areas the events related foliage and flowering of three species presented synchrony and phenophases related to fruiting presented synchrony for *Bowdichia virgilioides* and *Plathymenia reticulata*, already the *Caryocar brasiliense* presented synchrony between the DIA and SGRP. Most events presented seasonality in the at least one of the study periods. The species presented relationship with meteorological variables studied, and the partial ranges presented different tendency of total periods demonstrating the need for a longer time series. For the analysis of the ANN, the data relating to reproductive phases of the studied species were processed to obtain estimates of current and future values for the percentage of reproductive phenological events. The networks presented as a lot of support in the study of phenology, because with a database of less than three years, the estimated values were very close to those observed especially when used one phenophase by network. The estimated future indicated the possibility of predicting phenological events having only meteorological data.

Key-words: artificial intelligence; Seasonality; Spearman correlation; prediction phenological events.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO I - COMPORTAMENTO FENOLÓGICO DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS EM ÁREAS DO CERRADO E A CORRELAÇÃO COM VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

- Figura 01: Médias e totais quinzenais da precipitação em mm (■), temperatura mínima do ar em °C (☀), temperatura máxima do ar em °C (☁) e período da estação chuvosa (■) de janeiro de 2008 a março de 2011 para a região de Diamantina, MG. 28
- Figura 02: Fotoperíodo de janeiro de 2008 a março de 2011 para a região de Diamantina, MG, Sudeste do Brasil. 29
- Figura 03: Médias e totais quinzenais da precipitação em mm (■), temperatura mínima do ar em °C (☀), temperatura máxima do ar em °C (☁) e período da estação chuvosa (■) de janeiro de 2008 a março de 2011 para a região de Itamarandiba, MG. 29
- Figura 04: Fotoperíodo de janeiro de 2008 a março de 2011 para a região de Itamarandiba, MG, Sudeste do Brasil. 29
- Figura 5: Porcentagem de indivíduos que apresentaram as fenofases reprodutivas presença de botões florais (■), copa totalmente florida (■) e floração concluída (●), frutos imaturos (○), frutos maduros (▲) e dispersão (▲) da espécie *Caryocar brasiliense* nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, no período de dezembro de 2008 a março de 2011. 32
- Figura 6: Porcentagem de indivíduos que apresentaram as fenofases não-reprodutivas desfolha (■) e enfolhamento (■) da espécie *Caryocar brasiliense* nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, no período de dezembro de 2008 a março de 2011. 33

Figura 7: Porcentagem de indivíduos que apresentaram as fenofases reprodutivas presença de botões florais (■), copa totalmente florida (□) e floração concluída (●), frutos imaturos (○), frutos maduros (▲) e dispersão (◆) da espécie *Bowdichia virgilioides* nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, no período de dezembro de 2008 a março de 2011. 37

Figura 8: Porcentagem de indivíduos que apresentaram as fenofases não-reprodutivas desfolha (□) e enfolhamento (■) da espécie *Bowdichia virgilioides* nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, no período de dezembro de 2008 a março de 2011.38

Figura 9: Porcentagem de indivíduos que apresentaram as fenofases reprodutivas presença de botões florais (■), copa totalmente florida (□) e floração concluída (●), frutos imaturos (○), frutos maduros (▲) e dispersão (◆) da espécie *Plathymenia reticulata* nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, no período de dezembro de 2008 a março de 2011. 42

Figura 10: Porcentagem de indivíduos que apresentaram as fenofases não-reprodutivas desfolha (□) e enfolhamento (■) da espécie *Plathymenia reticulata* nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, no período de dezembro de 2008 a março de 2011. 43

CAPÍTULO II - UTILIZAÇÃO DE REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS NA PREDIÇÃO DE EVENTOS FENOLÓGICOS REPRODUTIVOS

Figura 1: Representação das entradas e saídas das RNAs (Segatto e Coury, 2008). Onde i_{Ax} , i_{Bx} e i_{Cx} são variáveis de entrada.62

Figura 2: Valores estimados (○) e observados (▲) do período atual para a Rede Neural Artificial 1 para as três espécies e duas áreas estudadas para todas as fenofases.68

Figura 3: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) do período atual para a Rede Neural Artificial 1 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase botões florais.	69
Figura 4: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) do período atual para a Rede Neural Artificial 2 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase botões florais.	69
Figura 5: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) do período atual para a Rede Neural Artificial 1 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase copa totalmente florida.	70
Figura 6: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) do período atual para a Rede Neural Artificial 3 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase copa totalmente florida.	70
Figura 7: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) do período atual para a Rede Neural Artificial 1 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase floração concluída.	71
Figura 8: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) do período atual para a Rede Neural Artificial 4 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase floração concluída.	71
Figura 9: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) do período atual para a Rede Neural Artificial 1 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase frutos novos.	72
Figura 10: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) do período atual para a Rede Neural Artificial 5 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase frutos novos.	72

Figura 11: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) do período atual para a Rede Neural Artificial 1 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase frutos maduros.	73
Figura 12: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) do período atual para a Rede Neural Artificial 6 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase frutos maduros.	73
Figura 13: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) do período atual para a Rede Neural Artificial 1 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase dispersão.	74
Figura 14: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) do período atual para a Rede Neural Artificial 7 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase dispersão.	74
Figura 15: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 8 para as três espécies e duas áreas estudadas para todas as fenofases.	75
Figura 16: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 8 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase botões florais.	76
Figura 17: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 9 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase botões florais.	76
Figura 18: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 8 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase copa totalmente florida.	77

Figura 19: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 10 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase copa totalmente florida.	77
Figura 20: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 8 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase floração concluída.	78
Figura 21: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 11 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase floração concluída.	78
Figura 22: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 8 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase frutos novos.	79
Figura 23: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 12 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase frutos novos.	79
Figura 24: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 8 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase frutos maduros.	80
Figura 25: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 13 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase frutos maduros.	80
Figura 26: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 8 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase dispersão.	81

Figura 27: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 14 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase dispersão.81

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I - COMPORTAMENTO FENOLÓGICO DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS EM ÁREAS DO CERRADO E A CORRELAÇÃO COM VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

Tabela 1: Correlações de Spearman entre oito fenofases do *Caryocar brasiliense* e elementos meteorológicos para intervalos anuais (24 observações) e o período total (58 observações) nos municípios de Diamantina (DIA) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais. Correlações na região cinza foram significativas, sobrescrito a significância do p-valor.34

Tabela 2: Correlações de Spearman entre oito fenofases da *Bowdichia virgilioides* e elementos meteorológicos para intervalos anuais (24 observações) e o período total (58 observações) nos municípios de Diamantina (DIA) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais. Correlações na região cinza foram significativas, sobrescrito a significância do p-valor. 39

Tabela 3: Correlações de Spearman entre oito fenofases da *Plathymenia reticulata* e elementos meteorológicos para intervalos anuais (24 observações) e o período total (58 observações) nos municípios de Diamantina (DIA) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais. Correlações na região cinza foram significativas, sobrescrito a significância do p-valor..... 44

Tabela 4: Análise estatística circular das oito fenofases do *Caryocar brasiliense* estudadas nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, nos anos de 2009 e 2010. Para valor estatisticamente não significativo com $p \geq 0,05$, não foi calculada a data média. 46

Tabela 5: Análise estatística circular das oito fenofases da *Bowdichia virgilioides* estudadas nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, nos anos de 2009 e 2010. Para valor estatisticamente não significativo com $p \geq 0,05$, não foi calculada a data média. 48

Tabela 6: Análise estatística circular das oito fenofases da *Plathymenia reticulata* estudadas nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, nos anos de 2009 e 2010. Para valor estatisticamente não significativo com $p \geq 0,05$, não foi calculada a data média.50

CAPÍTULO II - UTILIZAÇÃO DE REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS NA PREDIÇÃO DE EVENTOS FENOLÓGICOS REPRODUTIVOS

Tabela 1: Descrição das Redes Neurais Artificiais utilizadas e suas respectivas correlações.73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANN – ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

CAPES – COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR

DIA – DIAMANTINA

IEF – INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS

ITA – ITAMARANDIBA

RNAs – REDES NEURAS ARTIFICIAIS

SGRP – SÃO GONÇALO DO RIO PRETO

UFVJM – UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

INTRODUÇÃO GERAL

A fenologia estuda a ocorrência de eventos biológicos periódicos e as causas de sua ocorrência, em relação a fatores bióticos e abióticos, assim como a inter-relação entre fases caracterizadas por esses eventos (Lieth, 1974). A observação obtida de forma sistemática, reúne informações sobre o estabelecimento de espécies, o período de crescimento, o período de reprodução e a disponibilidade de recursos alimentares (Staggemeier *et al.*, 2007). Além disso, a fenologia é vista como um dos mais importantes bio-indicadores das mudanças climáticas, uma vez que as tendências podem fornecer informações temporais e espaciais consideráveis em relação às mudanças em curso (Galán *et al.*, 2005).

Com intuito de auxiliar no desenvolvimento socioeconômico da Região do Vale do Jequitinhonha em Minas Gerais, desenvolveu-se um projeto multidisciplinar cujo objeto foi desenvolver tecnologias para a produção sustentada de três espécies do cerrado (pequi – *Caryocar brasiliense*; sucupira preta – *Bowdichia virgilioides*; e vinhático do cerrado – *Plathymenia reticulata*), sendo consideradas espécies prioritárias no âmbito do programa de Desenvolvimento Tecnológico da Silvicultura visando o uso racional e de conservação dos recursos genéticos florestais do Estado de Minas Gerais.

Para atingir o objetivo foram elaborados estudos dessas espécies com estabelecimento de protocolos que permitiram o melhor aproveitamento de seu material genético, bem como exploração do potencial para a alimentação e demais usos, estabelecendo bases teóricas para a produção racional, com enfoque no estímulo ao combate às desigualdades sociais. Este projeto foi iniciado em 2008 (duração de dois anos) em parceria entre a Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Instituto Estadual de Florestas (IEF), Empresa Arcelor Mittal, Empresa SADA Bio-Energia e a Prefeitura Municipal de Diamantina – MG.

Parte dos dados coletados originou o presente estudo intitulado “Padrões espaciais e temporais da fenologia de três espécies arbóreas na região do Alto Jequitinhonha”, realizado nos municípios de Diamantina (Parque Estadual do Biribiri), Itamarandiba (Reserva Guapuruvú) e São Gonçalo do Rio Preto (Parque Estadual do Rio Preto) em Minas Gerais. Posteriormente os dados foram utilizados no projeto de dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

A presente dissertação foi estruturada em dois capítulos, de acordo com as normas de formatação de dissertações do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da UFVJM. O primeiro capítulo teve como objetivo estudar o comportamento fenológico e sazonal de três espécies do Cerrado (*Caryocar brasiliense*, *Bowdichia virgilioides*, *Plathymenia reticulata*) nos municípios de Diamantina, São Gonçalo do Rio Preto e Itamarandiba e a relação das espécies com as variáveis meteorológicas. Já o segundo, teve como objetivo utilizar a RNA com o intuito de estimar o evento na quinzena atual e prever a ocorrência de padrões fenológicos, ambos utilizando como base as variáveis meteorológicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GALÁN, C.; GARCÍA-MOZO, H.; VÁZQUEZ, L.; RUÍZ, L.; DÍAZ DE LA GUARDIA, C.; TRIGO, M. Heat requirement for the onset of the *Olea europaea* L. pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change. **International Journal of Biometeorology**, 49:184–188. 2005.

LIETH, H. Introduction to phenology and the modeling of seasonality. In Phenology and seasonality modeling (H. Lieth, ed.). **Spring Verlag**, Berlin, p.3-19. 1974.

STAGGEMEIER, V.G.; MORELLATO, L.P.C. and GALETTI, M. Fenologia reprodutiva de Myrtaceae em uma ilha continental de Floresta Atlântica. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 423-425 jul. 2007.

SUMÁRIO

RESUMO	07
ABSTRACT	08
LISTA DE FIGURAS	09
LISTA DE TABELAS	15
INTRODUÇÃO GERAL	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

CAPÍTULO I - COMPORTAMENTO FENOLÓGICO DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS EM ÁREAS DO CERRADO E A CORRELAÇÃO COM VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

RESUMO	21
ABSTRACT	22
1 Introdução	23
2 Material e Métodos	24
3 Resultados e Discussão	27
4 Conclusão	51
5 Referências Bibliográficas	51

CAPÍTULO II - UTILIZAÇÃO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA PREDIÇÃO DE EVENTOS FENOLÓGICOS REPRODUTIVOS

RESUMO	57
ABSTRACT	58
1 Introdução	59
2 Material e Métodos	59
3 Resultados e Discussão	63
4 Conclusão	82
5 Referências Bibliográficas	82

CONCLUSÃO GERAL	86
-----------------------	----

CAPÍTULO I - COMPORTAMENTO FENOLÓGICO DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS EM ÁREAS DO CERRADO E A CORRELAÇÃO COM VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

RESUMO: O Cerrado mostra-se como um ambiente não apenas rico em espécies e endemismos, mas sim pródigo em uma vasta gama de respostas adaptativas aos estresses sazonais. O fato da variação das espécies com relação à sensibilidade a fatores ambientais poderia explicar a divergência dos padrões fenológicos. O objetivo do trabalho foi estudar o comportamento fenológico e sazonal de três espécies do Cerrado nos municípios de Diamantina, São Gonçalo do Rio Preto e Itamarandiba e a relação das espécies com as variáveis meteorológicas. As espécies *Caryocar brasiliense*, *Bowdichia virgilioides* e *Plathymenia reticulata* foram selecionadas devido ao seu potencial em recuperar áreas degradadas e uso de multiprodutos (madeireiros e não madeireiros). Foram selecionadas áreas de cerrado em três municípios no Alto Jequitinhonha (Diamantina, São Gonçalo do Rio Preto e Itamarandiba) e 12 indivíduos de cada espécie, amostrados aleatoriamente, em cada uma das três áreas. As visitas fenológicas foram quinzenais entre dezembro de 2008 e fevereiro de 2011, e nestas foram registradas as fenofases seguindo a escala de Fournier. Foram registradas fenofases referentes à folhagem, floração, frutificação e dispersão, quantificadas através do índice de atividade. Os dados meteorológicos de precipitação e temperatura foram fornecidos pelas Estações Climatológicas Principais de Diamantina e Itamarandiba. As variáveis climáticas foram relacionadas aos eventos fenológicos por meio de correlações de Spearman (r_s) para intervalos anuais e período total de observação. Foi utilizada a estatística circular para testar a ocorrência de sazonalidade nas fenofases amostradas. A maioria dos eventos apresentaram sazonalidade. Os eventos relacionados à folhagem e floração das três espécies apresentaram sincronia entre as três áreas. As fenofases referentes à frutificação apresentaram sincronia para a *Bowdichia virgilioides* e *Plathymenia reticulata* nas três áreas. A frutificação do *Caryocar brasiliense* apresentou sincronia entre Diamantina e São Gonçalo do Rio Preto. As espécies apresentaram relação com as variáveis meteorológicas estudadas, sendo que os intervalos parciais apresentaram tendência diferente dos períodos totais demonstrando a necessidade de um período de observação mais longo.

PALAVRAS-CHAVE: correlação de Spearman; análise circular; padrão fenológico; variáveis climáticas.

ABSTRACT: The Cerrado is shown as an environment not only rich in species and endemism, but prodigious in a wide range of adaptive responses to seasonal stresses. The fact of variation with the relation to sensitivity to environmental factors would explain the divergence of phenological patterns. The objective was to study the seasonal phenology and three species of the Cerrado in the cities of Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) and Itamarandiba (ITA) and the relationship between the species and meteorological variables. The species *Caryocar brasiliense*, *Bowdichia virgilioides* and *Plathymenia reticulata* were selected because of their potential to recover degraded areas and use of multiproducts. Savannah areas were selected in three cities in the High Jequitinhonha (DIA, SGRP and ITA) and 12 individuals of each species, sampled randomly, in each of the three areas. The phenological visits were every two weeks between December 2008 and February 2011, and during these visits the phenophases were registered following the scale of Fournier. Phenophases were registered relating to the foliage, flowering, fruiting and dispersal, quantified by calculating the activity index. The meteorological data were provided by the main climatological stations of DIA and ITA. The climatic variables were related to phenological events through Spearman correlations (r_s) to annual intervals and total observation time. We used circular statistics to test the occurrence of seasonality in sampled phenophases. Most events presented seasonality. Events related to the foliage and flowering of three species presented synchrony between the three areas. The phenophases related to fruiting presented synchrony for *Bowdichia virgilioides* and *Plathymenia reticulata* in the three areas. The fruiting of the *Caryocar brasiliense* presented synchrony between the DIA and SGRP. The species presented relation with the studied meteorological variables, the partial ranges presented different trend to total periods demonstrating the need for a most longer temporal series.

KEYWORDS: Spearman correlation; circular analysis; phenological pattern; climatic variables; Savannah.

1 INTRODUÇÃO

Entre as formações savânicas do mundo, o Cerrado se destaca como um dos grandes centros de biodiversidade, com uma flora diversificada e rica em espécies endêmicas (Palhares *et al.*, 2010). Dentre os modelos teóricos que tentam explicar a dinâmica fitofisionômica do Cerrado, a disponibilidade de água no solo desponta como a principal variável (Schulze, 1986). Ainda de acordo com o autor, a disponibilidade de água é o fator importante para a distribuição da vegetação em escala regional, analogamente ao que se observa em nível mundial.

A aparente correlação entre atividade fenológica e disponibilidade de água sugere que a seca sazonal, atuando como um fator limitante para o crescimento, seja um dos principais fatores ambientais determinantes dos padrões fenológicos (Bulhão e Figueiredo, 2002). As plantas adultas possuem um sistema radicular mais extenso e que, em muitos casos, penetra nas camadas mais profundas do solo. Essas, por permanecerem úmidas ao longo do ano, asseguram uma fonte de água estável para as plantas, minimizando os efeitos do déficit hídrico sazonal (Nardoto *et al.*, 1998).

O Cerrado mostra-se como um ambiente não apenas rico em espécies e endemismos, mas sim pródigo em uma vasta gama de respostas adaptativas aos estresses sazonais (Palhares *et al.*, 2010). Ainda segundo os autores, embora a água esteja disponível durante a estação seca nas camadas mais profundas do solo, as espécies lenhosas variam quanto a sinais de déficit hídrico: algumas espécies mostram nítidos sinais de estresse, enquanto outras mantêm o desempenho fotossintético como se continuassem na estação chuvosa.

Esta variação das espécies variam com relação à sua sensibilidade a fatores ambientais poderia explicar a ocorrência de padrões fenológicos divergentes, como o de espécies sempre-verdes com crescimento quase contínuo, ou diferentes períodos de floração (Bulhão e Figueiredo, 2002).

O conhecimento do cerrado implica no estudo definindo suas características e como se relacionam, principalmente na determinação da composição de espécies e da forma como as mesmas estruturam (Borges e Shepherd, 2005).

O entendimento dos padrões fenológicos nos ecossistemas naturais é informativo para programas de conservação de recursos genéticos e manejo florestal (Vilela *et al.*, 2008). O objetivo do trabalho foi estudar o comportamento fenológico e sazonal de três espécies do Cerrado (*Caryocar brasiliense*, *Bowdichia virgilioides*, *Plathymenia*

reticulata) nos municípios de Diamantina, São Gonçalo do Rio Preto e Itamarandiba e a relação das espécies com as variáveis meteorológicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Áreas de estudo

O presente estudo foi conduzido em três fragmentos de Cerrado localizados na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, inseridas no Complexo da Serra do Espinhaço. A topografia da região é predominantemente montanhosa, com altitudes que variam entre 700 e 1.700 m. Caracterizada por extensos afloramentos de rochas quartzíticas (Silva *et al.*, 2005).

2.1.1 – Diamantina (DIA)

O local inclui um remanescente de Cerrado denso e Cerrado típico (Walter *et al.*, 2008), no Parque Estadual do Biribiri (18°14'53" S e 43°39'57" W) com altitudes variando entre 750 a 1620 m. O clima da região segundo a classificação Köppen é Cwb, temperado úmido, com inverno seco e chuvas no verão. A temperatura média anual é de 18,3°C, a média das mínimas é 14,1°C e a média das máximas de 23,7°C; sendo a temperatura média do mês mais quente de 20,1°C (INMET, 2009) com precipitação média anual de 1404 mm.

2.1.2 – São Gonçalo do Rio Preto (SGRP)

Os indivíduos selecionadas estão inseridos em um remanescente de Cerrado denso e Cerrado típico (Walter *et al.*, 2008), localizados no Parque Estadual do Rio Preto (18° 07' 3" S e 43° 20' 52" W) com altitudes variando entre 1250 a 1550 m (IEF, 2004). O clima da região é Cwb, mesotérmico úmido com invernos secos e verões amenos, com precipitação e temperatura médias anuais de 1350 mm e 20°C, respectivamente.

2.1.3 – Itamarandiba (ITA)

Área de estudo localizada em um remanescente de Cerrado denso (Walter *et al.*, 2008), na Reserva Guapuruvú, da empresa APERAM (17°43'22" S e 42°46'20" W) com altitudes variando entre 941 a 953 m. O clima da região é Cfa segundo Köppen, tropical de altitude com seis meses secos (de abril a setembro), a precipitação média varia de 1150 a 1450 mm e a temperatura média anual é de 20,1° C (Ministério de Minas e Energia, 2005; Muller, 2005).

2.2 Espécies florestais estudadas

As espécies foram selecionadas devido ao seu potencial em recuperar áreas degradadas e uso de multiprodutos (madeireiros e não madeireiros). Além disso, as três espécies ocorrem temporalmente nos três ambientes estudados.

2.2.1 *Caryocar brasiliense* Camb. (Pequi) - Caryocaraceae

Espécie constituída por árvores decíduas pertencentes ao grupo ecológico das pioneiras, indicada para restauração de ambientes fluviais e ripários, com as folhas são compostas e opostas, trifolioladas, raramente monofolioladas e a inflorescência ocorre em racemos (Carvalho, 2008). O pequizeiro também é considerado árvore ornamental devido ao seu porte e à beleza das flores e as folhas são usadas em Minas e Goiás na alimentação de animais (Kerr, 2007). Polinizada principalmente por morcegos e sua dispersão é zoocórica (Carvalho, 2008).

2.2.2 *Bowdichia virgilioides* Kunth (Sucupira preta) - Fabaceae

Árvore decídua pertencente ao grupo ecológico das pioneiras com folhas compostas e pinadas, de inserção alterna, com folíolos medindo de 6 a 10 cm de comprimento e possui a inflorescência em panículas (Carvalho, 2006; Lorenzi, 1992). Utilizada na medicina popular (Gomes *et al.*, 2008). A madeira é empregada para acabamentos internos, portas, mourões, pontes rurais, caibros e a árvore é ornamental quando em flor (Lorenzi, 1992). Polinizada essencialmente por abelhas grandes e sua dispersão é anemocórica. As raízes da sucupira são fixadoras de nitrogênio, associando-se com *Rhizobium*, formando nódulos (Montagnini *et al.*, 1994) melhorando a fixação de nitrogênio no solo.

