



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

**PLANEJAMENTO EVASIVO PARA O MANEJO DA FERRUGEM DO
EUCALIPTO (*Puccinia psidii*)**

LILIANNE GOMES DA SILVA

ALEGRE-ES
NOVEMBRO-2013

LILIANNE GOMES DA SILVA

**PLANEJAMENTO EVASIVO PARA O MANEJO DA FERRUGEM DO
EUCALIPTO (*Puccinia psidii*)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal, área de atuação Fitossanidade, linha de pesquisa Fitopatologia.

Orientador: Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior

ALEGRE-ES
NOVEMBRO-2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

S586p Silva, Lilianne Gomes da, 1985-
Planejamento evasivo para o manejo da ferrugem do eucalipto
(Puccinia psidii) / Lilianne Gomes da Silva. – 2013.
68 f. : il.

Orientador: Waldir Cintra de Jesus Junior.

Coorientadores: Alexandre Rosa dos Santos; José Eduardo
Macedo Pezzopane.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do
Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Puccinia psidii. 2. Variáveis climáticas. 3. Áreas de risco I. Jesus
Junior, Waldir Cintra. II. Santos, Alexandre Rosa dos. III. Pezzopane,
José Eduardo Macedo. IV. Universidade Federal do Espírito Santo.
Centro de Ciências Agrárias. V. Título.

CDU: 63

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

**Planejamento evasivo para o manejo da ferrugem do eucalipto
(*Puccinia psidii*)**

LILIANNE GOMES DA SILVA

Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior
Orientador – DPV/UFES

Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos
Coorientador/Examinador interno –
DER/UFES

Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane
Coorientador/Examinador interno –
DEF/UFES

Prof. Dr. Fábio Ramos Alves
Examinador interno – DPV/UFES

Pesquisador Dr. Reginaldo Gonçalves Mafía
Examinador externo – Fibria Celulose S/A

Alegre-ES, 06 de novembro de 2013.

DEDICO

A Deus,

Por me dar saúde, confiança, força e coragem para passar pelos obstáculos da vida.

À minha amada mãe Dilma

Minha irmã Dilcianne

Minha avó Terezinha

Ao meu amor Marcos

Aos meus amigos

Ao Professor Waldir,

Pela amizade, paciência e compreensão,

Pelo profissionalismo, ensino e apoio,

Por ter confiado e acreditado em mim.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas graças concedidas, por iluminar meus caminhos e me dar força e coragem para lutar.

À minha mãe, minha base e fortaleza, por toda força, incentivo, empenho para que eu não desanimasse, pelas palavras fortes e verdadeiras nos momentos mais difíceis, pelo amor, carinho, zelo e ânimo que me ajudaram a concretizar esta vitória.

À minha família, em especial minha irmã Dilcianne e a minha avó Terezinha.

Ao meu namorado, Marcos, pelo amor, carinho, amizade, paciência, compreensão, companheirismo, incentivo e força.

Aos meus amigos, pela amizade, carinho, apoio, pelas palavras de ânimo, coragem, confiança e pelas orações.

Ao Professor Waldir Cintra de Jesus Júnior, por todos esses anos de orientação desde a graduação até o doutorado, pela amizade, confiança, oportunidades, apoio e compreensão, tendo-o como exemplo de pessoa e de profissional por toda a minha vida.

Aos Professores e Coorientadores, Alexandre Rosa dos Santos e José Eduardo Macedo Pezzopane, pela amizade, confiança e valiosas ajudas durante a realização deste trabalho.

Ao Prof. Fábio, pela amizade e pelo apoio durante todos esses anos de graduação e pós-graduação.

Ao Pesquisador Reginaldo Gonçalves Mafia, pela participação na banca e sugestões para melhoria do trabalho.

Ao Centro de Ciências Agrárias e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, por me

proporcionar a oportunidade de ingresso em um curso superior e na pós-graduação.

À CAPES, pela concessão de bolsa para a realização deste trabalho.