2.2.3 *Plathymenia reticulata* Benth. (Vinhático) - Fabaceae

Espécie constituída por árvores decíduas sendo as folhas alternas e bipinadas, e a inflorescência é uma espiga insinuada nas folhas e nos ramos (Carvalho, 2008). Relatada como espécie secundária inicial (Silva *et al.*, 2003). Recomendada na fabricação de móveis, painéis, portas, construção naval, acabamentos internos, tonéis, postes, carrocerias, estacas, esteios e mourões (Carvalho, 2008). Polinizada essencialmente por abelhas e segundo Neri *et al.* (2005) possui dispersão anemocórica. As raízes do vinhático são fixadoras de nitrogênio, associando-se com *Rhizobium*, formando nódulos (Montagnini *et al.*, 1994).

2.3 Obtenção das variáveis climáticas

Dados meteorológicos diários de precipitação e temperatura no período de dezembro de 2008 a fevereiro de 2011 foram fornecidos pelas Estações Climatológicas Principais de Diamantina e Itamarandiba, únicas disponíveis na região.

Com base nestes dados foram calculados para as datas das visitas fenológicas os seguintes parâmetros, a saber: (1) temperatura mínima; (2) temperatura máxima; (3) amplitude térmica; (4) precipitação do ano atual ao evento e (5) precipitação do ano anterior ao evento.

Calculou-se também a variável astronômica fotoperíodo utilizando formulação proposta por Vianello *et al.* (1991).

2.4 Coleta dos dados fenológicos

Em trilhas pequenas amostrou-se, sistematicamente, 12 indivíduos por espécie em cada área a uma distância mínima de aproximadamente três metros entre eles.

Os indivíduos selecionados foram georreferenciados e visitados quinzenalmente entre dezembro de 2008 e fevereiro de 2011, totalizando 27 meses de observações. Nestas visitas foram registradas as fenofases que os indivíduos apresentavam, seguindo a escala de Fournier, por meio de observação cuidadosa da copa.

Nessas visitas, foram registradas a presença ou ausência das seguintes fenofases reprodutivas e não-reprodutivas: (1) botões florais, caracterizada desde o início da formação da estrutura floral até a abertura dos botões; (2) copa totalmente florida, representada pela abertura dos botões; (3) floração concluída, verificada pela queda das peças florais; (4) frutos imaturos, fase entre a formação do fruto até o amadurecimento; (5) frutos maduros; (6) dispersão, caracterizada pelas sementes em dispersão; (7) desfolha e (8) enfolhamento.

Os eventos fenológicos foram quantificados quinzenalmente de acordo com Bencke e Morellato (2002):

- Índice de atividade de cada fenofase, que representa a porcentagem de indivíduos da população que manifesta um evento específico. Este método estima a sincronia entre os indivíduos de uma população levando-se em conta que quanto maior o número de indivíduos manifestando a fenofase ao mesmo tempo, maior é a sincronia desta população. Sendo considerado evento fenológico não sincrônico ou assincrônico: < 20% de indivíduos na mesma fenofase; pouco sincrônico ou sincronia baixa: 20 a 60% de indivíduos na mesma fenofase e sincronia alta: > 60% de indivíduos na mesma fenofase.

O cálculo do índice de atividade foi ajustado para atender à coleta de dados realizada de acordo com a escala de Fournier. Para cada indivíduo estimou-se a média entre os quadrantes e, posteriormente, a média por data de visita fenológica a partir dos 12 indivíduos observados.

2.5 Análises estatísticas

Foi testada a normalidade da distribuição dos dados, por meio do teste de Lilliefors e a homogeneidade de variância pelo teste de Hartley para escolher a correlação a ser utilizada. As variáveis meteorológicas foram relacionadas aos eventos fenológicos por meio de correlações de Spearman (r_s) (Zar, 1999) entre a porcentagem de indivíduos que apresentam a referida fenofase e os elementos meteorológicos (descritos anteriormente), tanto para intervalos anuais (12 meses), como para todo o período de observação (27 meses). Para as análises utilizou-se o programa Statistica 10.0.

Foi utilizada a estatística circular para testar a ocorrência de sazonalidade nas oito fenofases amostradas (Zar, 1999; Morellato *et al.*, 2000). Para tanto, as observações foram convertidas em ângulos e a frequência de ocorrência de cada fenofase foi testada por meio dos seguintes parâmetros: ângulo médio (μ) e sua conversão em data média, o comprimento do vetor r e testada à significância do ângulo pelo teste de Rayleigh ($z - p < 0,05$) (Zar, 1999). Os cálculos foram realizados no programa Oriana (Kovach, 2004).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Descrição meteorológica das áreas estudadas

Para Diamantina (DIA) a maior média de temperatura foi observada no mês de fevereiro de 2010 (29,1°C) e a menor média em agosto (10,6 °C) de 2010 (figura 1). A precipitação anual foi menor no segundo ano (2010 com 985,3 mm) do que no primeiro ano (2009 com 1506,8 mm). A duração dos dias variou de 10,91 a 13,08 horas (figura 2).

Em Itamarandiba (ITA) a maior média de temperatura foi no mês de outubro de 2010 (31,9 °C) e a menor no mês de julho de 2010 com 10 °C (figura 3). A maior precipitação anual foi registrada em 2009 (1242,8 mm) e a menor em 2010 (856,7 mm). A duração dos dias variou de 10,93 a 13,07 horas (figura 4).

São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) não possui estação meteorológica.

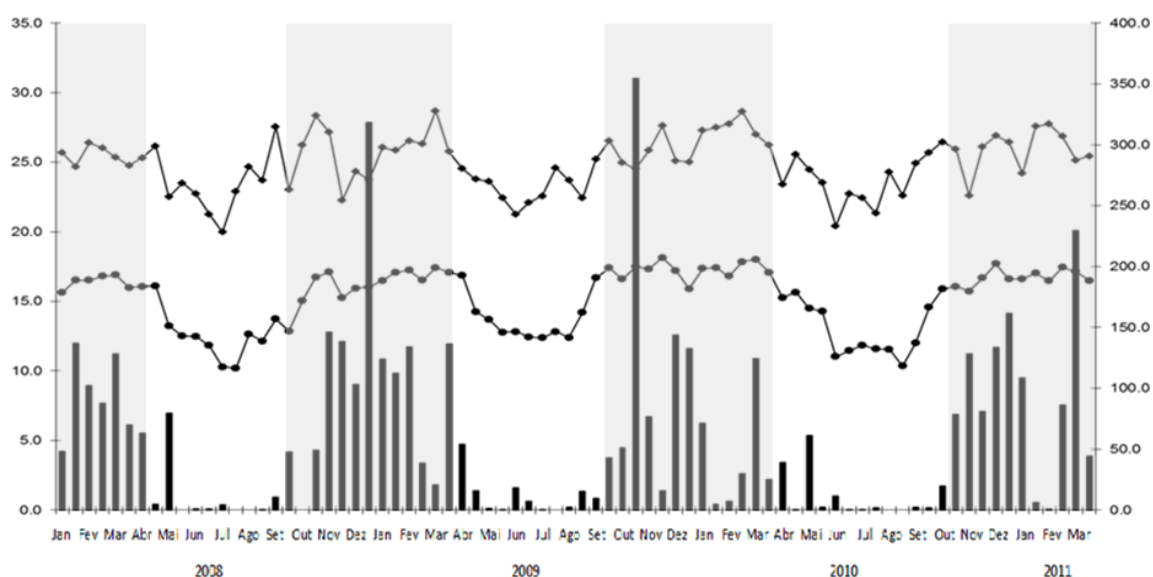


Figura 1: Médias e totais quinzenais da precipitação em mm (■), temperatura mínima do ar em °C (▲), temperatura máxima do ar em °C (●) e período da estação chuvosa (■) de janeiro de 2008 a março de 2011 para a região de Diamantina, MG.

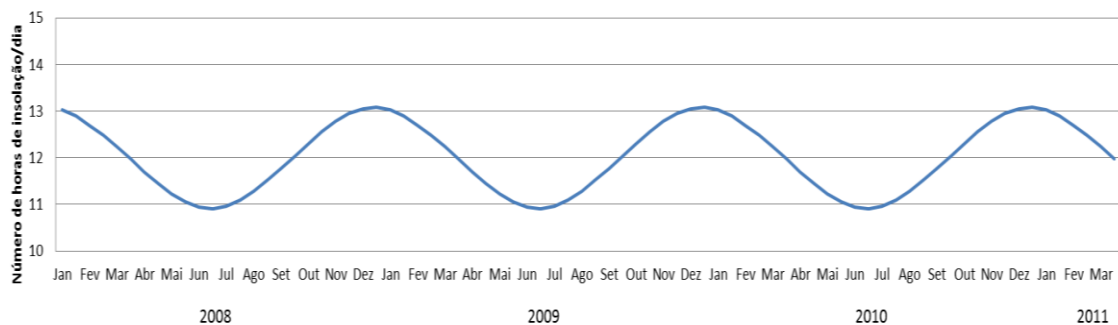


Figura 2: Fotoperíodo de janeiro de 2008 a março de 2011 para a região de Diamantina, MG, Sudeste do Brasil.

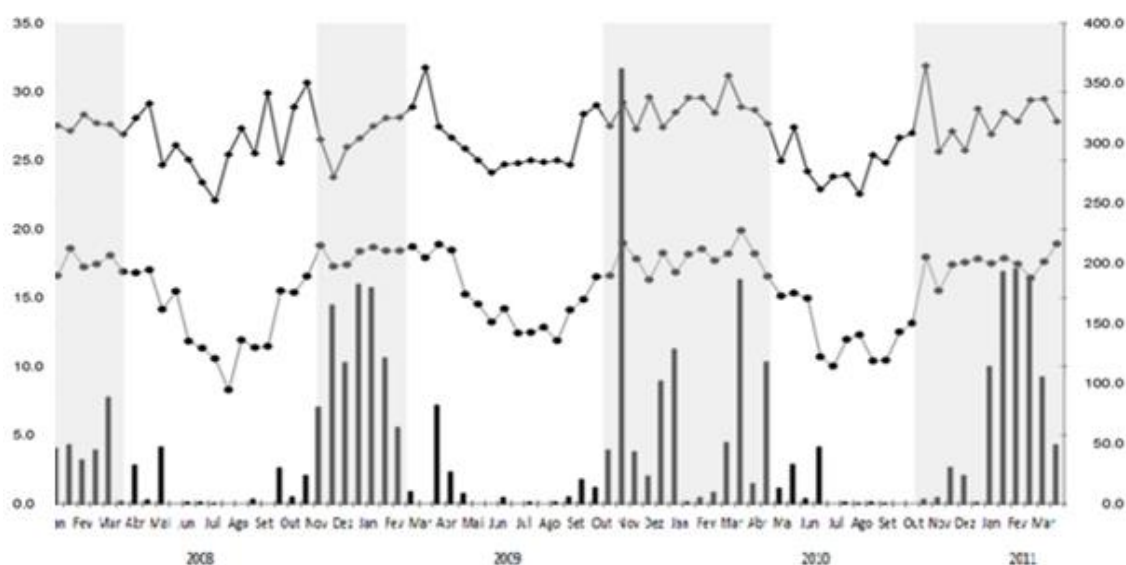


Figura 3: Médias e totais quinzenais da precipitação em mm (■), temperatura mínima do ar em °C (☹), temperatura máxima do ar em °C (☺) e período da estação chuvosa (■) de janeiro de 2008 a março de 2011 para a região de Itamarandiba, MG.

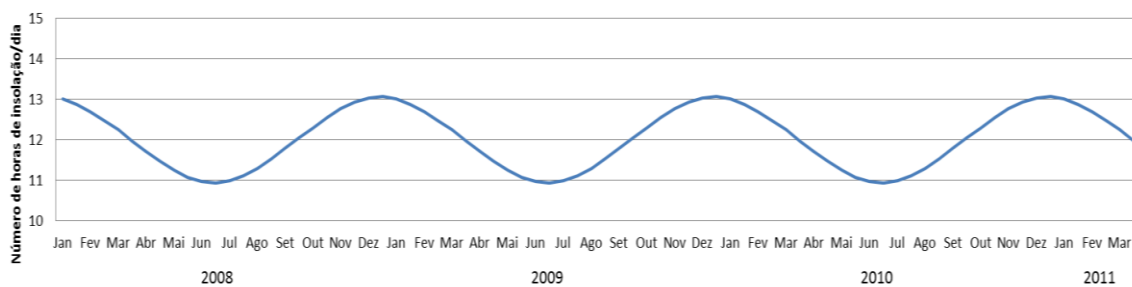


Figura 4: Fotoperíodo de janeiro de 2008 a março de 2011 para a região de Itamarandiba, MG, Sudeste do Brasil.

3.2 Índice de Atividade e Sazonalidade

Caryocar brasiliense (Pequi)

- Variáveis reprodutivas

A floração coincidiu em DIA e SGRP de agosto a novembro, com variação de assincrônica a baixa sincronia. Em ITA o evento apresentou baixa sincronia e foi observado de abril a agosto em 2009 e de setembro a dezembro em 2010 (Figura 8). A diferença entre ITA e as demais áreas pode ser explicada pela diferença nas condições meteorológicas e pela menor proximidade das demais áreas.

Fagundes *et al.* (2007), na região norte de Minas Gerais, observaram que a produção de flores ocorreu entre agosto e outubro, coincidindo com a maior intensidade da floração observada por Pirani *et al.* (2009). Proença *et al.* (2000) para região Central do Brasil observaram que a floração do pequi ocorre geralmente entre agosto e novembro, com pico em setembro. Costa *et al.* (2004) observaram que a floração ocorreu de setembro a novembro para uma espécie do mesmo gênero, *Caryocar coriaceum*.

Foi relatado por Gribel & Hay (1993) que eventualmente a floração pode ocorrer fora de época e ocasionar uma produção de frutos extemporânea (entressafra) menos abundante em julho e agosto, sendo que a fase reprodutiva inicia-se com a emissão dos botões florais em meados de agosto e setembro, com a máxima atividade no mês de outubro.

A frutificação coincidiu em DIA e SGRP e variou de outubro a fevereiro com baixa sincronia. Em ITA ocorreu de abril a julho em 2009 e de novembro a fevereiro em 2010 (Figura 5). Nas observações de Fagundes *et al.* (2007), a produção de frutos ocorreu de outubro a janeiro, mesmo período em que Pirani *et al.* (2009) observaram a maior intensidade da frutificação; na região Central do Brasil, Proença *et al.* (2000) observaram o intervalo de frutificação semelhante aos trabalhos de Fagundes *et al.* (2007) e Pirani *et al.* (2009) com o evento se estendendo por um mês em relação aos autores citados. Para o mesmo gênero, *Caryocar coriaceum*, Costa *et al.* (2004) observaram a frutificação de janeiro a março numa área de Cerrado.

Em DIA e SGRP a sazonalidade apresentou data média coincidindo com a estação chuvosa para os eventos relacionados à frutificação (Tabela 1), favorecendo a dispersão do *Caryocar brasiliense* que segundo Carvalho (2008) e Costa *et al.* (2004) é zoocórica.

Geralmente os frutos carnosos zoocóricos são produzidos durante a estação chuvosa e os secos, anemocóricos ou autocóricos, durante a seca (Oliveira, 2008; Batalha & Mantovani, 2000), o que deve impor uma sazonalidade correspondente no período de dispersão de tipos de diásporos (Bulhão e Figueiredo, 2002). A dispersão em DIA e SGRP ocorreu durante a estação chuvosa coincidindo com a estação da data média (Tabela 1).

- Variáveis não-reprodutivas

Nas três áreas estudadas, a desfolha foi de maio a agosto (estação seca) com variação entre assincrônica e sincronia baixa (Figura 6). Fagundes *et al.* (2007), na região do norte de Minas Gerais (pastagem, Cerrado em regeneração e Cerradão), observaram que a queda de folhas ocorreu durante todo o ano com picos mais intensos nos meses de agosto e setembro e entre fevereiro e março. Ainda segundo os autores, o evento foi bianual, divergindo de Pirani *et al.* (2009) que define o evento como anual para uma área de Cerrado no Estado do Mato Grosso. Segundo Pirani *et al.* (2009), o referido evento ocorreu de abril a outubro com maior intensidade entre julho e agosto.

No trabalho de Vilela *et al.* (2008) o desfolhamento teve início no final da estação chuvosa, sendo que a queda das folhas intensificou-se nos meses de julho e agosto.

O enfolhamento foi de agosto a novembro e com baixa sincronia nas três áreas (Figura 6). Fagundes *et al.* (2007) observaram que o evento de forma bianual entre os meses de julho e outubro e fevereiro a abril. Ainda segundo o autor, a maior intensidade de produção de folhas ocorreu no período que antecede a estação chuvosa, condizendo com o estudo realizado por Pirani *et al.* (2009) cujo enfolhamento ocorreu de agosto a novembro.

A desfolha apresentou sazonalidade nas três áreas com data média coincidindo com o período com maior déficit hídrico. Já o enfolhamento apresentou sazonalidade para os dois anos de estudo apenas para ITA e com data média para o mesmo período que a desfolha (Tabela 1).

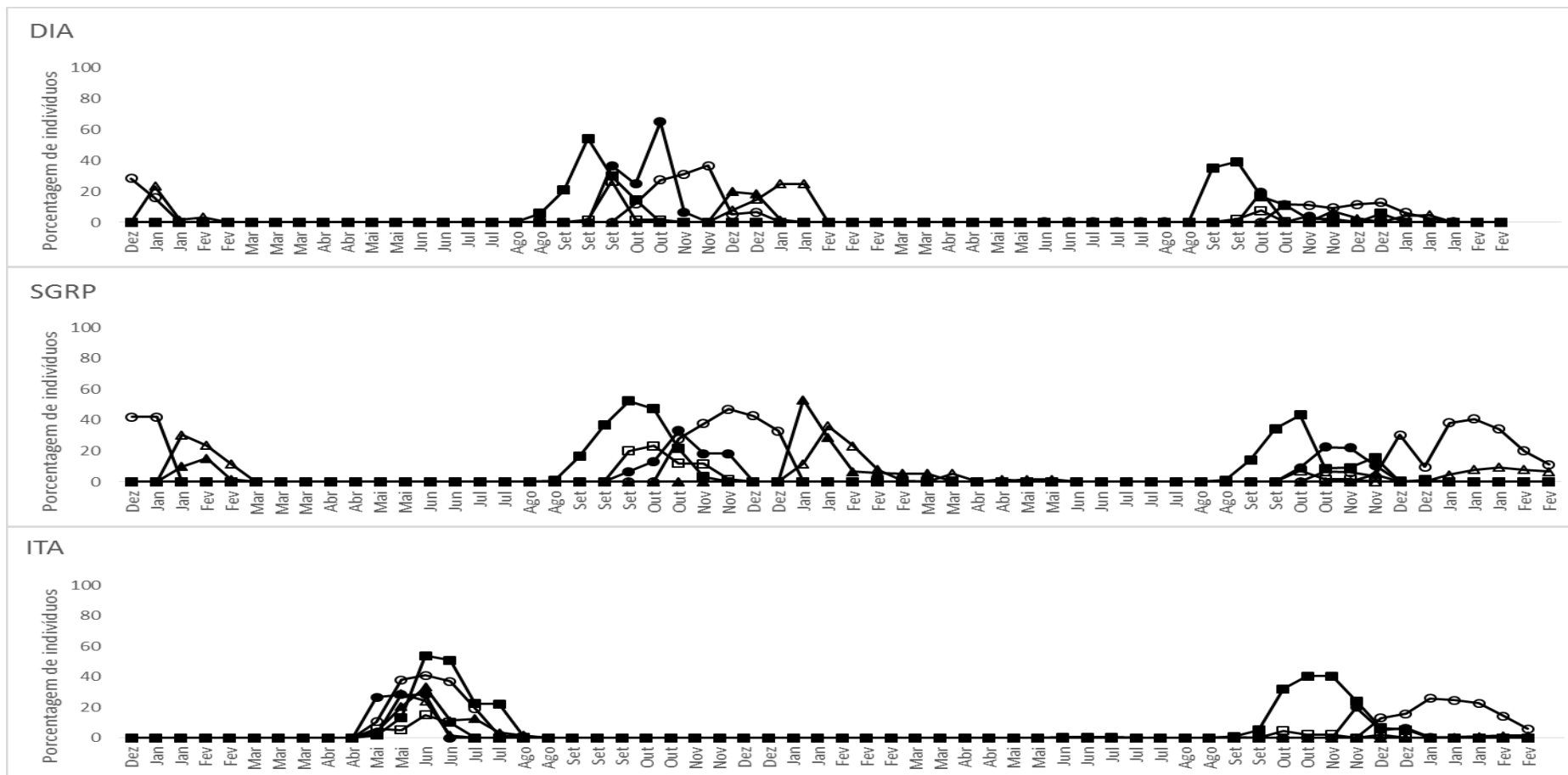


Figura 5: Porcentagem de indivíduos que apresentaram as fenofases reprodutivas presença de botões florais (■), copa totalmente florida (□) e floração concluída (●), frutos imaturos (○), frutos maduros (▲) e dispersão (△) da espécie *Caryocar brasiliense* nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, no período de dezembro de 2008 a março de 2011.

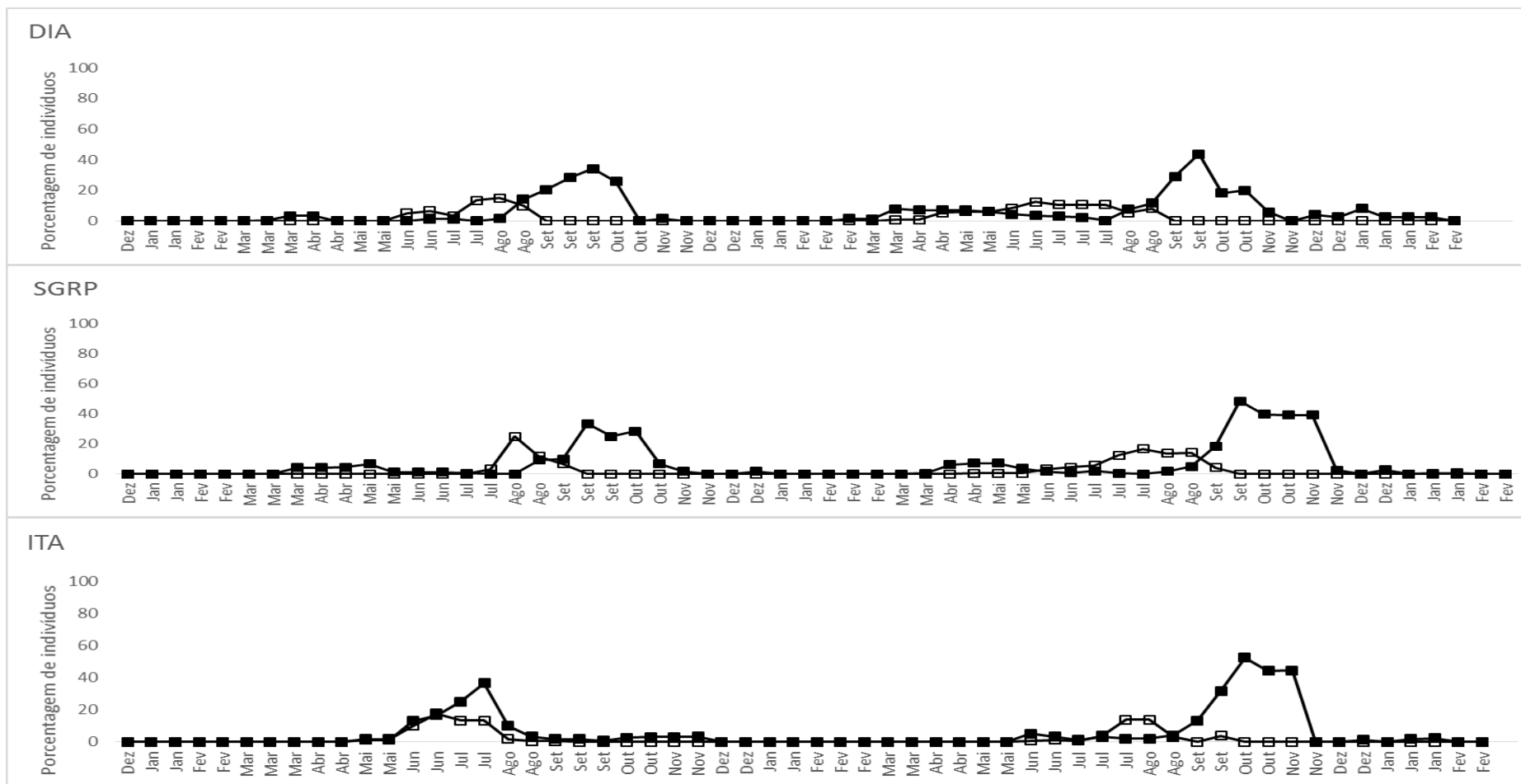


Figura 6: Porcentagem de indivíduos que apresentaram as fenofases não-reprodutivas desfolha (□) e enfolhamento (■) da espécie *Caryocar brasiliense* nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, no período de dezembro de 2008 a março de 2011.

Tabela 1: Análise estatística circular das oito fenofases do *Caryocar brasiliense* estudadas nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, nos anos de 2009 e 2010. Para valor estatisticamente não significativo com $p \geq 0,05$, não foi calculada a data média.

DIA	Desfolha		Enfollamento		Botões florais		Totalmente florida		Floração concluída		Frutos imaturos		Frutos maduros		Dispersão	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
Ângulo médio (°)	191,40	158,85	237,12	210,14	252,49	285,31	272,96	285,53	291,69	291,62	320,54	243,36	344,72	342,48	5,93	0,44
Data média	13/jul	10/jun	28/ago	-	13/set	16/out	04/out	16/out	23/out	23/out	21/nov	-	-	13/dez	06/jan	01/jan
r	0,92	0,68	0,45	0,22	0,96	0,87	0,97	0,97	0,97	0,98	0,91	0,37	1,00	0,96	0,94	0,96
Rayleigh (p)	0,00	0,00	0,04	0,33	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	< 1E-12	0,23	0,14	0,01	0,00	0,05
SGRP																
Ângulo médio (°)	218,21	180,05	218,64	241,62	265,58	288,66	296,65	291,62	296,65	313,16	331,92	323,33	33,20	34,06	30,05	43,34
Data média	09/ago	02/jul	-	-	26/set	20/out	28/out	23/out	28/out	14/nov	03/dez	18/nov	03/fev	04/fev	30/jan	13/fev
r	0,97	0,72	0,32	0,31	0,91	0,84	0,93	0,98	0,93	0,91	0,92	0,94	0,98	0,69	0,98	0,84
Rayleigh (p)	0,01	0,00	0,17	0,13	< 1E-12	4.40 E-5	0,01	0,04	0,01	0,00	< 1E-12	9.80 E-4	0,04	0,00	0,01	0,00
ITA																
Ângulo médio (°)	184,52	208,66	222,64	254,64	168,02	281,54	150,41	302,95	143,67	334,72	166,68	252,75	169,21	-	150,41	-
Data média	06/jul	31/jul	14/ago	15/set	19/jun	12/out	01/jun	03/nov	26/mai	05/dez	18/jun	-	21/jun	-	01/jun	-
r	0,83	0,80	0,56	0,64	0,92	0,58	0,97	0,93	0,98	0,98	0,91	0,27	0,90	-	0,97	-
Rayleigh (p)	0,00	0,00	0,01	0,00	< 1E-12	0,01	0,01	0,02	1.62 E-4	0,04	< 1E-12	0,71	1.96 E-4	-	0,01	-

***Bowdichia virgilioides* (Sucupira)**

- Variáveis reprodutivas

A floração ocorreu de junho a outubro, de assincrônica a baixa sincronia em SGRP e ITA e assincrônica em DIA (Figura 7). Em uma área de Cerrado, o evento ocorreu de junho a julho (Bulhão e Figueiredo, 2002), de junho a outubro na "Chapada Diamantina" – Bahia (Funch *et al.*, 2002) e de novembro a janeiro em um remanescente de Mata Atlântica (Marangon *et al.*, 2010).

A limitação da produção de flores pode ser consequência de uma possível deficiência hídrica nos solos submetidos à seca mais rigorosa, como sugerido por Seghieri *et al.* (1995) para espécies arbóreas de savanas africanas no nordeste da República de Camarões. Segundo Bulhão e Figueiredo (2002), o mesmo fator pode, também, ser responsável pela ausência de floração nesta mesma espécie. A reprodução de *B. virgilioides* difere entre seus locais de ocorrência (Funch *et al.*, 2002), mas sempre ocorre nos períodos secos do ano (Silva *et al.*, 2011).

Os eventos relacionados à frutificação e dispersão ocorreram de setembro a janeiro, sendo assincrônico em DIA e de assincrônico à baixa sincronia em SGRP e ITA (Figura 7). Em um remanescente de Mata Atlântica a frutificação ocorreu de janeiro a março (Marangon *et al.*, 2010) e de julho a setembro numa área de Cerrado (Bulhão e Figueiredo, 2002).

A baixa sincronia da frutificação pode ser consequência da redução da polinização durante a floração, que pode ter sido provocada pela variação da temperatura e/ou precipitação. Segundo Vilela *et al.* (2008), desde a antese à polinização, os frutos levaram entre três e quatro meses para atingirem a maturação, sendo a produção de frutos maduros observada de fevereiro ao início de março para a região Central do Brasil.

As datas médias coincidiram entre DIA e SGRP para os eventos reprodutivos e para ITA foram divergentes das demais áreas (Tabela 1). Resultado que pode ser explicado pela distância de ITA em relação às demais áreas.

- Variáveis não-reprodutivas

A desfolha e o enfolhamento apresentaram-se de forma irregular ao longo do período estudado nas três áreas (Figura 8).

A sazonalidade da desfolha ocorreu em DIA e SGRP com datas médias entre junho e julho, e em setembro em ITA (Tabela 2). Nas três áreas a data média coincidiu com a estação seca confirmando a relação entre caducifolia e déficit hídrico.

O enfolhamento não apresentou sazonalidade em SGRP. A data média em DIA coincidiu com a estação chuvosa, e com a estação seca em ITA (Tabela 2).

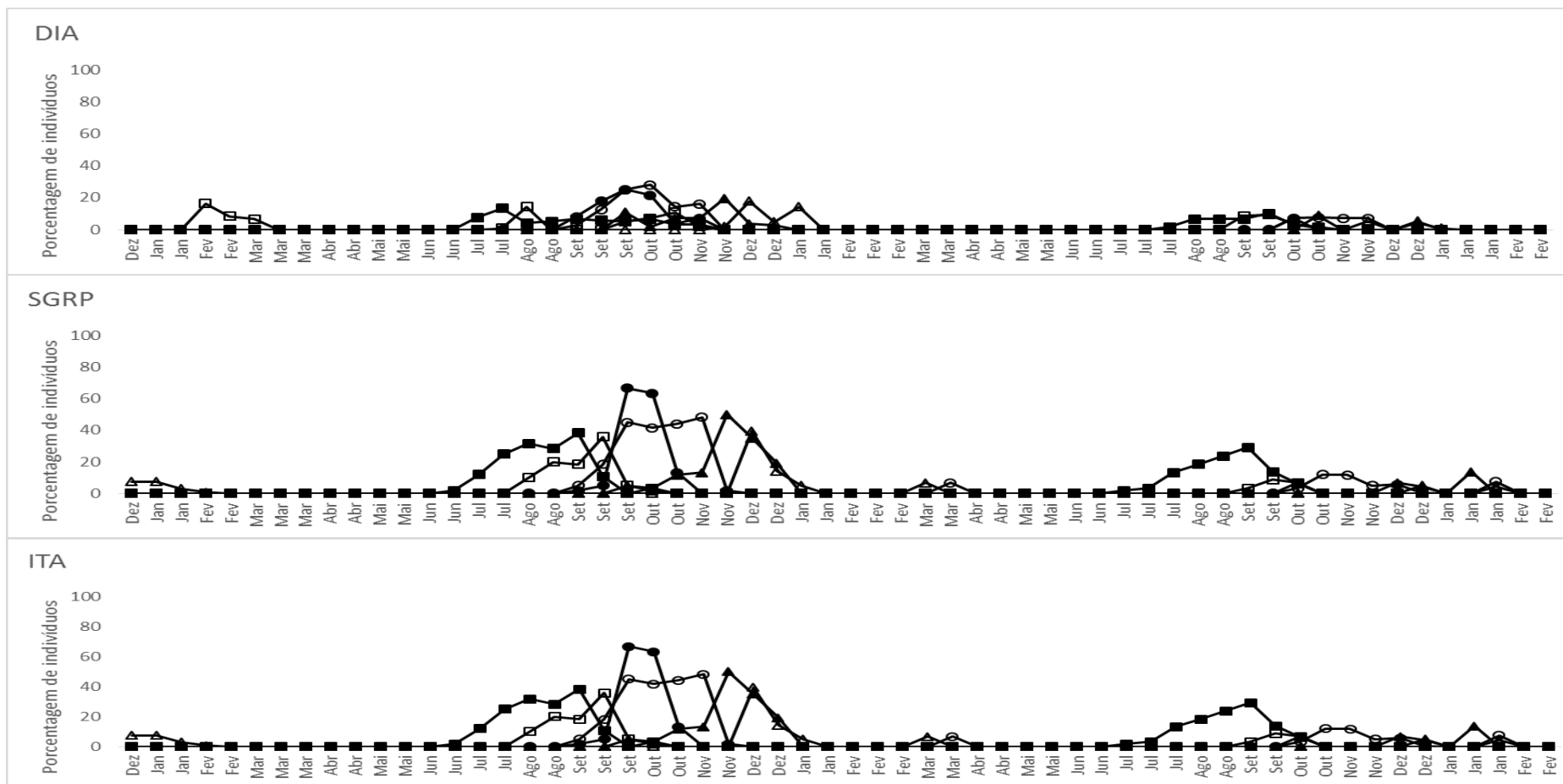


Figura 7: Porcentagem de indivíduos que apresentaram as fenofases reprodutivas presença de botões florais (■), copa totalmente florida (□) e floração concluída (●), frutos imaturos (○), frutos maduros (▲) e dispersão (△) da espécie *Bowdichia virgilioides* nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, no período de dezembro de 2008 a março de 2011.

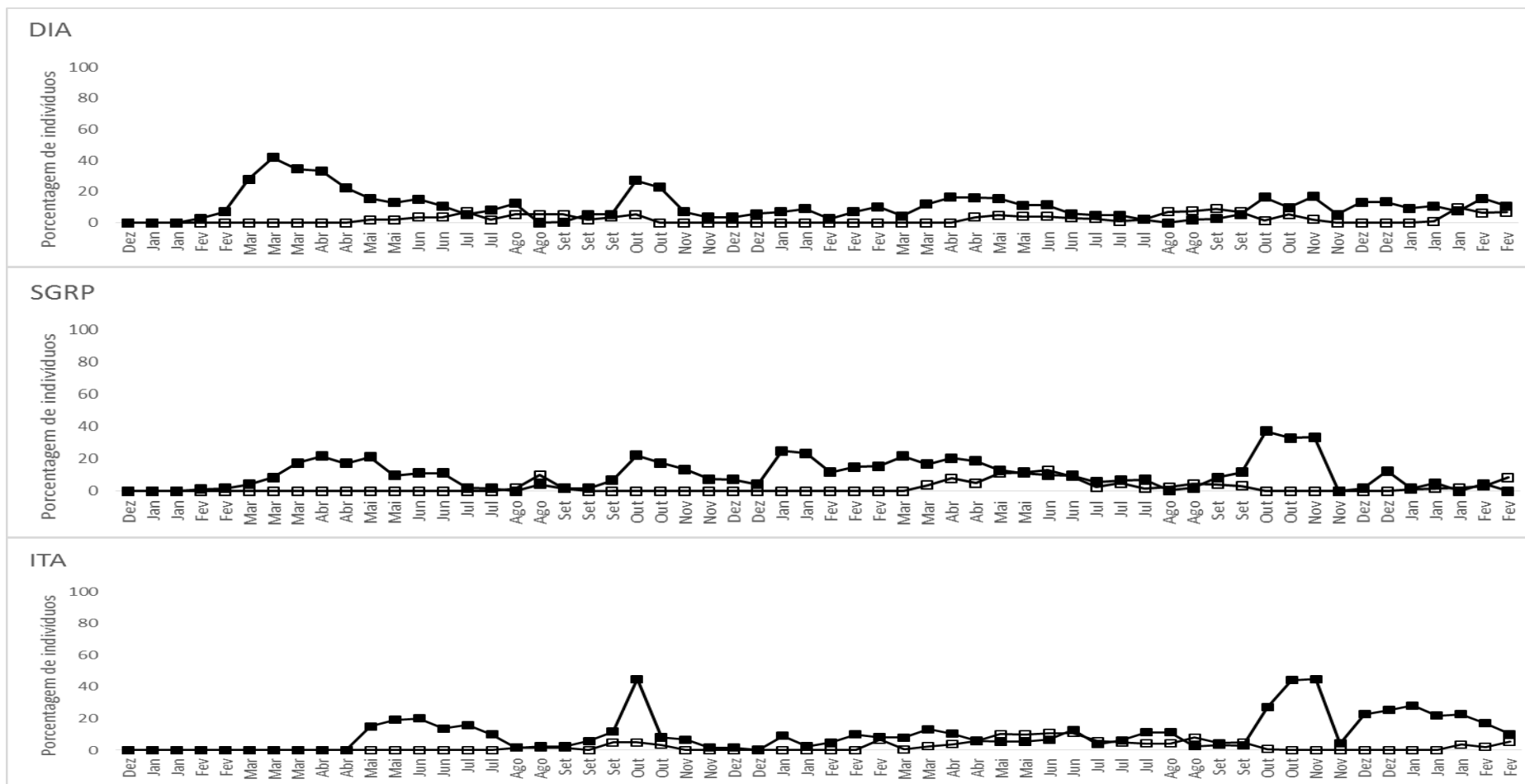


Figura 8: Porcentagem de indivíduos que apresentaram as fenofases não-reprodutivas desfolha (□) e enfoltamento (■) da espécie *Bowdichia virgilioides* nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, no período de dezembro de 2008 a março de 2011.

Tabela 2: Análise estatística circular das oito fenofases da *Bowdichia virgilioides* estudadas nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, nos anos de 2009 e 2010. Para valor estatisticamente não significativo com $p \geq 0,05$, não foi calculada a data média.

DIA	Desfolha		Enfollamento		Botões florais		Totalmente florida		Floração concluída		Frutos imaturos		Frutos maduros		Dispersão	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
Ângulo médio (°)	204,96	208,65	100,12	42,71	246,39	251,35	302,05	272,00	274,36	278,14	275,40	307,85	310,53	319,07	338,96	343,96
Data média	27/jul	31/jul	-	12/fev	07/set	12/set	-	03/out	05/out	-	06/out	08/nov	11/nov	-	10/dez	-
r	0,70	0,52	0,12	0,06	0,77	0,89	0,31	0,97	0,91	1,00	0,92	0,92	0,88	0,89	0,99	0,95
Rayleigh (p)	0,00	0,02	0,68	0,92	0,00	0,00	0,44	0,01	0,00	0,51	0,00	0,01	0,00	0,23	0,04	0,06
SGRP																
Ângulo médio (°)	208,65	172,96	42,71	289,49	251,35	232,74	272,00	265,34	278,14	278,14	307,85	322,19	319,07	342,25	343,96	18,96
Data média	31/jul	24/jun	-	-	12/set	24/ago	03/out	26/set	-	-	08/nov	23/nov	-	-	15/dez	-
r	0,52	0,57	0,06	0,07	0,89	0,86	0,97	0,98	1,00	1,00	0,92	0,70	0,89	1,00	0,95	0,82
Rayleigh (p)	0,02	0,01	0,92	0,88	0,00	0,00	0,01	0,04	0,51	0,51	0,01	0,03	0,23	0,14	0,06	0,13
ITA																
Ângulo médio (°)	253,06	197,70	244,13	337,73	272,47	251,55	288,99	237,36	338,96	289,26	338,96	320,91	-	342,25	-	346,19
Data média	14/set	-	05/set	-	03/out	12/set	20/out	29/ago	10/dez	20/out	10/dez	21/nov	-	-	-	-
r	0,86	0,35	0,45	0,07	0,88	0,64	0,96	0,88	0,99	0,92	0,99	0,92	-	1,00	-	1,00
Rayleigh (p)	0,01	0,07	0,03	0,87	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,01	0,04	0,01	-	0,14	-	0,51

***Plathymenia reticulata* (Vinhático)**

● Variáveis reprodutivas

A floração ocorreu de setembro a novembro nas três áreas variando de assíncrona à sincronia alta (Figura 9). A sazonalidade foi verificada nos dois anos analisados somente para presença de botões florais em ITA. As datas médias coincidiram com o período que inicia a estação chuvosa (outubro – novembro), Tabela 3. Bulhão e Figueiredo (2002) verificaram, em uma área de Cerrado, que a floração ocorreu de agosto a outubro para a mesma espécie.

A presença dos frutos imaturos foi verificada de novembro de 2009 a agosto de 2010 de assíncrono à sincronia baixa (Figura 9). Essa anomalia pode ter sido uma forma de garantir a propagação da espécie em decorrência à uma variação meteorológica brusca em anos anteriores. A sazonalidade para o evento ocorreu com datas médias em dezembro (2009) e entre abril e maio (2010), Tabela 3.

O evento frutos maduros ocorreu de assíncrono a baixa sincronia de junho a outubro somente para o ano de 2010 (Figura 9). Em uma área de Cerrado no nordeste do Maranhão, a frutificação ocorreu de outubro a julho (Bulhão e Figueiredo, 2002). A diferença da sincronia entre Minas Gerais e Maranhão pode ser ocasionada pelas diferenças edafoclimáticas dos locais.

A dispersão apresentou sazonalidade para os dois períodos estudados para DIA e SGRP, com datas médias coincidindo com a chuvosa e final da estação seca para os anos de 2009 e 2010, respectivamente (Tabela 3).

As espécies anemócoricas têm dispersão favorecida no período seco ou de transição entre seco e chuvoso pois são pequenas, leves, facilmente derrubadas com a chuva e com maior deciduidade das espécies, o que, associado à reduzida precipitação, pode garantir maior eficiência na dispersão (Lagos e Marimon, 2012; Morellato, 1995).

● Variáveis não-reprodutivas

A desfolha ocorreu de fevereiro a agosto com baixa sincronia em 2009 e assíncrono em 2010 para as três áreas (Figura 10). Já o enfolhamento ocorreu com sincronia baixa de setembro a novembro nas três áreas.

Os eventos desfolha e enfolhamento foram sazonais nos dois anos estudados apenas em ITA com datas médias coincidindo com o período de seca e estação chuvosa, respectivamente (Figura 10).

Os bosques tropicais secos (Cerrado) se caracterizam por não ter relação direta com os cursos d'água, apresentando diversos níveis de caducifólia durante a estação seca (Encinas *et al.*, 2011).

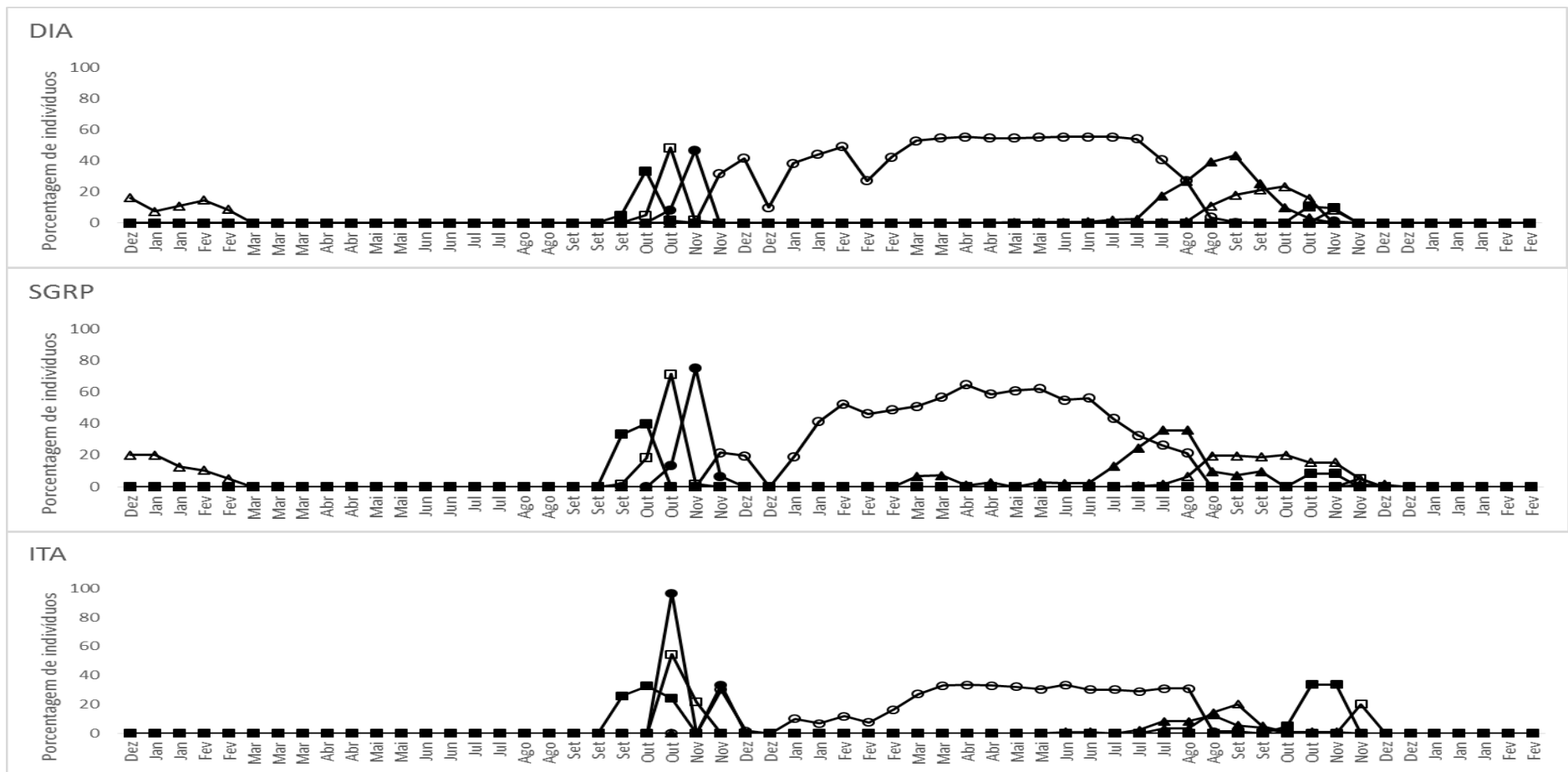


Figura 9: Porcentagem de indivíduos que apresentaram as fenofases reprodutivas presença de botões florais (■), copa totalmente florida (□) e floração concluída (●), frutos imaturos (○), frutos maduros (▲) e dispersão (△) da espécie *Plathymenia reticulata* nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, no período de dezembro de 2008 a março de 2011.

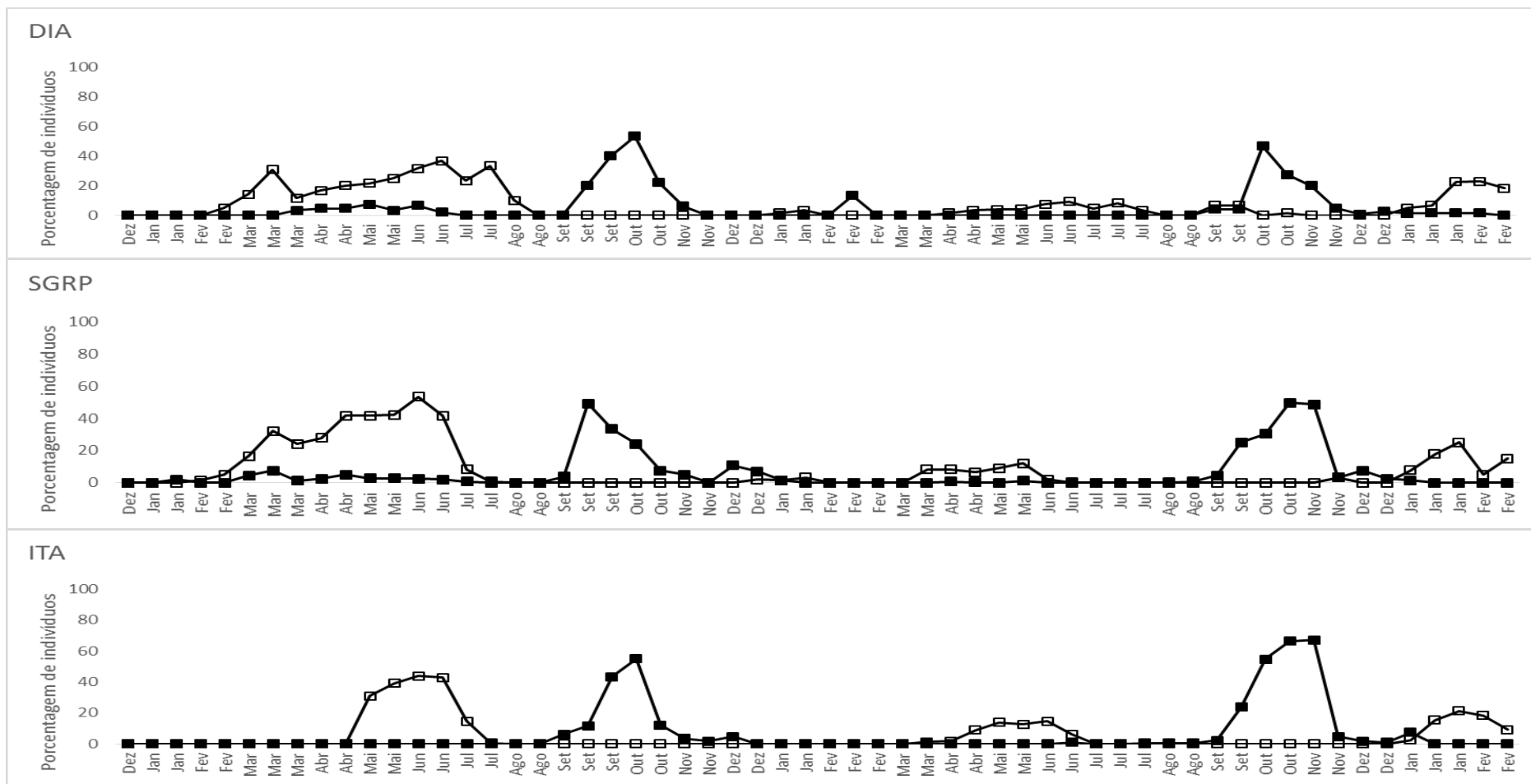


Figura 10: Porcentagem de indivíduos que apresentaram as fenofases não-reprodutivas desfolha (□) e enfolhamento (■) da espécie *Plathymenia reticulata* nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, no período de dezembro de 2008 a março de 2011.

Tabela 3: Análise estatística circular das oito fenofases da *Plathymenia reticulata* estudadas nos municípios de Diamantina (DIA), São Gonçalo do Rio Preto (SGRP) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, nos anos de 2009 e 2010. Para valor estatisticamente não significativo com $p \geq 0,05$, não foi calculada a data média.

DIA	Desfolha		Enfollamento		Botões florais		Totalmente florida		Floração concluída		Frutos imaturos		Frutos maduros		Dispersão	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
Ângulo médio (°)	136,25	167,56	194,46	302,79	281,58	298,36	296,39	304,77	306,09	304,77	336,72	121,13	-	220,16	26,63	244,25
Data média	18/mai	-	-	03/nov	12/out	-	28/out	-	06/nov	-	07/dez	03/mai	-	11/ago	27/jan	05/set
r	0,65	0,33	0,25	0,78	0,98	0,99	0,98	1,00	0,99	1,00	0,99	0,46	-	0,67	0,97	0,85
Rayleigh (p)	0,00	0,22	0,46	0,00	0,01	0,14	0,01	0,51	0,04	0,51	0,00	0,00	-	0,00	0,01	0,00
SGRP																
Ângulo médio (°)	12,54	98,72	217,95	291,90	274,20	298,36	291,69	319,56	311,26	-	333,37	109,64	-	188,76	26,63	257,95
Data média	13/jan	-	-	23/out	05/out	-	23/out	-	12/nov	-	-	21/abr	-	-	27/jan	19/set
r	0,66	0,50	0,08	0,48	0,99	0,99	0,97	1,00	0,99	-	1,00	0,56	-	0,39	0,97	0,78
Rayleigh (p)	0,00	0,08	0,88	0,02	0,01	0,14	0,00	0,51	0,00	-	0,14	0,00	-	0,06	0,01	0,00
ITA																
Ângulo médio (°)	158,61	123,84	285,25	28,54	278,70	294,34	301,47	319,56	306,96	-	331,39	127,19	-	213,07	-	244,25
Data média	10/jun	06/mai	16/out	29/jan	10/out	25/out	02/nov	-	07/nov	-	02/dez	09/mai	-	04/ago	-	05/set
r	0,93	0,89	0,88	0,75	0,98	0,99	0,99	1,00	0,97	-	1,00	0,48	-	0,79	-	0,85
Rayleigh (p)	< 1E-12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,51	0,00	-	0,04	0,00	-	0,00	-	0,00

3.3 Correlação de Spearman (rs)

Ao analisar o período total e os parciais verifica-se tendências divergentes. Sendo as variáveis meteorológicas instáveis de um ano para outro por serem resultado da interação de diversas variáveis dinâmicas (como por exemplo a irradiação solar, circulação atmosférica, El Niño, La Niña) fica nítida a necessidade de uma série histórica longa para evitar resultados camuflados.

Caryocar brasiliense (Pequi)

- Variáveis reprodutivas

As variáveis meteorológicas apresentaram maior correlação com os eventos reprodutivos em ITA, destacando-se a precipitação do ano atual ao evento, fotoperíodo e temperatura máxima. A maior independência às variáveis meteorológicas em DIA pode indicar que outras variáveis como edáficas ou fisiológicas podem exercer maior influência que as meteorológicas nos eventos fenológicos reprodutivos do local (Tabela 4). A menor dependência do clima pode indicar uma plasticidade da espécie, podendo esta ser plantada em locais com diferentes condições edafoclimáticas.

Oliveira (2008), estudando a biologia reprodutiva do cerrado, concluiu que os padrões fenológicos de plantas lenhosas parecem ser independentes das restrições sazonais, pelo menos no caso dos processos reprodutivos.

- Variáveis não-reprodutivas

A desfolha apresentou correlação com todas as variáveis meteorológicas nas duas áreas estudadas tanto para o período total quanto para os parciais. Destacaram-se as variáveis fotoperíodo para DIA e temperatura mínima para ITA (Tabela 4). Ambas variáveis estão interligadas, uma vez que a variação da temperatura está diretamente relacionada ao número diário de horas de insolação.

O enfolhamento em DIA não apresentou correlação com as variáveis meteorológicas. Já em ITA, o fotoperíodo foi a única variável que não apresentou correlação com o evento, destacando-se a temperatura mínima (Tabela 4). Essa diferença de variáveis pode ser devido às condições edáficas de cada local.

Tabela 4: Correlações de Spearman entre oito fenofases do *Caryocar brasiliense* e elementos meteorológicos para intervalos anuais (24 observações) e o período total (58 observações) nos municípios de Diamantina (DIA) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais. Correlações na região cinza foram significativas, sobrescrito a significância do p-valor.

	Precipitação (ano anterior)			Precipitação (ano atual)			Fotoperíodo			Temperatura máxima			Temperatura mínima			Amplitude térmica		
	Ano 1	Ano 2	Ano total	Ano 1	Ano 2	Ano total	Ano 1	Ano 2	Ano total	Ano 1	Ano 2	Ano total	Ano 1	Ano 2	Ano total	Ano 1	Ano 2	Ano total
DIA	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s
Desfolha	-0.5763**	-0.6840**	-0.5761***	-0.6237***	-0.5316**	-0.5922***	-0.6722***	-0.8891**	-0.7162***	-0.5171**	-0.7557**	-0.5478***	-0.7014***	-0.7002**	-0.6455***	0.5305**	0,111003	0.3913**
Enfoltamento	-0.4535*	-0,11502	-0,243023	-0,032951	-0,26284	-0,224965	-0,24532	-0,35737	-0,289687	-0,14332	-0,1356	-0,113586	-0,02718	-0,35737	-0,238505	-0,22373	0,32647	0,163884
Botões	-0,38087	0,155433	-0,120295	-0,109322	0,109096	-0,039822	-0,079	0,269225	0,000636	-0,0621	0,127827	-0,010898	-0,04024	0,003502	-0,102177	-0,22606	0,135707	0,009943
Totalmente florida	-0,27536	0,369255	0,029668	0,141787	0,05232	0,05681	0,110139	0,133955	0,021778	0,195741	0,161181	0,133677	0,277527	-0,01252	0,07159	-0,34405	0,181329	-0,049106
Floração concluída	-0,15524	0,302548	0,055383	0,362562	0,205785	0,25394	0,23568	0,131649	0,09281	0,147504	0,257381	0,147621	0,377741	0,097627	0,20505	-0,4261*	0,122034	-0,178202
Frutos imaturos	0,281341	-0,13412	0,165362	0,4298*	0,171408	0,309137	0,678781	0,005747	0,405462	0,284029	-0,359	-0,064953	0,4835*	-0,16245	0,109184	-0,4424*	-0,26743	-0,3204*
Frutos maduros	0,387658	0,245519	0,263745	0,172726	0,5643**	0,30992*	0,440802	0,570965	0,463143	0,244068	0,094707	0,125045	0,257381	0,283578	0,207798	-0,09097	-0,4397*	-0,19069
Dispersão	0,5063**	0,356918	0,3431**	0,4318*	0,4200*	0,3768**	0,598686	0,506626	0,57612	0,295617	0,247766	0,2746*	0,225066	0,260709	0,2663*	-0,11477	-0,19415	-0,1598
ITA																		
Desfolha	-0.6262**	-0.5603**	-0.5447***	-0.789597 (***)	-0.5120**	-0.6165***	-0.6213***	-0.6204***	-0.6333***	-0.7697***	-0.7062***	-0.7137***	-0.8059***	-0.7618***	-0.7557***	0,342718	0,3958*	0,3783**
Enfoltamento	-0.5586**	-0,14304	-0,3262*	-0,5504**	-0,24659	-0,3590**	-0,15014	-0,18455	-0,206102	-0,4333*	-0,36836	-0,4003**	-0,7143***	-0,5251**	-0,5672***	0,5023**	0,32305	0,3920**
Botões	-0,5247**	0,23683	-145364	-0,7072***	0,307351	-0,219076	-0,6533**	0,350923	-0,2597*	-0,6525***	-0,03426	-0,3684**	-0,6595***	-0,03426	-0,3619**	0,261272	-0,10771	0,140343
Totalmente florida	-0,30451	0,388012	0,020971	-0,4820*	0,3966*	-0,072227	-0,6036**	0,397507	-0,198581	-0,5638**	0,209644	-0,190282	-0,3962*	0,218357	-0,1262	0,00000	-0,13123	-0,019004
Floração concluída	-0,22504	0,181137	0,036775	-0,4366*	0,4437*	-0,04056	-0,5528**	0,5513**	0,010927	-0,4936*	0,141062	-0,173378	-0,2829	0,27042	-0,025028	-0,08505	-0,30492	-0,189977
Frutos imaturos	-0,5243**	-0,12634	-0,2965*	-0,7177***	-0,03739	-0,2975*	-0,6752***	0,042292	-0,120245	-0,6639***	-0,09205	-0,185422	-0,6507***	-0,12688	-0,236331	0,240265	0,196534	0,149499
Frutos maduros	-0,5216**	-	-0,3172*	-0,7195***	-	-0,4170**	-0,6735***	-	-0,4315***	-0,6604***	-	-0,3787**	-0,6498***	-	-0,3867**	0,242015	-	0,180134
Dispersão	-0,31487	-	-0,2871*	-0,4983**	-	-0,2975*	-0,6145***	-	-0,167154	-0,5725**	-	-0,088635	-0,3918*	-	-0,150213	-0,00762	-	0,068502

* (p) < 0,05; ** (p) < 0,01; *** (p) < 0,001.

***Bowdichia virgilioides* (Sucupira)**

- Variáveis reprodutivas

Os dois locais apresentaram padrões semelhantes para a correlação entre temperatura mínima e presença de botões florais, e entre a precipitação e temperatura com os eventos copa totalmente florida e floração concluída (Tabela 5).

A dispersão apresentou forte relação com o fotoperíodo em DIA e em ITA não apresentou correlação com as variáveis meteorológicas estudadas (Tabela 5). Essa diferença ressalta a ideia que as variáveis edáficas podem influenciar mais o referido evento em relação às climáticas.

- Variáveis não-reprodutivas

A desfolha apresentou forte relação com as variáveis meteorológicas nas duas áreas estudadas. Para DIA a variável de maior destaque foi a temperatura mínima, apresentando correlação com $p < 0,001$ tanto para os períodos parciais quanto para o total. Já para ITA foi o fotoperíodo (Tabela 5). Os valores significativos para o fotoperíodo apresentaram correlação negativa sugerindo que o aumento das horas de insolação diminui a desfolha.

O período com o maior fotoperíodo coincide com o verão, que nas áreas estudadas é chuvoso. Como a senescência está relacionada ao déficit hídrico, o período da desfolha nas espécies ocorre nas áreas de estudo no inverno que possui o menor fotoperíodo.

As variáveis meteorológicas não apresentaram um padrão na relação com o enfolhamento nas duas áreas, uma vez que os resultados parciais e o total seguiram padrões divergentes (Tabela 5).

Tabela 5: Correlações de Spearman entre oito fenofases da *Bowdichia virgilioides* e elementos meteorológicos para intervalos anuais (24 observações) e o período total (58 observações) nos municípios de Diamantina (DIA) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais. Correlações na região cinza foram significativas, sobrescrito a significância do p-valor.

	Precipitação (ano anterior)			Precipitação (ano atual)			Fotoperíodo			Temperatura máxima			Temperatura mínima			Amplitude térmica		
	Ano 1	Ano 2	Ano total	Ano 1	Ano 2	Ano total	Ano 1	Ano 2	Ano total	Ano 1	Ano 2	Ano total	Ano 1	Ano 2	Ano total	Ano 1	Ano 2	Ano total
DIA	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s
Desfolha	-0.7347***	-0.4785*	-0.5904***	-0.6450***	-0.5717**	-0.556249***	-0.6998***	-0.6299***	-0.5294***	-0.6123***	-0.5630**	-0.3877**	-0.6583***	-0.7939***	-0.5853***	0,185808	0,4887*	0,3713**
Enfoltamento	-0,13951	0,4264*	0,018811	-0,03562	0,4719*	0,066409	-0,22257	0,253208	-0,055573	0,020544	0,3976*	0,228552	0,039034	0,4366*	0,181311	0,056155	-0,37434	-0,012878
Botões	-0.6048**	-0,21982	-0.4030**	-0,28902	-0.4478*	-0.3271*	-0,31084	-0,20291	-0.3353**	-0,29522	-0,18056	-0.2753*	-0,28858	-0.4851*	-0.3623**	-0,0453	0,5635**	0,202271
Totalmente florida	-0,0158	0,1116	0,014996	0,197722	-0,15526	0,008696	0,235535	0,019595	-0,010217	0,30076	0,095252	0,122949	0,181583	-0,14097	0,019354	-0,02295	0,338551	0,077031
Floração concluída	-0,30834	0,120021	-0,139522	0,208606	0,040034	0,151255	0,128244	0,04	-0,003987	0,025927	0,306667	0,0471	0,262969	0,093333	0,169613	-0,5347**	0,2	-0,2929*
Frutos imaturos	-0,29576	0,27818	-0,014842	0,258615	0,3998*	0,2603*	0,164356	0,376648	0,140749	0,035186	0,141803	0,038049	0,293526	0,178622	0,165376	-0,5514**	-0,2045	-0,3267*
Frutos maduros	0,272612	0,086548	0,251972	0,31393	0,247238	0,3023*	0,5546**	0,301017	0,3760**	0,4106*	0,088752	0,175076	0,6303***	0,18416	0,3831**	-0,3948*	-0,17455	-0,2935*
Dispersão	0,5211**	0,138699	0,2721*	0,067771	0,4626*	0,222376	0,5217**	0,5066**	0,4585***	0,381299	0,039445	0,142718	0,4071*	0,212635	0,24026	-0,08562	-0,35871	-0,175702
ITA																		
Desfolha	-0,25547	-0,5900**	-0,4168**	-0,12993	-0,5601**	-0,4344***	0,228141	-0,8463***	-0,6333***	0,076511	-0,5141**	-0,204856	-0,16879	-0,6270***	-0,4223***	0,262919	0,382487	0,3769**
Enfoltamento	-0,4772*	0,145555	-0,157262	-0,4804*	0,4868*	-0,080011	-0,22748	0,276723	-0,206102	-0,4724*	0,149136	-0,064056	-0,5877**	0,243544	-0,132771	0,308545	-0,26099	0,053507
Botões	-0,14516	-0,16544	-0,147729	0,192266	-0,33855	-0,157867	0,4166*	-0,22443	-0,2597*	0,247691	-0,4733*	-0,2650*	0,060187	-0,6155***	-0,3977**	0,138429	0,4247*	0,3091*
Totalmente florida	0,098686	-0,24471	-0,104008	0,291942	-0,4817*	-0,18214	0,4370*	-0,21669	-0,198581	0,247654	-0,19962	-0,084437	0,209009	-0,4600*	-0,243677	-0,06913	0,6154***	0,3297*
Floração concluída	0,4421*	0,329071	0,3518**	0,297155	0,268687	0,240942	0,4253*	0,34779	-0,010927	0,2809	0,072145	0,107571	0,088283	0,039307	0,030061	0,05618	-0,08608	-0,000393
Frutos imaturos	0,4421*	0,234345	0,2970*	0,297155	0,4291*	0,3178*	0,4253*	0,5388**	-0,120245	0,2809	0,289565	0,2611*	0,088283	0,324944	0,189119	0,05618	-0,15512	-0,031693
Frutos maduros	-	0,086103	0,038754	-	0,284542	0,2663*	-	0,4622*	-0,4315***	-	0,251464	0,15101	-	0,284007	0,178838	-	-0,11168	-0,106552
Dispersão	-	-0,12043	-0,18325	-	0,120226	0,086654	-	0,333333	-0,167154	-	0,2	0,161497	-	0,12	0,107921	-	-0,01333	-0,028861

* (p) < 0,05; ** (p) < 0,01; *** (p) < 0,001.

***Plathymenia reticulata* (Vinhático)**

- Variáveis reprodutivas

O presente estudo indica que o evento presença de botões florais está relacionado com variáveis edáficas e/ou fisiológicas, uma vez que o mesmo não apresentou correlação com nenhuma das variáveis meteorológicas estudadas (Tabela 6).

A precipitação apresentou pequena relação com os eventos referentes à floração nas duas áreas (Tabela 6). Esse resultado pode ser explicado pela profundidade do sistema radicular dos indivíduos. As plantas adultas estão expostas a altos níveis de irradiação solar, mas possuem um sistema radicular mais extenso e que, em muitos casos, penetra nas camadas mais profundas do solo (Palhares *et al.*, 2010), promovendo uma maior independência em relação às variáveis meteorológicas.

Segundo Bulhão e Figueiredo (2002), para o cerrado, a aparente correlação entre atividade e disponibilidade de água sugere que a seca sazonal, atuando como um fator limitante para o crescimento, seja um dos principais fatores ambientais determinantes dos padrões fenológicos.

O fotoperíodo foi a variável que se destacou nas duas áreas para os eventos relacionados à frutificação. Já a dispersão não apresentou um padrão para as duas áreas (Tabela 6). A diferença entre as correlações nas duas áreas pode ser devido à diferença edáfica das mesmas, uma vez que o solo de DIA é mais arenoso e possui afloramentos rochosos.

- Variáveis não-reprodutivas

A desfolha e o enfolhamento apresentaram padrões de semelhantes nas duas áreas, sendo que a desfolha apenas não apresentou correlação com a amplitude térmica.

O fotoperíodo saiu do padrão ao observar o enfolhamento para as duas áreas. Em DIA apresentou correlação positiva e para todos os períodos, já em ITA não apresentou correlação.

Para as áreas estudadas, o aumento do fotoperíodo ocorre durante a estação chuvosa que coincide com o verão. Neste período, normalmente, ocorre o surgimento das folhas novas em espécies caducifólias em decorrência à ausência do déficit hídrico.

Tabela 6: Correlações de Spearman entre oito fenofases da *Plathymenia reticulata* e elementos meteorológicos para intervalos anuais (24 observações) e o período total (58 observações) nos municípios de Diamantina (DIA) e Itamarandiba (ITA) situadas na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais. Correlações na região cinza foram significativas, sobrescrito a significância do p-valor.

	Precipitação (ano anterior)			Precipitação (ano atual)			Fotoperíodo			Temperatura máxima			Temperatura mínima			Amplitude térmica		
	Ano 1	Ano 2	Ano total	Ano 1	Ano 2	Ano total	Ano 1	Ano 2	Ano total	Ano 1	Ano 2	Ano total	Ano 1	Ano 2	Ano total	Ano 1	Ano 2	Ano total
DIA	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s	r_s
Desfolha	-0,3246	-0,4545*	-0,3225*	-0,4885*	-0,4194*	-0,3129*	-0,7128***	0,6478**	-0,4606***	-0,4621*	-0,6067**	-0,2773*	-0,5367**	-0,6006**	-0,3390**	0,4673*	0,102755	0,211921
Enfolhamento	-0,4176*	0,3625	-0,0657	0,0689	0,2568	0,1005	-0,1883	0,4256*	0,0559	-0,2222	0,28593	0,036718	0,097886	0,15464	0,059501	-0,4782*	0,047521	-0,166861
Botões	-0,1741	0,3824	0,1199	0,2261	0,2657	0,1974	0,1497	0,1716	0,0781	0,19157	-0,02219	0,054486	0,28274	0,01775	0,127986	-0,2988	-0,137566	-0,182818
Totalmente florida	-0,1748	0,3067	0,0487	0,3727	0,2536	0,2920*	0,2618	0,1467	0,1268	0,0191	0,04	0,015871	0,283972	0,04	0,152092	-0,4663*	-0,04	-0,2626*
Floração concluída	-0,0208	0,3067	0,1619	0,3869	0,2536	0,2952*	0,2515	0,1467	0,1349	0,0318	0,04	0,031045	0,343914	0,04	0,16847	-0,3882*	-0,04	-0,210106
Frutos imaturos	0,5248**	-0,3229	-0,0188	0,0635	-0,2391	-0,2829*	0,5180**	-0,5979**	-0,1835	0,38253	-0,31559	-0,049649	0,4207*	-0,16818	-0,07671	-0,0955	-0,155029	0,197758
Frutos maduros	-	-0,5694**	-0,2878*	-	-0,6367***	-0,4534***	-	-0,6336**	-0,4392***	-	-0,5225**	-0,3307**	-	-0,7879**	-0,5697***	-	0,6285***	0,4638***
Dispersão	0,3789	-0,2286	0,0571	0,4420*	-0,4610*	-0,0750	0,3886*	-0,2451	0,0096	0,26235	-0,19153	-0,080156	0,153491	-0,4729*	-0,2925*	-0,0397	0,5423**	0,220304
ITA																		
Desfolha	-0,4250*	-0,4545*	-0,3415**	-0,6263***	-0,4195	-0,3156*	-0,6671***	0,6478**	-0,3741**	-0,6625***	-0,6067**	-0,2798*	-0,5495**	-0,6006**	-0,2869*	0,12732	0,102755	0,036028
Enfolhamento	0,0559	0,3625	0,1482	0,2803	0,2568	0,1897	0,5631**	0,4256*	0,3588**	0,2776	0,28593	-0,000683	0,116224	0,15464	-0,095179	0,06271	0,047521	0,073842
Botões	0,0056	0,3824	0,1493	0,1214	0,2657	0,1842	0,2914	0,1716	0,2171	0,33325	-0,02219	0,164407	0,185413	0,01775	0,092371	0,06345	-0,137566	0,000501
Totalmente florida	0,1304	0,3067	0,1348	0,3012	0,2536	0,2825*	0,4208*	0,1467	0,3085*	0,16345	0,04	0,032238	0,31433	0,04	0,202639	-0,247	-0,04	-0,255064
Floração concluída	0,2230	0,3067	0,1631	0,0977	0,2536	0,0608	0,4023*	0,1467	0,2635*	0,4223*	0,04	0,2579*	0,22188	0,04	0,129553	0,08579	-0,04	0,057786
Frutos imaturos	0,3319	-0,3229	-0,1170	0,2058	-0,2391	-0,2094	0,3868	-0,5979**	-0,3363**	0,2204	-0,31559	-0,143283	0,071741	-0,16818	-0,189713	0,01405	-0,155029	0,10812
Frutos maduros	-	-0,5694**	-0,2550	-	-0,6367**	-0,4062**	-	-0,6336**	-0,3655**	-	-0,5225**	-0,4395***	-	-0,7879**	-0,5061***	-	0,6285***	0,2919*
Dispersão	-	-0,2286	-0,0399	-	-0,4610*	-0,2137	-	-0,2451	-0,1090	-	-0,19153	-0,193555	-	-0,47296	-0,32454	-	0,5423***	0,2807*

* (p) < 0,05; ** (p) < 0,01; *** (p) < 0,001.

4 CONCLUSÃO

Os eventos relacionados à folhagem e floração das três espécies apresentaram sincronia entre as três áreas. As fenofases referentes à frutificação apresentaram sincronia para a sucupira e o vinhático nas três áreas, já para o pequi houve sincronia entre Diamantina (DIA) e São Gonçalo do Rio Preto (SGRP). As espécies apresentaram relação com as variáveis meteorológicas estudadas, sendo que os intervalos parciais apresentaram tendência diferente dos períodos totais demonstrando a necessidade de uma série temporal mais longa. A maioria dos eventos apresentaram sazonalidade.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATALHA, M.A.; MANTOVANI, W. Reproductive phenological patterns of cerrado plant species at the Pé-de Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, SP, Brazil): a comparison between the herbaceous and woodyfloras. **Revista Brasileira de Biologia** 60(1): 129-145. 2000.

BENCKE, C.S.C.; MORELLATO, L.P.C. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. **Revista Brasileira de Botânica**, V.25, n.3, p.269-275, set. 2002.

BORGES, H.B.N.; SHEPHERD, G.J. Flora e estrutura do estrato lenhoso numa comunidade de Cerrado em Santo Antônio do Leverger, MT, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, V.28, n.1, p.61-74, jan.-mar. 2005.

BULHÃO, C.F.; FIGUEIREDO, P.S. Fenologia de leguminosas arbóreas em uma área de cerrado marginal no nordeste do Maranhão. **Revista Brasileira de Botânica**, V.25, n.3, p.361-369, set. 2002.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas. (Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras, v.2). 2006. 627 p.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas. (Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras, v.3). 2008. 593 p.

COSTA, I.R.; ARAÚJO, F.S.; LIMA-VERDE, L.W. Flora e aspectos auto-ecológicos de um enclave de cerrado na chapada do Araripe, Nordeste do Brasil. **Acta Botânica Brasília** 18(4): 759-770. 2004.

ENCINAS, J.I.; SANTANA, O.A.; IMAÑA, C.R. Estructura diamétrica de um fragmento del bosque tropical seco de la región del Eco-Museo del Cerrado, Brasil. **Colombia Forestal** Vol. 14 / Enero-Junio, 2011.

FAGUNDES, M.; ARAÚJO, L.S.; NUNES, Y.R.F. Efeitos do Estágio Sucessional do Habitat na Fenologia do Pequi (*Caryocar brasiliense*: Caryocaraceae). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 144-146, jul. 2007.

FOURNIER, L. A. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. **Turrialba** 24: 422-423. 1974.

FUNCH, L.S.; FUNCH, R.; BARROSO, G. M. Phenology of Gallery and Montane Forest in the Chapada Diamantina, Bahia, Brazil. **Biotropica**, v. 34, n. 1, p. 40-50, 2002.

GOMES, E.C.S.; BARBOSA, J.; VILAR, F.C.R.; PEREZ, J.O.; VILAR, R.C.; FREIRE, J.L.O.; LIMA, A.N.; DIAS, T.J. Plantas da Caatinga de uso terapêutico: levantamento etnobotânico. **Engenharia Ambiental** – Espírito Santo do Pinhal, v.5, n.2, p. 074-085, mai/ago 2008.

GRIBEL, R.; HAY, J.D. Pollination ecology of *Caryocar brasiliense* (Cariocaraceae) in Central Brazil Cerrado vegetation. **Journal of Tropical Ecology**, v. 9, p. 199-211, 1993.

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1961 - 1990**. Brasília, DF: Instituto Nacional de Meteorologia, 465p, 2009.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS - IEF. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Rio Preto**. Paraná. 2004. 1: 2.2p.

KANEGAE, M.F.; BRAZ, V.S.; FRANCO, A.C. Efeitos da seca sazonal e disponibilidade de luz na sobrevivência e crescimento de *Bowdichia virgilioides* em duas fitofisionomias típicas dos cerrados do Brasil Central. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, V.23, n.4, p.459-468, dez. 2000.

KERR, W.E.; SILVA, F.R.; TCHUCARRAMAE, B. Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). Informações preliminares sobre um pequi sem espinhos no caroço. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 29, n. 1, p. 169-171, abril 2007.

KOVACH. **Oriana for Windows**. Kovach Computing Services, Wales, UK. 2004.

LAGOS, M.C.C.; MARIMON, B.S. Chuva de sementes em uma floresta de galeria no Parque do Bacaba, em Nova Xavantina, Mato Grosso, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa MG, v.36, n.2, p.311-320, 2012

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. São Paulo: Plantarum. 1992. 368p.

MARANGON, G.P.; CRUZ, A.F.; BARBOSA, W.B.; LOUREIRO, G.H.; HOLANDA, A.C. Dispersão de sementes de uma comunidade arbórea em um remanescente de Mata Atlântica, município de Bonito, PE. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) v.5, n.5, p. 80 - 87 (Número Especial), dezembro. 2010.

MORELLATO, P. C. As estações do ano na floresta. In: LEITÃO-FILHO, H. F.; MORELLATO, L. P. (Org.). **Ecologia e preservação de uma floresta tropical urbana - Reserva de Santa Genebra**. Campinas: UNICAMP. p.37-41. 1995.

MORELLATO, L.P.C.; TALORA, D.C.; TAKAHASI, A.; BENCHE, C.C; ROMERA, E.C; AND ZIPARRO, V.B. Phenology of Atlantic rainforest trees: a comparative study. **Biotropica** 32 (4b): 811-823. 2000.

MONTAGNINI, F.; FANZERES, A.; VINHA, S.G. da. Estudos de restauración ecológica en la región del Bosque Atlántico de Bahía, Brasil. **Yvyrareta**, Eldorado, v.5, n. 5, p.9-23, 1994.

MUNIZ, F.H. Padrões de floração e frutificação de árvores da Amazônia Maranhense. **Acta Amazonica**. vol. 38(4): 617 – 626. 2008.

NARDOTO, G.B., SOUZA, M.P.; FRANCO, A.C. Estabelecimento e padrões sazonais de produtividade de *Kielmeyera coriaceae* (Spr) Mart. nos cerrados do Planalto Central. **Revista Brasileira de Botânica**, 21(3): 313-319. 1998.

NERI, A.V.; CAMPOS, E.P.C.; DUARTE, T.G.; MEIRA NETO, J.A.A.; SILVA, A.F.; VALENTE, G.E. Regeneração de espécies nativas lenhosas sob plantio de *Eucalyptus* em área de Cerrado na Floresta Nacional de Paraopeba, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 19(2): 369-376. 2005.

OLIVEIRA, P.E.A.M. Fenologia e Biologia Reprodutiva das Espécies do Cerrado. In: **Cerrado – Ecologia e Flora** (SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F., eds.). Editora: Embrapa. Brasília, DF. p. 273-290. 2008.

PALHARES, D.; FRANCO, A.C.; ZAIDAN, L.B.P. Respostas fotossintéticas de plantas de cerrado nas estações seca e chuvosa. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 213-220, abr./jun. 2010.

PIRANI, F.R.; SANCHEZ, M.; PEDRONI, F. Fenologia de uma comunidade arbórea em cerrado sentido restrito, Barra do Garças, MT, Brasil. **Acta bot. bras.** 23(4): 1096-1109. 2009.

PROENÇA, C.; OLIVEIRA, R. S.; SILVA, A. P. **Flores e frutos do cerrado**. Brasília, DF: UnB. 2000. 226 p.

RUGGIERO, P.G.C., PIVELLO, V.R., SPAROVEK, G., TERAMOTO, E.; PIRES-NETO, A.G. Relação entre solo, topografia em área de cerrado. **Acta Botanica Brasilica**, 20(2): 383-394. 2006.

SCHULZE, E.D. Carbon dioxide and water vapour exchange in response to drought in the atmosphere and in the soil. **Annual Review of Plant Physiology**, 37: 247-274. 1986.

SEGHIERI, J., FLORET, C.H.; PONTANIER, R. Plant phenology in relation to water availability: herbaceous and woody species in the savannas of northern Cameroon. **Journal of Tropical Ecology** 11:237-254. 1995.

SILVA-JUNIOR, M.C. **100 Árvores do Cerrado**. Guia de campo. Editora: Rede de sementes do cerrado. Brasília. 2005. 303 p.

SILVA, A. C.; PEDREIRA, L. C. V. S. F.; ALMEIDA-ABREU, P. A. (Org.). **Serra do Espinhaço Meridional: Paisagens e Ambientes**. 1ª ed. Diamantina: UFVJM – Faculdade de Ciências Agrárias. 2005. 272p.

SILVA, L.A. da; SCARIOT, A. composição florística e estrutura da comunidade arbórea em uma floresta estacional decidual em afloramento calcário (Fazenda São José, São Domingos, GO, Bacia do Rio Paranã). **Acta Botanica Brasilica**, 17(2): 305-313. 2003.

SILVA, M.M.; FERREIRA, V.O. Análise comparativa do clima de Araçuaí, Pedra Azul e Itamarandiba, na porção mineira da bacia do rio Jequitinhonha. **Caderno de Geografia**, v.21, n.35. 2011.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária - UFV. 1991. 449p.

VILELA, G.F.; CARVALHO, D.; VIEIRA, F.A. Fenologia de *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae) no Alto Rio Grande, Sul de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 317-329, out./dez. 2008.

ZAR, J. H. **Bioestatística Analysis**. Prentice Hall. New Jersey. 1999. 929 p.

CAPÍTULO II – UTILIZAÇÃO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA PREDIÇÃO DE EVENTOS FENOLÓGICOS REPRODUTIVOS

RESUMO: As redes de neurônios artificiais foram inspiradas no cérebro humano. Uma das vantagens das Redes Neurais Artificiais (RNAs) é que elas não requerem informação detalhada sobre os processos físicos do sistema a ser modelado, sendo este descrito explicitamente na forma matemática. O objetivo deste trabalho foi utilizar a RNA com o intuito de estimar o evento na quinzena atual e prever a ocorrência de fenofases, ambos utilizando como base as variáveis meteorológicas. As espécies *Caryocar brasiliense*, *Bowdichia virgilioides* e *Plathymenia reticulata* foram selecionadas devido ao seu potencial em recuperar áreas degradadas e uso de multiprodutos (madeireiros e não madeireiros). As áreas selecionadas foram em Diamantina (DIA) e Itamarandiba (ITA). Foram alocados 12 indivíduos de cada espécie, amostrados sistematicamente, em cada área. As visitas fenológicas foram quinzenais entre dezembro de 2008 e fevereiro de 2011. Nestas foram registradas as fenofases referentes à floração, frutificação e dispersão, seguindo a escala de Fournier e posteriormente quantificadas por meio do cálculo do índice de atividade. Os dados meteorológicos foram fornecidos pelas Estações Climatológicas Principais de Diamantina e Itamarandiba (INMET). Os dados referentes às fases reprodutivas das espécies estudadas foram processados utilizando as Redes Neurais Artificiais (RNA's) para obtenção da estimativa atual e futura dos valores referentes à porcentagem dos eventos fenológicos. Os valores das correlações foram altos, destacando-se as redes processadas para as fenofases separadamente. O erro quadrático médio foi baixo para todas as redes ($2,53 \times 10^{-5}$ a $9,99 \times 10^{-7}$). As RNA's apresentaram-se como um grande apoio no estudo da fenologia, uma vez que com um banco de dados menor que três anos os valores estimados foram muito próximos dos observados principalmente quando utilizada uma rede por fenofase. A estimativa futura demonstrou a possibilidade de previsão de eventos fenológicos possuindo apenas dados meteorológicos. A rede selecionada pode ser salva e realimentada para sua reutilização apenas se a amplitude das variáveis inseridas for menor ou igual a amplitude das variáveis da rede utilizada.

PALAVRAS-CHAVE: Cerrado; Redes Complexas; espécies nativas; Serra do Espinhaço.

ABSTRACT: The artificial neural networks were inspired by the human brain. One of the advantages of Artificial Neural Networks (ANN) is that they do not require detailed information about the physical system to be modeled, this being explicitly described in mathematical form. The aim of this study was to use RNA with the purpose of estimate the event in the current fortnight and predict the occurrence of phenological phases, both using as a basis the meteorological variables. The species *Caryocar brasiliense*, *Bowdichia virgilioides* and *Plathymenia reticulata* were selected because of their potential to recover degraded areas and use of multiproducts. The areas selected were Diamantina (DIA) and Itamarandiba (ITA). Were selected 12 subjects for each species, systematically sampled, from each of the two areas. The visits were fortnightly phenological between December 2008 and February 2011. In these phenophases were recorded related to flowering, fruiting and dispersal, following the scale Fournier and later quantified by calculating the activity index. Meteorological data were provided by Climatological Stations Main of the DIA and ITA (INMET). The data relating to reproductive phases of the studied species were processed using Artificial Neural Networks (ANN) to obtain the estimate of current and future values for the percentage of phenological events. Correlation values were high, highlighting the networks processed for phenophases separately. The mean square error was low for all networks ($2,53 \times 10^{-5}$ a $9,99 \times 10^{-7}$). The ANN presented as a lot of support in the study of phenology, because due to a database of less than three years, the estimated values were very close to those observed especially when used one phenophase for the each network. The estimated future demonstrated the possibility of predicting phenological events having only meteorological data. The selected network can be saved and fed back for reuse only if the amplitude of the variables entered is less than or equal to the amplitude of the variables of the network used.

KEY WORDS: Savannah; Complex Networks; native species; Serra do Espinhaço.

1 INTRODUÇÃO

As redes de neurônios artificiais foram inspiradas no cérebro humano, e esta possui características como capacidade de ajuste a novos ambientes pelo treinamento, potencial para processar informações, além de alta velocidade de processamento (Segatto et al., 2006).

Uma das vantagens das Redes Neurais Artificiais (RNAs) sobre os métodos convencionais é que elas não requerem informação detalhada sobre os processos físicos do sistema a ser modelado, sendo este descrito explicitamente na forma matemática (modelo de entrada-saída) (Sudheer *et al.*, 2003).

A idéia básica subjacente ao paradigma das redes neurais é construir um modelo composto por unidades de processamento muito simples, que são chamadas de neurônios, com um grande número de conexões entre eles (Santos *et al.*, 2005). Ainda segundo o autor, o processamento básico de informação da rede ocorre nos neurônios e a informação entre os neurônios é transmitida através de conexões denominadas sinapses ou pesos sinápticos.

Em qualquer problema a ser resolvido por meio do uso de RNAs, é necessário o uso de pares de entrada já conhecidos. De acordo com o autor, muitas vezes a quantidade de pares disponíveis não é muito grande, mesmo assim deve-se separar esses dados em pelo menos dois conjuntos bem definidos: o conjunto de treinamento e o conjunto de teste (Oliveira *et al.*, 2010). Dentro do exposto, o objetivo deste trabalho foi utilizar a RNA com o intuito de estimar o evento na quinzena atual e prever a ocorrência de padrões fenológicos, ambos utilizando como base as variáveis meteorológicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização dos locais de estudo

O presente estudo foi conduzido em duas áreas de Cerrado localizados na região do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, inseridas na Serra do Espinhaço.

A topografia da região é predominantemente montanhosa, com altitudes que variam entre 700 e 1.700 m. A região é caracterizada por extensos afloramentos de rochas quartzíticas (Silva *et al.*, 2005).

2.1.1 – Diamantina (DIA)

O local de amostragem inclui um mosaico de remanescente de Cerrado denso e Cerrado típico (Walter *et al.*, 2008), no Parque Estadual do Biribiri (18°14'53" S e 43°39'57" W; com altitudes variando entre 750 a 1620 m), com cerca de 17.000 ha. O clima da região segundo a classificação Köppen é Cwb, temperado úmido, com inverno seco e chuvas no verão. A temperatura média anual é de 18,3°C, a média das mínimas é 14,1°C e a média das máximas de 23,7°C; sendo a temperatura média do mês mais quente de 20,1°C (INMET, 2009) com precipitação média anual de 1404 mm.

2.1.2 – Itamarandiba (ITA)

Localizadas em um remanescente de Cerrado denso (Walter *et al.*, 2008), na Reserva Guapuruvú, da empresa APERAM (17°43'22,6" S e 42°46'20,1" W; com altitudes variando entre 941 a 953 m), com cerca de 25.300 ha. O clima da região é tropical, com seis meses secos (de abril a setembro) e a precipitação média varia de 1150 a 1450 mm (Muller, 2005). A temperatura média anual é de 20,1° C e o clima é tropical de altitude Cfa Koppen (Ministério de Minas e Energia, 2005).

2.2 Caracterização das espécies estudadas

- *Caryocar brasiliense* (Pequi; Caryocaraceae): as folhas são compostas e opostas, trifolioladas, raramente monofolioladas e a inflorescência ocorre em racemos. Pertence ao grupo ecológico das pioneiras, sendo indicada para recuperação de áreas degradadas; polinizada principalmente por morcegos e com dispersão zoocórica (Carvalho, 2008; Costa *et al.*, 2004). A espécie apresenta importância social e econômica, sendo o extrativismo dos frutos nas populações naturais a principal fonte de renda de diversas comunidades rurais que vivem no cerrado (Vilela *et al.*, 2008).

- *Bowdichia virgilioides* (Sucupira preta; Fabaceae): folhas compostas e pinadas, de inserção alterna, com folíolos medindo de 6 a 10 cm de comprimento e possui a inflorescência em panículas (Carvalho, 2006). Pertencente ao grupo ecológico das pioneiras, é polinizada essencialmente por abelhas grandes e sua dispersão é anemocórica (Costa *et al.*, 2004; Marangon *et al.*, 2010); recomendada em recuperação de áreas degradadas (Carvalho, 2006) e outros usos. As raízes da sucupira são fixadoras de nitrogênio, associando-se com *Rhizobium* (Montagnini *et al.*, 1994).

- *Plathymenia reticulata* (Vinhático; Fabaceae): as folas são alternas e bipinadas, e a inflorescência é uma espiga insinuada nas folhas e nos ramos (Carvalho, 2008).

Relatada como secundária inicial (Silva *et al.*, 2003), são árvores (Costa *et al.*, 2004; Lopes *et al.*, 2010) de hábito decíduo, dispersão anemocórica (Costa *et al.*, 2004) e polinizadas essencialmente por abelhas (Carvalho, 2008). As raízes do vinhático são fixadoras de nitrogênio, associando-se com *Rhizobium* (Montagnini *et al.*, 1994).

2.3 Coleta dos dados fenológicos

Para o estudo dos padrões fenológicos, foram selecionados 12 indivíduos de cada espécie em cada uma das duas áreas a partir de suas condições fitossanitárias. Estes indivíduos foram amostrados, sistematicamente, percorrendo-se trilhas pequenas na área de estudo obedecendo a uma distância mínima de aproximadamente três metros.

Os indivíduos selecionados foram georreferenciados e visitados quinzenalmente entre dezembro de 2008 e fevereiro de 2011. Nestas visitas foram registradas as seguintes fenofases reprodutivas, seguindo a escala de Fournier: (1) botões florais; (2) copa totalmente florida; (3) floração concluída; (4) presença de frutos novos; (5) presença de frutos maduros e (6) dispersão. Estes eventos fenológicos foram quantificados quinzenalmente, através do cálculo do índice de atividade segundo Bencke & Morellato (2002).

2.4 Obtenção das variáveis climáticas

Dados meteorológicos diários de precipitação e temperatura no período da coleta de dados foram fornecidos pelas Estações Climatológicas Principais de Diamantina e Itamarandiba. Estes dados foram empregados para calcular os seguintes parâmetros, a saber:

- i) Temperatura máxima e mínima: Calculadas pela média entre os intervalos das visitas fenológicas;
- ii) Amplitude térmica: Calculada pela diferença entre a temperatura máxima e mínima;
- iii) Precipitação do ano anterior ao evento e precipitação do ano atual ao evento: Calculada pela soma entre os intervalos das visitas fenológicas, sendo que para o cálculo da precipitação do ano anterior utilizou-se os dados diários de precipitação referente ao ano anterior ao evento.

O fotoperíodo foi calculado de acordo com a latitude (Vianello *et al.*, 1991) e posteriormente pela média entre os intervalos das visitas fenológicas.

2.5 Redes Neurais Artificiais

Uma rede neural do tipo Perceptron de Múltiplas Camadas (Multilayer Perceptron – MLP) é constituída de uma camada de entrada de dados, uma camada de modificação desses dados chamada camada oculta ou escondida e uma camada de saída que são os resultados (figura 1), e todos os neurônios de uma camada estão interligados com todos os neurônios da camada subsequente (Ramos, 2003). Os neurônios de uma camada estão conectados apenas aos neurônios da camada imediatamente posterior, não havendo realimentação (comunicação unidirecional) nem conexões entre neurônios da mesma camada (Oliveira *et al.*, 2010).

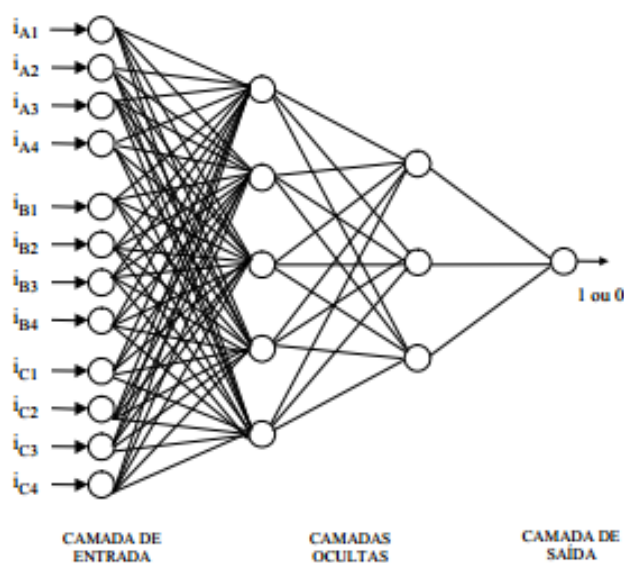


Figura 1: Representação das entradas e saídas das RNAs (Segatto e Coury, 2008). Onde i_{Ax} , i_{Bx} e i_{Cx} são variáveis de entrada.

Aproximação de função

Aproximação de função é uma tarefa de aprendizagem das redes neurais artificiais que consiste em encontrar uma função que descreva a relação entre uma variável quantitativa (saída) e uma ou mais variáveis quantitativas e, ou qualitativas (entradas), a partir da apresentação de dados observados destas variáveis a uma configuração de rede pré-estabelecida (Jain e Mao, 1996; Braga *et al.*, 2007).

Os dados foram analisados de duas formas:

- Estimativa atual: a porcentagem de ocorrência de um evento fenológico (saída) foi estimada em função das variáveis espécie (3 classes – Pequi, Sucupira e Vinhático), local (2 classes), mês (12 classes), quinzena (2 classes), precipitação anual relativa ao período do evento, precipitação anual anterior ao período do evento, temperatura

máxima, temperatura mínima, amplitude térmica e fotoperíodo. Esta análise considerou uma rede para todos os eventos fenológicos (neste caso, foi incluído como entrada a variável evento fenológico com 6 classes) e uma rede para cada evento fenológico. Total de sete redes.

- Estimativa futura (próxima quinzena com base na atual): a porcentagem de ocorrência de um evento fenológico da próxima quinzena (saída) foi estimada em função das variáveis espécie (3 classes), local (2 classes), mês atual (12 classes), quinzena atual (2 classes), mês futuro (12 classes), quinzena futura (2 classes), precipitação anual relativa ao período do evento (presente), precipitação anual anterior ao período do evento (presente), temperatura máxima (presente), temperatura mínima (presente), amplitude térmica (presente) e fotoperíodo (presente). Esta análise também considerou uma rede para todos os fenológicos (neste caso, foi incluído como entrada a variável evento fenológico com 6 classes) e uma rede para cada evento fenológico. Total de sete redes.

As redes neurais artificiais foram treinadas no sistema computacional NEUROFOREST (2013), com as seguintes configurações: número de neurônios da camada de entrada em função do número e das características das variáveis de entrada; número de neurônios da camada oculta menor ou igual ao número de neurônio da camada de entrada; número de neurônios da camada de saída igual a um (1); função de ativação da camada oculta - tangente hiperbólica; função de ativação da camada de saída - sigmoideal; algoritmo de treinamento - Resilient propagation; critério de parada do treinamento - erro médio quadrático igual a 10^{-6} ou número de épocas (ciclos) igual a 10.000 (o que fosse atingido primeiro). A arquitetura corresponde ao número de neurônios utilizados em cada camada em cada rede: camada de entrada – camada oculta – camada de saída.

A equação para o coeficiente de correlação utilizada foi:

$$Correl(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

em que

\bar{x} e \bar{y}

são as médias de amostra MÉDIA(matriz1) e MÉDIA(matriz2)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram processadas 14 redes: 1) estimativa atual com todas as seis fenofases; 2) estimativa atual para os botões florais; 3) estimativa atual para copa totalmente florida; 4) estimativa atual para floração concluída; 5) estimativa atual para frutos novos; 6) estimativa atual para frutos maduros; 7) estimativa atual para dispersão; 8) estimativa futura com todas as seis fenofases; 9) estimativa futura para botões florais; 10) estimativa futura para copa totalmente florida; 11) estimativa futura para floração concluída; 12) estimativa futura para frutos novos; 13) estimativa futura para frutos maduros; 14) estimativa futura para dispersão. Foi utilizado filtro nas redes 1 e 8 para montar os gráficos por fenofase.

Os valores das correlações foram altos, destacando-se as redes processadas para as fenofases separadamente (redes de 2 a 7 e de 9 a 14). As redes cujos dados estimados mais se aproximaram dos observados foram a 11, 14, 4, 13 e 3 com valores para o erro médio quadrático de 1×10^{-6} em menos de 2000 ciclos (Tabela 1).

O erro quadrático médio foi baixo para todas as redes ($2,53 \times 10^{-5}$ a $9,99 \times 10^{-7}$), Tabela 1.

Estimativa atual

A Rede Neural Artificial 1 (Figura 2) apresentou bom ajuste entre os dados estimados e os observados, mas muitos picos não foram estimados. O resultado pode ser explicado devido à distinção entre as fenofases que foram analisadas em conjunto. Na tabela 1 é possível observar que a correlação da rede é a menor de todas estudadas com valor de 0,723 (Tabela 1), reafirmando a explicação anterior. Pode-se indicar que dados de outra natureza como edáficos e/ou fisiológicos poderiam melhorar o ajuste da rede se somados aos dados meteorológicos.

O evento botões florais demonstrou, ao analisar os gráficos, melhores resultados para a rede 1 do que para rede 2 que utilizou somente o evento em questão para a sua análise. Na rede 1, algumas porcentagens do evento foram extrapoladas e alguns picos dos valores observados não foram identificados pela rede. Já a rede 2 apresentou valores estimados superestimados em todos os picos. Ao analisar os gráficos, o erro médio quadrático e a correlação, a rede 2 apresentou melhor ajuste para este evento (Figuras 3 e 4).

A rede 3 apresentou para o evento copa totalmente florida um excelente ajuste com um erro quadrático médio de $9,99 \times 10^{-7}$ e correlação de 0,999 (Tabela 1). Ao analisar os gráficos referentes ao evento, observa-se que a rede 1 apresentou dificuldade de ajuste para os picos dos dados observados e apresentou valores de erro e correlação inferiores à rede 3 (Figuras 5 e 6).

A fenofase floração concluída apresentou melhor ajuste par a rede 4 em relação à rede 1. Em ambas observou-se que a rede neural artificial apresentou dificuldade de ajuste para os valores referentes aos picos. Na rede 4 os picos foram superestimados, problema este que pode ser amenizado com uma série temporal maior (Figuras 7 e 8).

Dentre as fenofases estudadas, o evento frutos novos foi o que apresentou o pior ajuste tanto para todos os eventos fenológicos processados em apenas uma rede (rede 1) quanto para a rede com apenas este evento fenológico (rede 5). Esse resultado pode ser em função das diferentes épocas do evento por serem utilizadas as três espécies no banco de dados. A correlação foi a menor entre as redes com fenofases separadas, com valor de 0,899 (Tabela 1). A rede referente apenas à fenofase em questão apresentou os valores superestimados (Figura 10), a rede com todas as fenofases apresentou os valores subestimados. Uma série temporal maior ou o acréscimo de um número maior de variáveis (edáficas e/ou fisiológicas) podem aumentar o ajuste da rede (Figuras 9 e 10).

Para os eventos frutos novos e maduros as duas redes analisadas apresentaram padrões diferentes: a rede 1 subestimou os valores observados nos picos da porcentagem do evento e as redes 5 e 6 superestimou os mesmos valores. O erro quadrático médio (Tabela 1) apresentou valor muito superior às demais redes ($2,53 \times 10^{-5}$), fato que indica um ajuste inferior em relação às outras fenofases (Figuras 11 e 12). Resultado que pode ser explicado pela diferença do período de frutificação entre as três espécies trabalhadas (duas anemocóricas e uma zoocórica).

O padrão da dispersão foi semelhante ao dos frutos maduros: a rede 1 subestimou os valores observados nos picos da porcentagem do evento e a rede 7 superestimou os mesmos valores. O ajuste apresentado pela rede 7 para o evento apresentou um erro médio quadrático de $9,99 \times 10^{-7}$ e 2909 épocas (Tabela 1), o que demonstra uma sobreposição entre os dados observados e estimados muito boa (Figuras 13 e 14).

Estimativa futura

A rede 8 apresentou um bom ajuste com valores de erro quadrático médio e correlação de $2,35 \times 10^{-6}$ e 0,860, respectivamente (Tabela 1). Os valores referentes aos dados observados foram subestimados pelos valores estimados nos picos de porcentagem dos eventos em datas distintas e pouco recorrentes (Figura 15). A estimativa futura apresentou melhores ajustes e correlações quando comparada à estimativa atual (Tabela 1 e Figuras 2 e 15), fato importante para utilização de Redes Neurais Artificiais na previsão de eventos fenológicos.

A rede 9, referente ao evento botões florais, apresentou alto valor de correlação e baixo valor para o erro médio quadrático, o que demonstra alta qualidade no ajuste. As redes 8 e 9 identificaram todos os picos dos valores observados e na rede 9 os mesmos foram superestimados (Figuras 16 e 17).

Para a fenofase copa totalmente florida observa-se um ótimo ajuste ao analisar os gráficos, erro médio quadrático e correlação das redes 8 e 10 (Tabela 1 e Figuras 18 e 19). Os valores observados foram superestimados pelas duas redes, mas de forma mais acentuada na rede 10.

Ao analisar o erro médio quadrático e o número de épocas para as redes referentes à floração concluída, verificou-se que o melhor ajuste foi o da rede 11 com valores de $9,89 \times 10^{-7}$ e 679, respectivamente (Tabela 1). As redes referentes ao evento (redes 8 e 11) apresentaram os picos dos valores observados discretamente superestimados. Especificamente para este evento, o ajuste da rede 8 que utilizou todas as fenofases foi melhor em relação à rede 11 que utilizou apenas a fenofase floração concluída (Figuras 20 e 21).

O evento frutos novos apresentou o ajuste das redes semelhante ao da floração concluída, destacando-se a rede 8. A rede 12 conseguiu prever o evento, mas os picos dos dados observados foram superestimados (Figuras 22 e 23).

As redes referentes às fenofases frutos maduros (rede 13) e dispersão (rede 14) apresentaram o mesmo padrão no ajuste dos dados: a rede que utilizou todas as fenofases (rede 8) apresentou melhor ajuste quando comparada às redes que utilizaram apenas uma fenofase (frutos maduros – rede 13 e dispersão – rede 14). Ao analisar os valores do erro médio quadrático as redes 13 e 14 foram melhores do que a rede 8 (Tabela 1 e Figuras 24 a 27).

Yazdanpanah *et al.* (2010), assim como no presente trabalho, utilizaram dados climáticos e fenológicos para prever eventos fenológicos para a macieira utilizando

Redes Neurais Artificiais e encontrou uma precisão satisfatória para a área de Golmakan, localizada na província de Khorasan no Irã.

Os modelos de previsão para as fenofases separadamente apresentaram maior eficácia em relação aos modelos gerais, provavelmente porque plantas respondem de forma diferente aos mesmos estímulos ambientais dependendo das condições de tempo em um determinado ano (Oteros *et al.*, 2012).

As Redes Neurais Artificiais demonstraram forte relação entre o padrão fenológico e as variáveis climáticas. De acordo com Schulze (1986), a disponibilidade de água no solo desponta como a principal variável dentre os modelos teóricos que tentam explicar a dinâmica fitofisionômica do Cerrado. A aparente correlação entre atividade e disponibilidade de água sugere que a seca sazonal, atuando como um fator limitante para o crescimento, seja um dos principais fatores ambientais determinantes dos padrões fenológicos (Bulhão e Figueiredo, 2002).

Tabela 1: Descrição das Redes Neurais Artificiais utilizadas e suas respectivas correlações.

RNA	Arquitetura	Erro Quadrático Médio	Épocas	Correlação	Variável de saída
1	32-16-1	$4,01 \times 10^{-6}$	10000	0,723	índice de atividade das seis fenofases
2	25-13-1	$9,96 \times 10^{-7}$	8327	0,999	índice de atividade dos botões florais
3	25-13-1	$9,99 \times 10^{-7}$	1906	0,999	índice de atividade da copa totalmente florida
4	25-13-1	$9,89 \times 10^{-7}$	1319	0,999	índice de atividade da floração concluída
5	25-13-1	$6,36 \times 10^{-6}$	9999	0,899	índice de atividade dos frutos novos
6	25-13-1	$2,53 \times 10^{-5}$	9999	0,975	índice de atividade dos frutos maduros
7	25-13-1	$9,99 \times 10^{-7}$	2909	0,964	índice de atividade da dispersão
8	46-23-1	$2,35 \times 10^{-6}$	10000	0,860	índice de atividade das seis fenofases
9	39-19-1	$9,98 \times 10^{-7}$	3832	0,999	índice de atividade dos botões florais
10	39-19-1	$9,90 \times 10^{-7}$	2516	0,999	índice de atividade da copa totalmente florida
11	39-19-1	$9,89 \times 10^{-7}$	679	0,999	índice de atividade da floração concluída
12	39-19-1	$4,48 \times 10^{-5}$	9999	0,999	índice de atividade dos frutos novos
13	39-19-1	$9,99 \times 10^{-7}$	1814	0,999	índice de atividade dos frutos maduros
14	39-19-1	$9,89 \times 10^{-7}$	1275	0,999	índice de atividade da dispersão

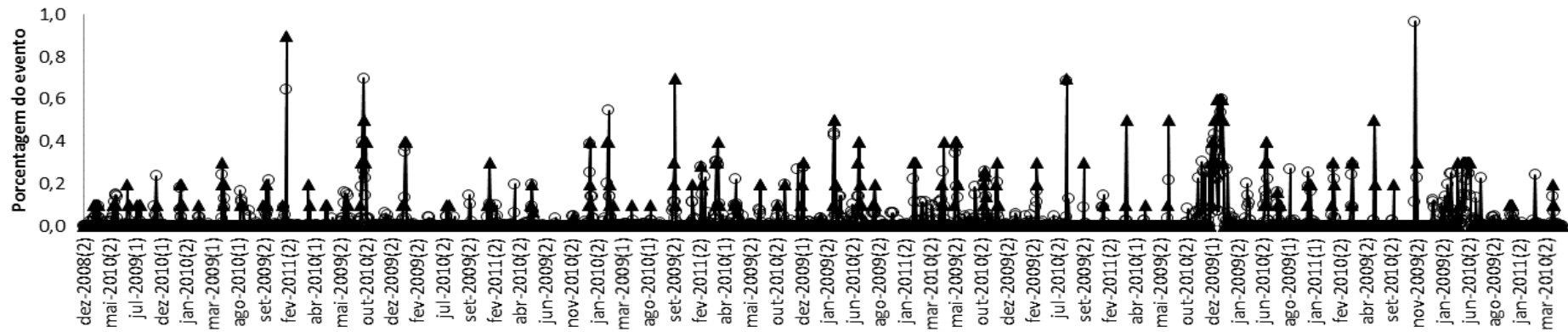


Figura 2: Valores estimados (\circ) e observados (\blacktriangle) do período atual para a Rede Neural Artificial 1 para as três espécies e duas áreas estudadas para todas as fenofases.

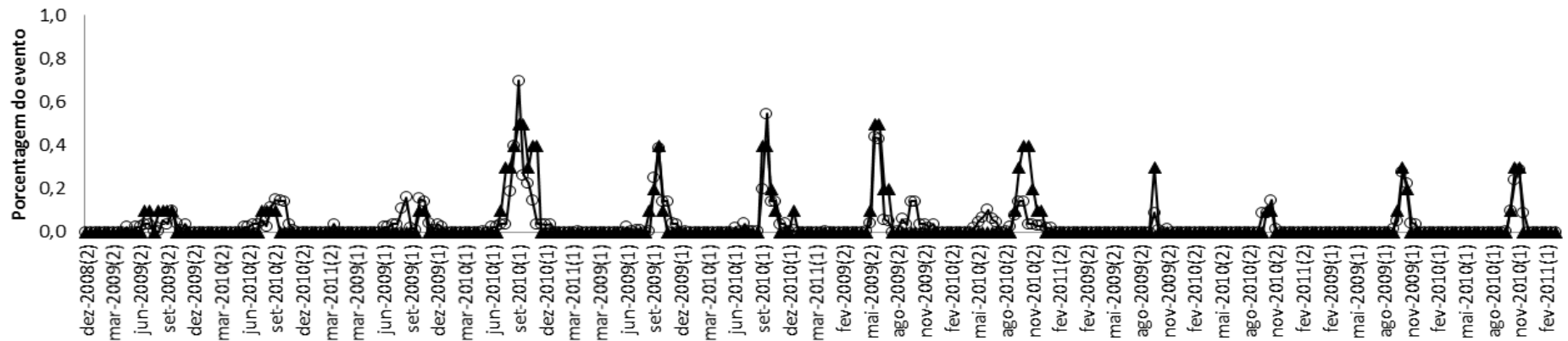


Figura 3: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) do período atual para a Rede Neural Artificial 1 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase botões florais.

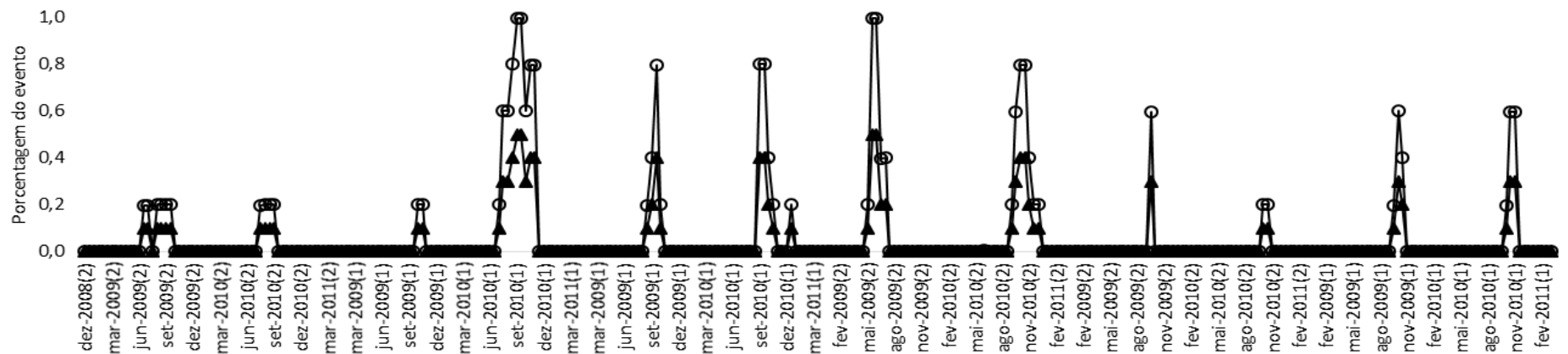


Figura 4: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) do período atual para a Rede Neural Artificial 2 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase botões florais.

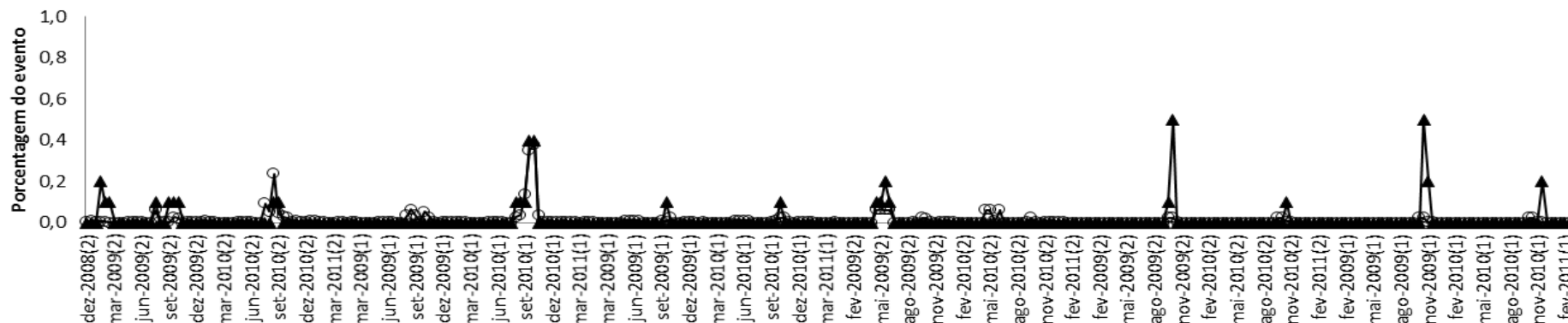


Figura 5: Valores estimados (\circ) e observados (\blacktriangle) do período atual para a Rede Neural Artificial 1 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase copa totalmente florida.

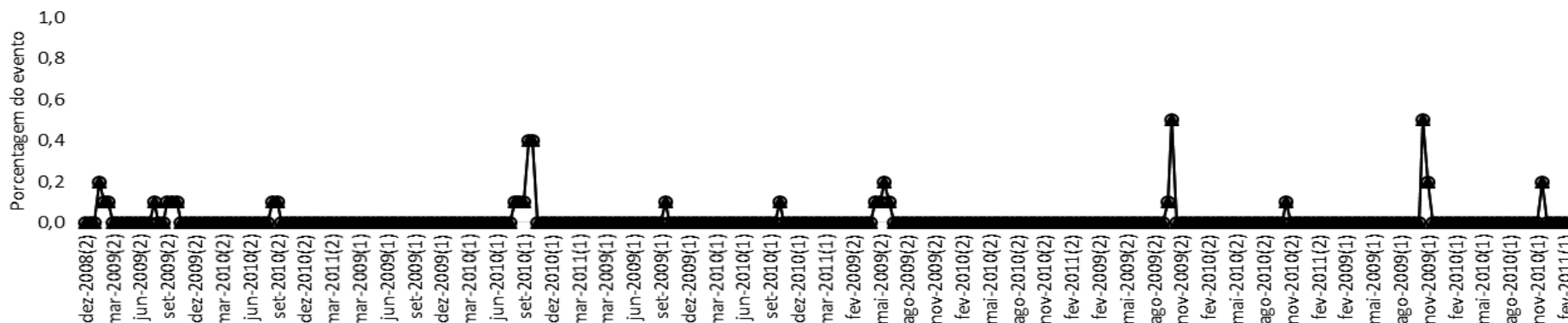


Figura 6: Valores estimados (\circ) e observados (\blacktriangle) do período atual para a Rede Neural Artificial 3 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase copa totalmente florida.

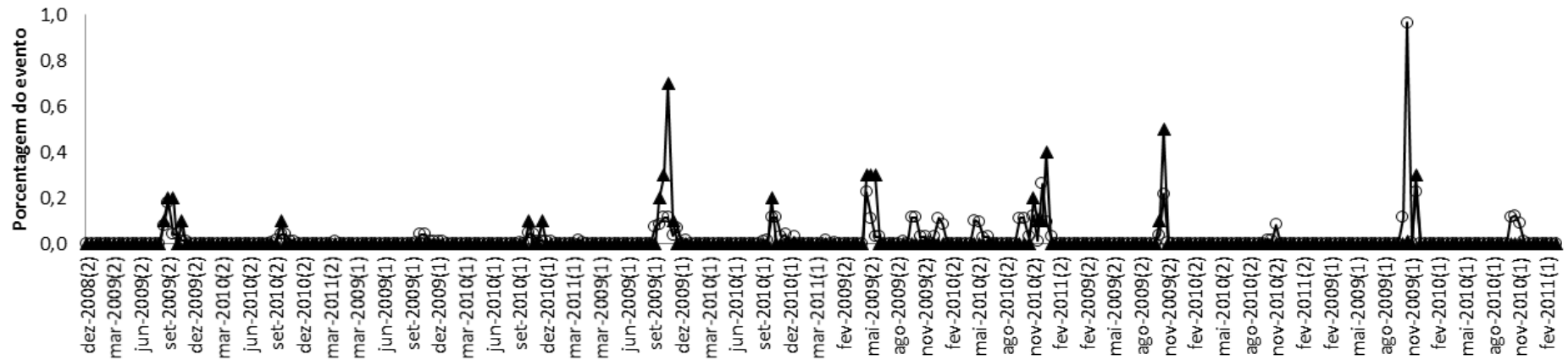


Figura 7: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) do período atual para a Rede Neural Artificial 1 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase floração concluída.

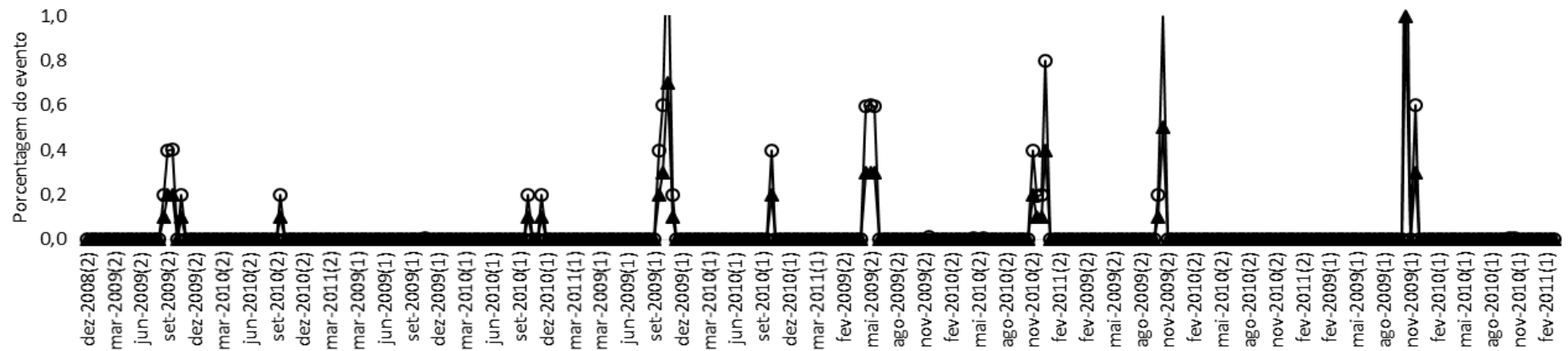


Figura 8: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) do período atual para a Rede Neural Artificial 4 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase floração concluída.

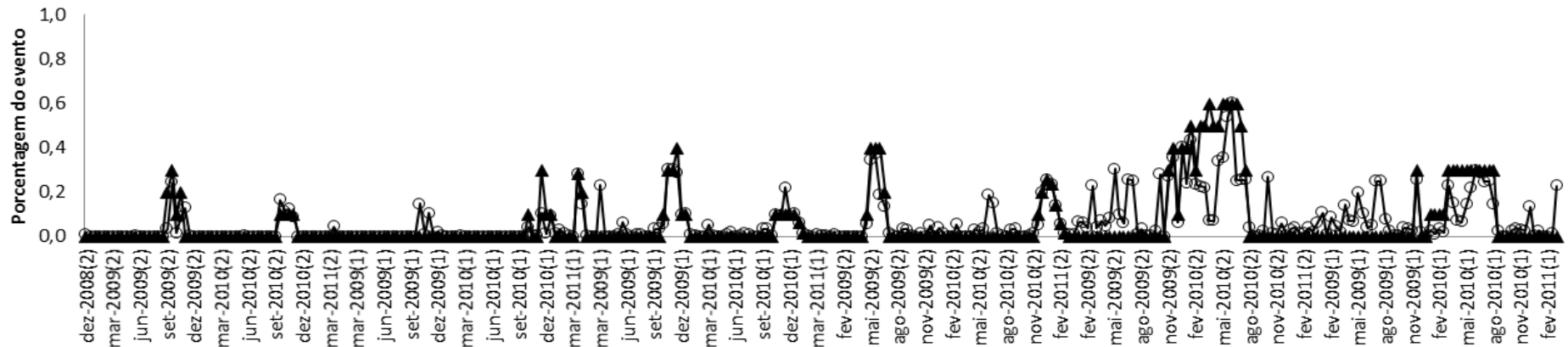


Figura 9: Valores estimados (—○) e observados (—▲) do período atual para a Rede Neural Artificial 1 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase frutos novos.

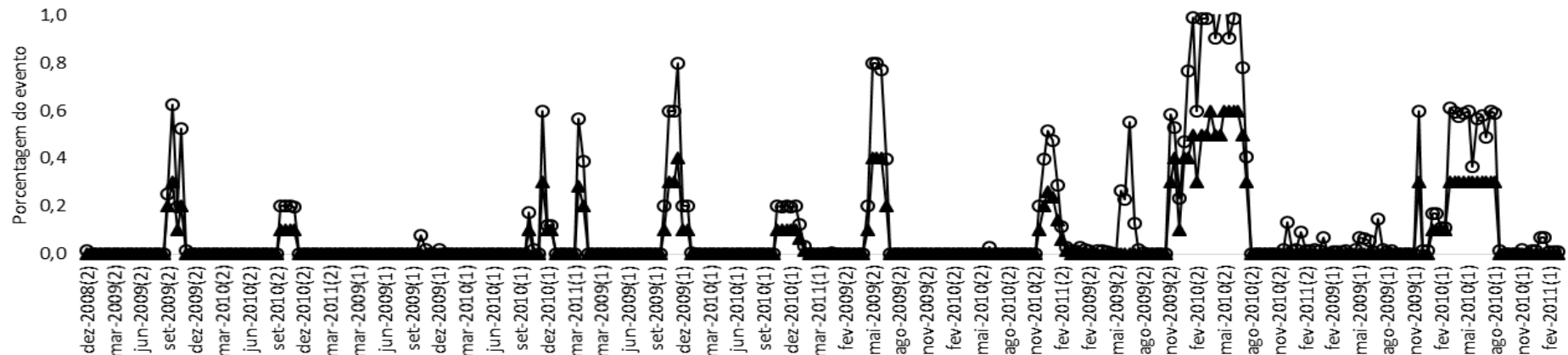


Figura 10: Valores estimados (—○) e observados (—▲) do período atual para a Rede Neural Artificial 5 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase frutos novos.

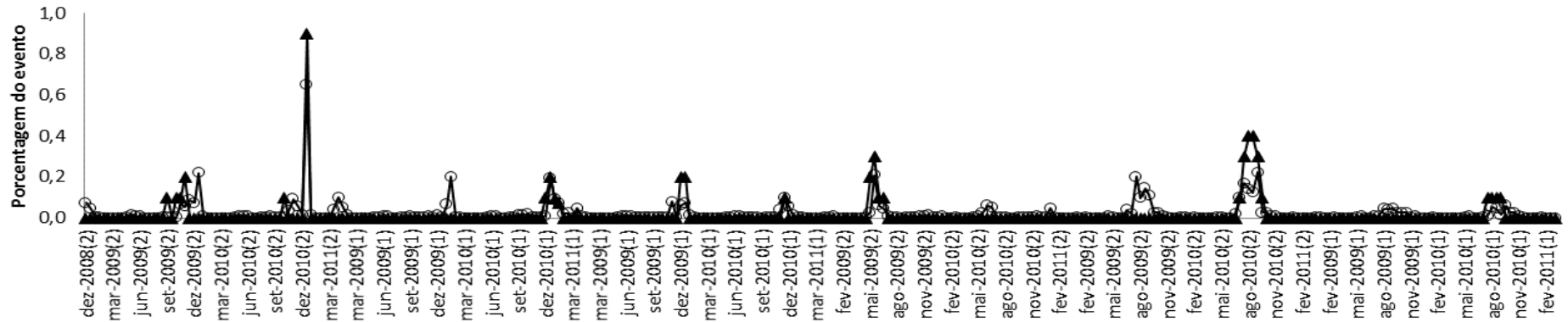


Figura 11: Valores estimados (●) e observados (▲) do período atual para a Rede Neural Artificial 1 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase frutos maduros.

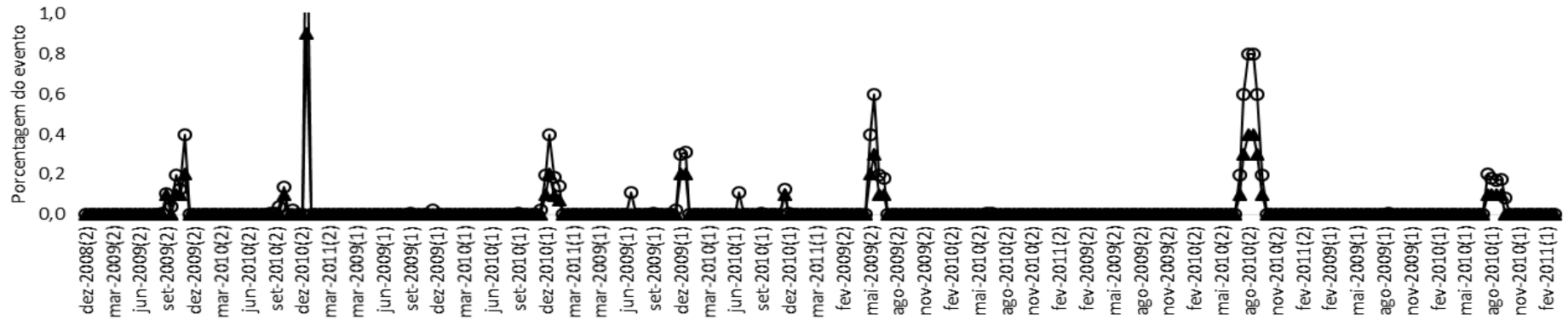


Figura 12: Valores estimados (●) e observados (▲) do período atual para a Rede Neural Artificial 6 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase frutos maduros.

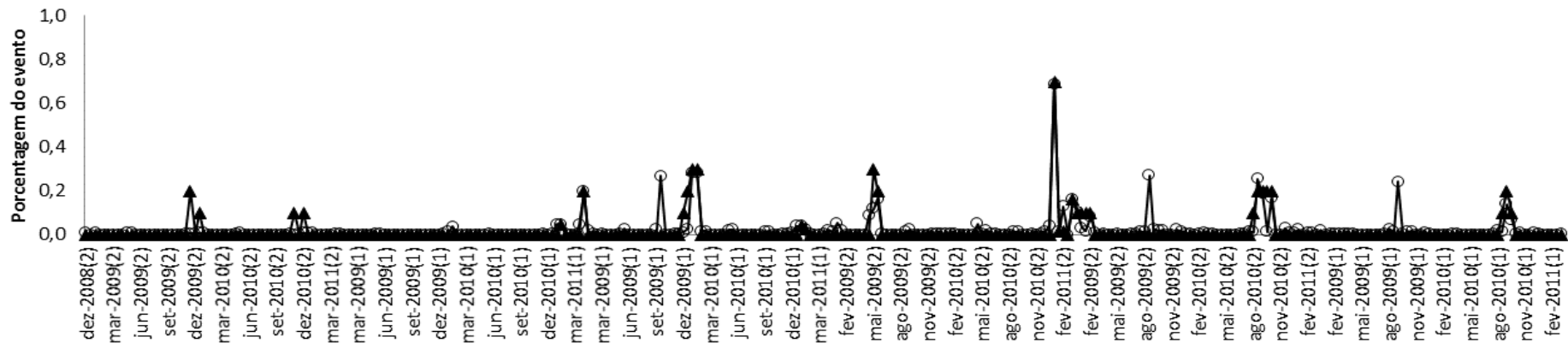


Figura 13: Valores estimados (●) e observados (▲) do período atual para a Rede Neural Artificial 1 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase dispersão.

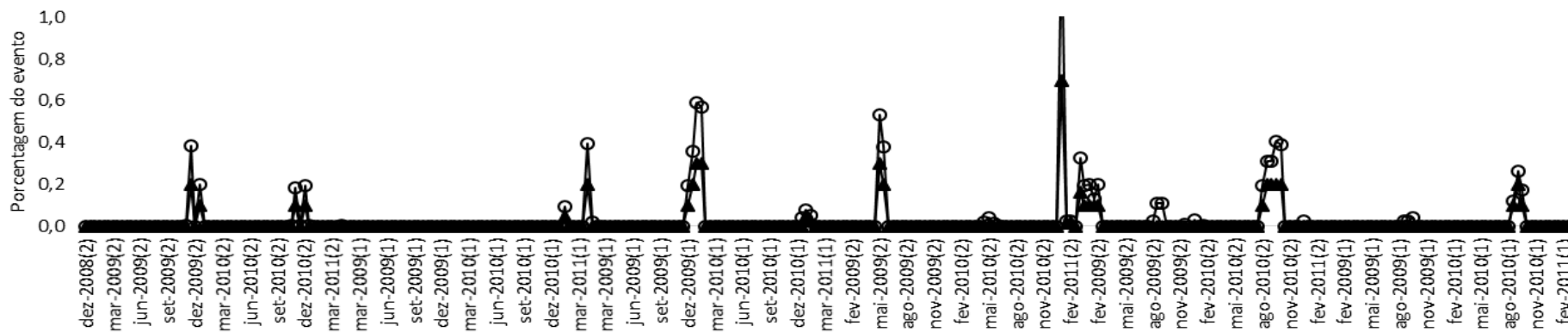


Figura 14: Valores estimados (●) e observados (▲) do período atual para a Rede Neural Artificial 7 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase dispersão.

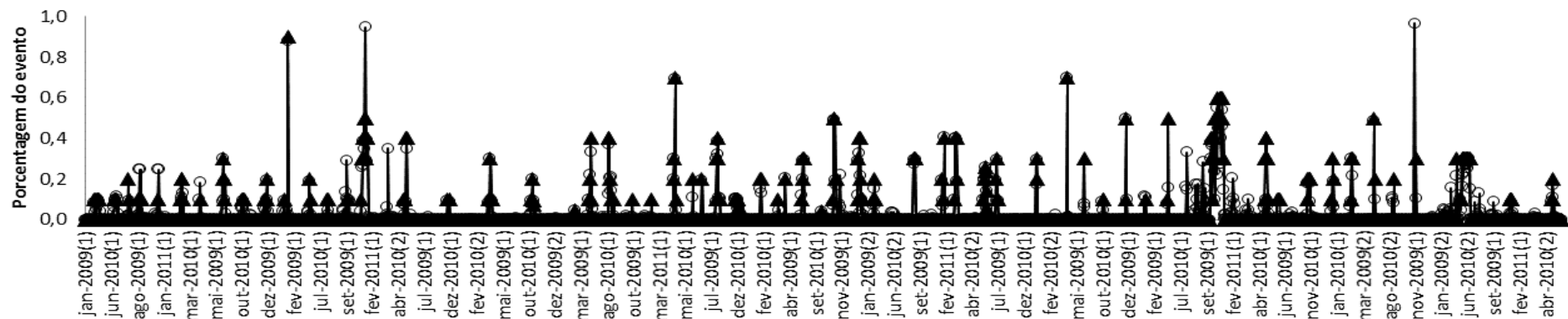


Figura 15: Valores estimados (\circ) e observados (\blacktriangle) da previsão para a Rede Neural Artificial 8 para as três espécies e duas áreas estudadas para todas as fenofases.

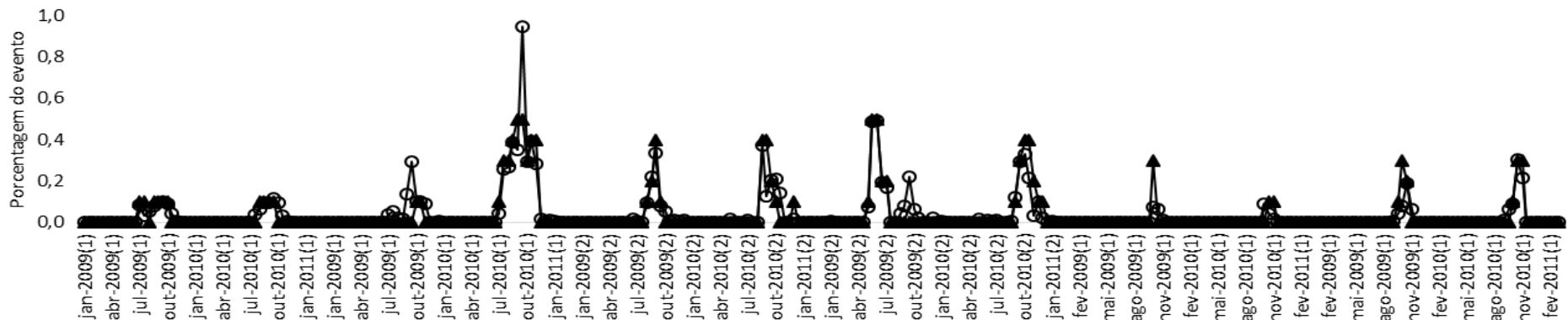


Figura 16: Valores estimados (\circ) e observados (\blacktriangle) da previsão para a Rede Neural Artificial 8 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase botões florais.

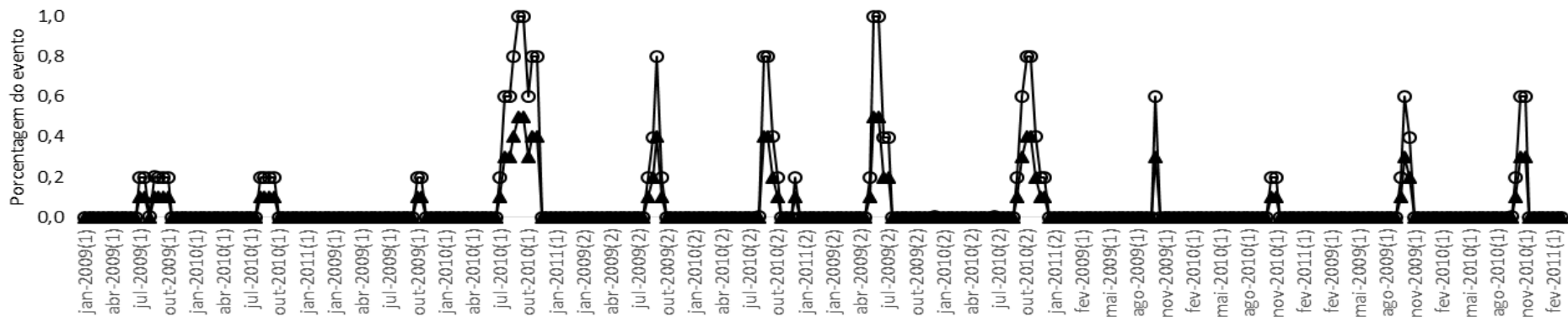


Figura 17: Valores estimados (\circ) e observados (\blacktriangle) da previsão para a Rede Neural Artificial 9 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase botões florais.

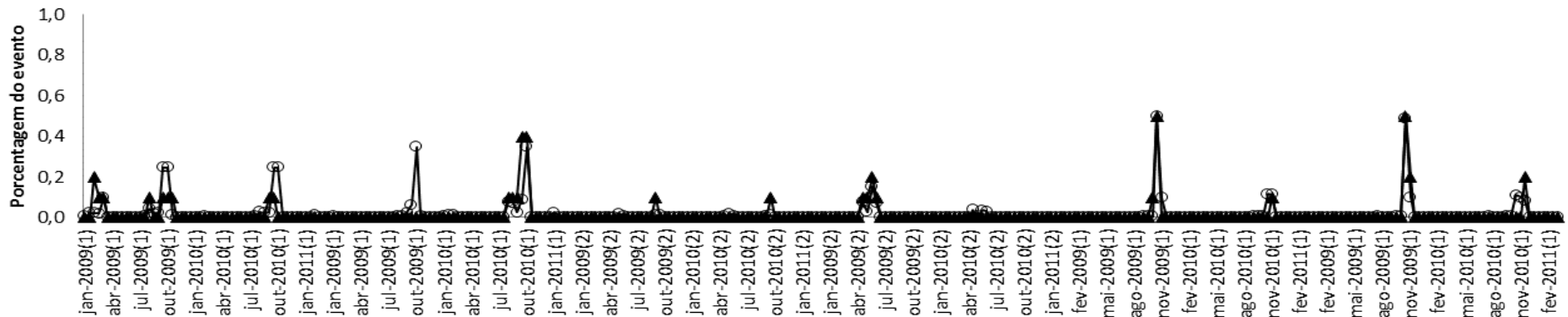


Figura 18: Valores estimados (\circ) e observados (\blacktriangle) da previsão para a Rede Neural Artificial 8 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase copa totalmente florida.

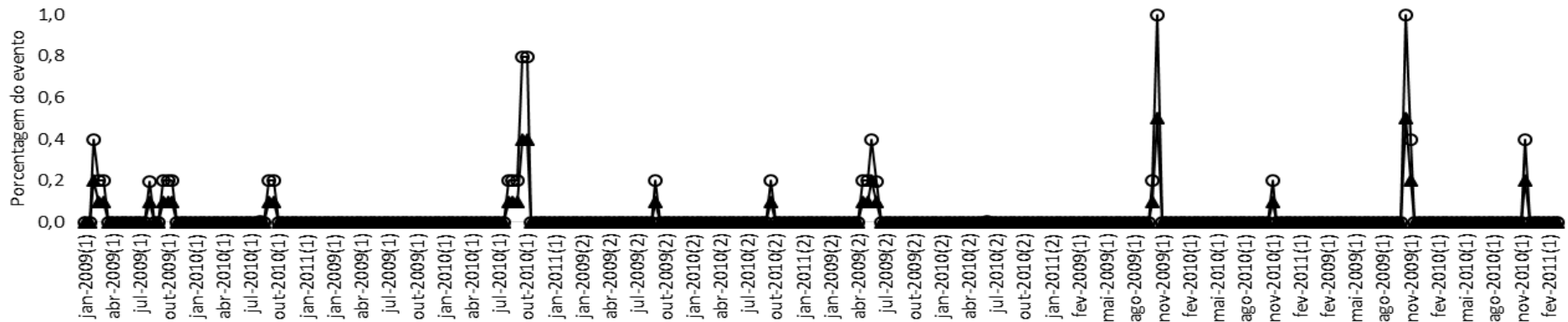


Figura 19: Valores estimados (\circ) e observados (\blacktriangle) da previsão para a Rede Neural Artificial 10 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase copa totalmente florida.

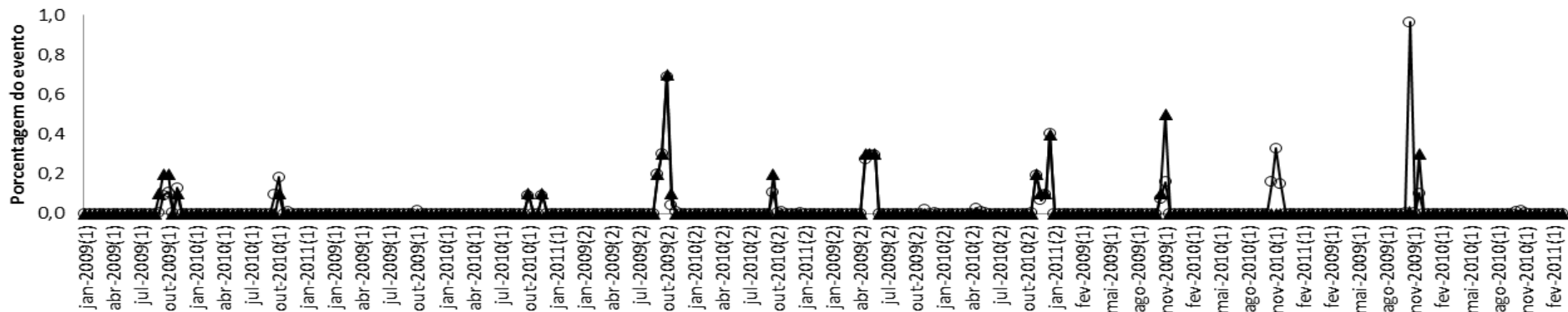


Figura 20: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 8 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase floração concluída.

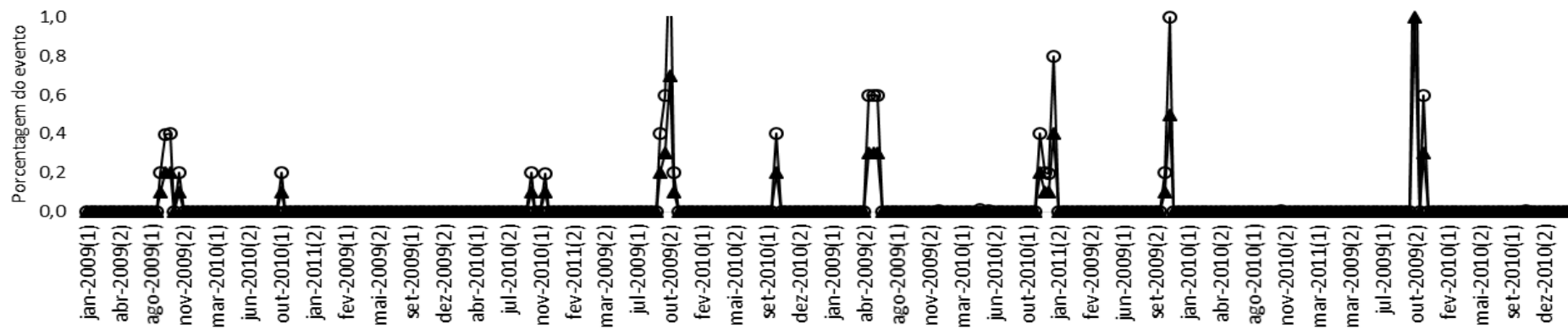


Figura 21: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 11 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase floração concluída.

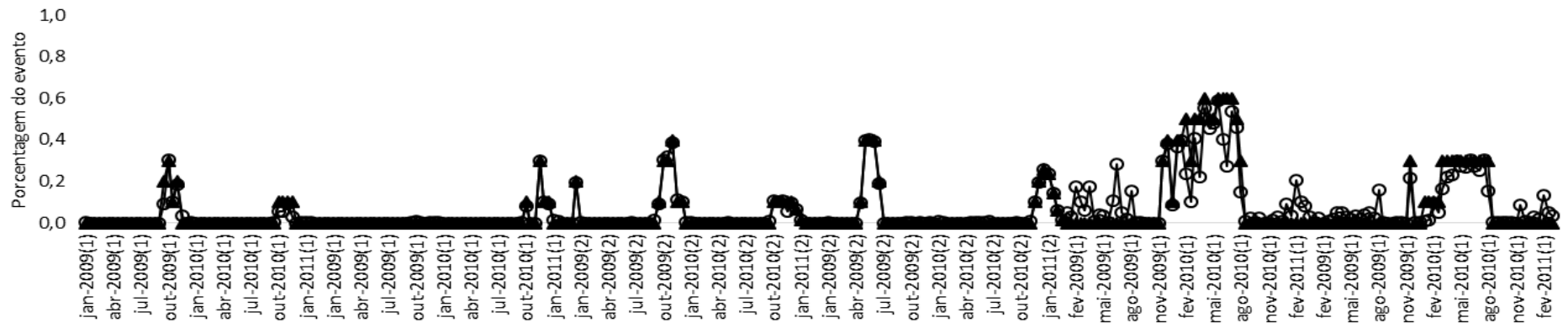


Figura 22: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 8 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase frutos novos.

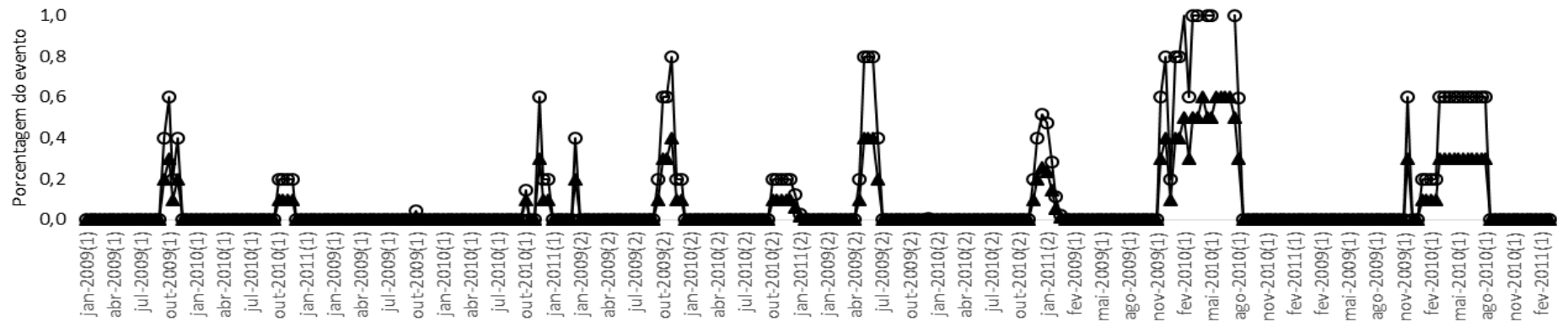


Figura 23: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 12 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase frutos novos.

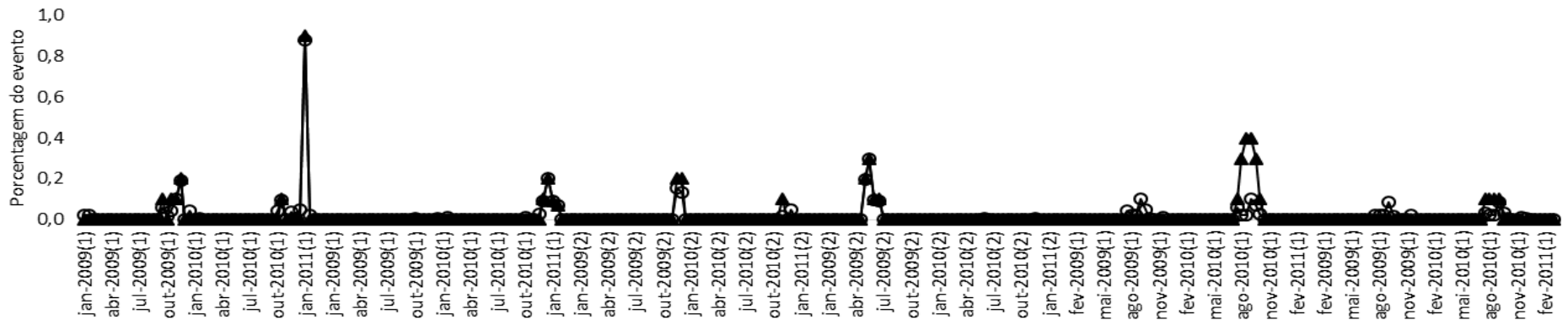


Figura 24: Valores estimados (\circ) e observados (\blacktriangle) da previsão para a Rede Neural Artificial 8 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase frutos maduros.

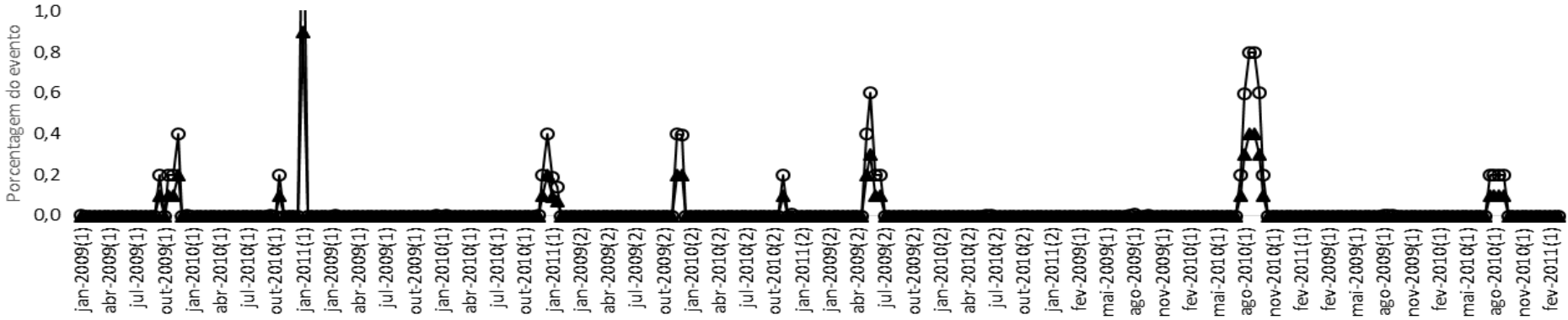


Figura 25: Valores estimados (\circ) e observados (\blacktriangle) da previsão para a Rede Neural Artificial 13 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase frutos maduros.

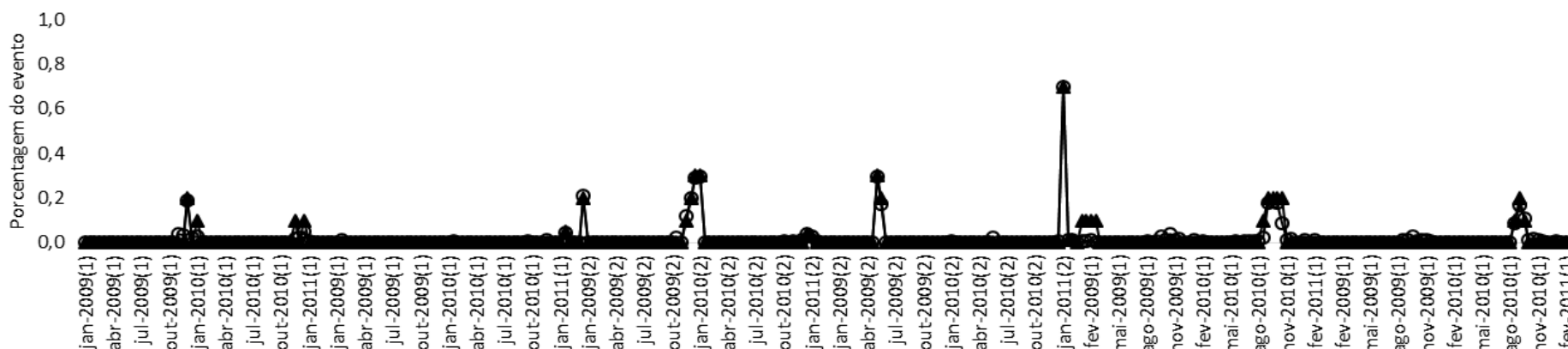


Figura 26: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 8 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase dispersão.

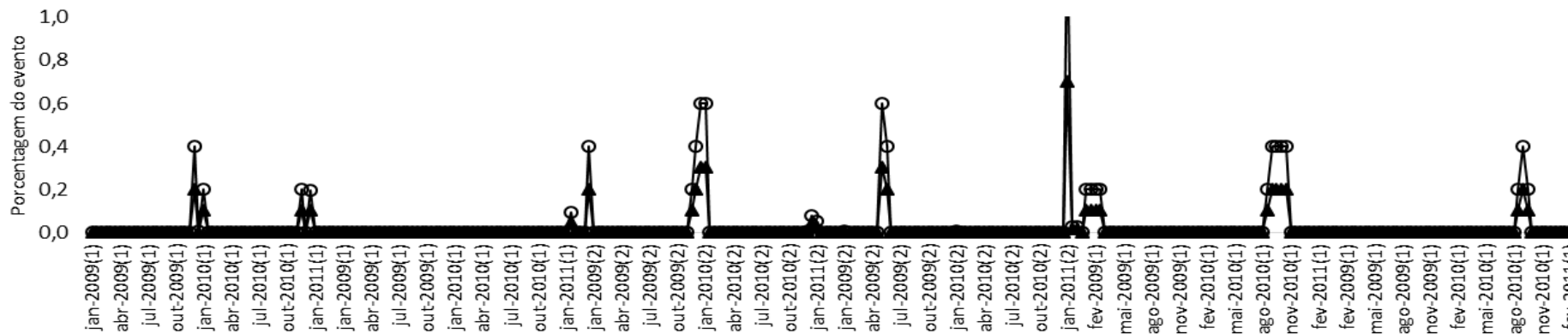


Figura 27: Valores estimados (—○—) e observados (—▲—) da previsão para a Rede Neural Artificial 14 para as três espécies e duas áreas estudadas para a fenofase dispersão.

4 CONCLUSÃO

As Redes Neurais Artificiais apresentaram-se como um grande apoio no estudo da fenologia, uma vez que com um banco de dados menor que três anos os valores estimados foram muito próximos dos observados principalmente quando utilizada uma rede por fenofase.

A precisão do ajuste entre os dados observados e os estimados e os valores das correlações demonstraram interdependência entre a fenologia e as variáveis climáticas.

A estimativa futura demonstrou a possibilidade de previsão de eventos fenológicos possuindo apenas dados meteorológicos. A rede selecionada pode ser salva e realimentada para sua reutilização apenas se a amplitude das variáveis inseridas for menor ou igual a amplitude das variáveis da rede utilizada.

5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BENCKE, C.S.C.; MORELLATO, L.P.C. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. **Revista Brasileira de Botânica**, V.25, n.3, p.269-275, set. 2002.

BRAGA, A.P.; CARVALHO, A.P.L.F.; LUDERMIR, T.B. **Redes neurais artificiais: teoria e aplicações**. Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2.ed., Rio de Janeiro. 2007. 226p.

BULHÃO, C.F.; FIGUEIREDO, P.S. Fenologia de leguminosas arbóreas em uma área de cerrado marginal no nordeste do Maranhão. **Revista Brasileira de Botânica**, V.25, n.3, p.361-369, set. 2002.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas. (Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras, v.2). 2006. 627 p.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas. (Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras, v.3). 2008. 593 p.

COSTA, I.R.; ARAÚJO, F.S.; LIMA-VERDE, L.W. Flora e aspectos auto-ecológicos de um enclave de cerrado na chapada do Araripe, Nordeste do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 18(4): 759-770. 2004.

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1961 - 1990**. Brasília, DF: Instituto Nacional de Meteorologia, 465p, 2009.

JAIN, A.K. e MAO, J. Artificial neural networks: A Tutorial. **Computer**, vol.29; no.3; march. 31-44 p. 1996.

LOPES, R.M.F.; FREITAS, V.L.O.; LEMOS FILHO, J.P. Biometria de frutos e sementes e germinação de *Plathymenia reticulata* BENTH. e *Plathymenia foliolosa* BENTH. (Fabaceae – Mimosoideae). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.5, p.797-805. 2010.

MARANGON, G.P.; CRUZ, A.F.; BARBOSA, W.B.; LOUREIRO, G.H.; HOLANDA, A.C. Dispersão de sementes de uma comunidade arbórea em um remanescente de Mata Atlântica, Município de Bonito, PE. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) v.5, n.5, p. 80 - 87 (Número Especial), dez. 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Vale do Jequitinhonha**. Diagnóstico do Município de Itamarandiba-MG, 2005.

MONTAGNINI, F.; FANZERES, A.; VINHA, S.G. da. Estudos de restauración ecológica en la región del Bosque Atlántico de Bahía, Brasil. **Yvyrareta**, Eldorado, v.5, n. 5, p.9-23, 1994.

MULLER, M.D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba, MG**. – Tese Apresentada à

Universidade Federal de Viçosa para Obtenção do Título de Doctor Science - Viçosa Minas Gerais – Brasil. 2005.

NEUROFOREST. Disponível em: <<http://neuroforest.ucoz.com/>>. Acessado em: 03/05/2013 às 14:42:56.

OLIVEIRA, A.C.S.; SOUZA, A.A.; LACERDA, W.S.; GONÇALVES, L.R. Aplicação de redes neurais artificiais na previsão da produção de álcool. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 279-284, mar./abr. 2010.

OTEROS, J.; GARCÍA-MOZO, H.; HERVÁS-MARTÍNEZ, C.; GALÁN, C. Year clustering analysis for modelling olive flowering phenology. **International Journal Biometeorology**, august. 2012.

RAMOS, J.P.S. Redes Neurais Artificiais na classificação de frutos: cenário bidimensional. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. V.27, n.2, p.356-362, mar./abr., 2003.

SANTOS, A.M.; SEIXAS, J.M.; PEREIRA, B.B.; MEDRONHO, R.A. Usando Redes Neurais Artificiais e Regressão Logística na Predição da Hepatite A. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, 8(2): 117-26. 2005.

SEGATTO, E. C.; COURRY, D. V. Redes neurais artificiais recorrentes aplicadas na correção de sinais distorcidos pela saturação de transformadores de corrente. **Revista Controle & Automação**, vol.17, no.4, outubro, novembro e dezembro. 2006.

SEGATTO, E. C.; COURRY, D. V. Redes neurais aplicadas a relés diferenciais para transformadores de potência, SBA. **Revista Controle & Automação**, 19(1):93-106. 2008.

SILVA, A. C.; PEDREIRA, L. C. V. S. F.; ALMEIDA-ABREU, P. A. (Org.). **Serra do Espinhaço Meridional: Paisagens e Ambientes**. 1^a ed. Diamantina: UFVJM - Faculdade de Ciências Agrárias. 2005. 272p.

SILVA, L.A. da; SCARIOT, A. composição florística e estrutura da comunidade arbórea em uma floresta estacional decidual em afloramento calcário (Fazenda São José, São Domingos, GO, Bacia do Rio Paranã). **Acta Botanica Brasilica**, 17(2): 305-313. 2003.

SCHULZE, E.D. Carbon dioxide and water vapour exchange in response to drought in the atmosphere and in the soil. **Annual Review of Plant Physiology**, 37: 247-274. 1986.

SUDHEER, K. P.; GOSAIN, A. K.; RAMASASTRI, K. S. Estimating actual evapotranspiration from limited climatic data using neural computing technique. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.129, n.3, p.214-218. 2003.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária - UFV. 1991. 449p.

VILELA, G.F.; CARVALHO, D.; VIEIRA, F.A. Fenologia de *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae) no Alto Rio Grande, Sul de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 317-329, out./dez. 2008.

WALTER, B.M.T.; CARVALHO, A.M.; RIBEIRO, J.F. O Conceito de Savana e de seu Componente Cerrado. In: **Cerrado – Ecologia e Flora** (SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F., eds.). Editora: Embrapa. Brasília, DF. 2008. p. 19-46.

YAZDANPANA, H.; OHADI, D.; TABAR, M.S. Forecasting Different Phenological Phases of Apple Using Artificial Neural Network. **Journal of Research in Agricultural Science**, vol. 6, no. 2, 97 – 106. 2010.

CONCLUSÃO GERAL

Os eventos relacionados à folhagem e floração das três espécies apresentaram sincronia entre as três áreas. As fenofases referentes à frutificação apresentaram sincronia para a *Bowdichia virgilioides* e *Plathymenia reticulata* nas três áreas, já para o *Caryocar brasiliense* houve sincronia entre Diamantina (DIA) e São Gonçalo do Rio Preto (SGRP).

As espécies apresentaram correlação com as variáveis meteorológicas estudadas, sendo que os intervalos parciais apresentaram tendência diferente dos períodos totais demonstrando a necessidade de um período de observação mais longo. A maioria dos eventos apresentou sazonalidade.

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) apresentaram-se como um grande apoio no estudo da fenologia, uma vez que com um banco de dados menor que três ciclos reprodutivos de cada espécie os valores estimados foram muito próximos dos observados principalmente quando utilizada uma rede por fenofase.

A precisão do ajuste entre os dados observados e os estimados, e os valores das correlações demonstraram a interdependência entre a fenologia e as variáveis climáticas.

A estimativa futura indicou a possibilidade de previsão de fenofases possuindo apenas dados fenológicos e meteorológicos.