À Fibria Celulose S/A, pelo apoio e disponibilidade das áreas de estudo de campo e dados das estações meteorológicas.

Aos Professores do Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pelos ensinamentos e amizade.

Ao Instituto Federal do Espírito Santo-Campus Ibatiba, por me ajudar na concretização deste projeto, durante este ano.

À minha amiga Daiani, pelos longos anos de amizade, de companheirismo, de confiança e de alegria.

Aos amigos Ana Paula, Mariana, Edielen, Rodolfo, Ângelo, Laedio, pelos momentos de alegria (e de muita risada), de companheirismo e ajuda.

Aos amigos e companheiros do laboratório de Fitopatologia, em especial Regina, Marcilene, Yanitssa, Márcia, Tatiane, Leonardo, Fernando, Lilian e Laís.

A todos que rezaram, torceram e acreditaram em mim, muito obrigada.

“Quando você conseguir superar grandes problemas não se detenha na lembrança dos momentos difíceis, mas na alegria de haver atravessado mais essa etapa de sua vida.

Elas serão uma prova de sua capacidade em vencer dificuldades.

E Ihe darão confiança na presença divina, em qualquer situação, em qualquer tempo, diante de qualquer obstáculo.”

Chico Xavier

BIOGRAFIA

Lilianne Gomes da Silva, filha de Dilma Maria Gomes e Djalma Luciano da Silva, nasceu em 08 de janeiro de 1985, na Cidade de Alegre, Estado do Espírito Santo.

Concluiu o ensino fundamental na Escola de 1º e 2º Graus Aristeu Aguiar, em Alegre. Em dezembro de 2002, concluiu o ensino médio e o curso técnico em agroindústria na Escola Agrotécnica Federal de Alegre – ES.

Em março de 2003, ingressou na Universidade Federal do Espírito Santo, graduando-se Engenheira Florestal em fevereiro de 2008.

Em fevereiro de 2010, concluiu o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA – UFES/Alegre – ES).

Em março de 2010, ingressou no Programa de Pós-Graduação em nível de Doutorado em Produção Vegetal, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA – UFES/Alegre - ES), submetendo-se à defesa de tese em novembro do ano de 2013.

RESUMO

SILVA, Lillianne Gomes da. **Planejamento evasivo para o manejo da ferrugem do eucalipto (*Puccinia psidii*)**. 2013. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Orientador: Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior. Coorientadores: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos e Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane.

O plantio de eucalipto representa a principal alternativa de produção florestal do estado do Espírito Santo. A madeira é utilizada principalmente para a produção de celulose, além dos usos como matéria-prima para construção, produção de móveis, lenha e carvão. Vários são os fatores que podem limitar o desenvolvimento da cultura no estado do Espírito Santo, incluindo as doenças. Entre estas, destaca-se a ferrugem causada pelo fungo *Puccinia psidii*, considerada uma das doenças mais importante da cultura do eucalipto. O controle da ferrugem pode ser feito principalmente pela seleção e plantio de clones resistentes, além de se adotar o plantio de materiais suscetíveis em épocas e locais desfavoráveis à doença. Sendo assim, o princípio de evasão, embasado no zoneamento climático, tem se mostrado uma importante ferramenta no manejo integrado da ferrugem. Assim, este trabalho teve por objetivo realizar o mapeamento das áreas de risco à doença no estado do Espírito Santo, para determinar áreas de escape e identificar as variáveis climáticas favoráveis à ocorrência da ferrugem em condições de campo. O presente estudo foi realizado em três fases distintas, a saber: 1) mapeamento das áreas de risco à ferrugem do eucalipto no estado do Espírito Santo, com base na metodologia Fuzzy, visando determinar áreas de escape à doença; 2) avaliação mensal da ferrugem em três áreas distintas e análise dos dados com base no índice de infecção e na padronização Fuzzy; e 3) análise descritiva das variáveis climáticas de forma a identificar as que influenciam a ocorrência da ferrugem em condições de campo. Com base nos dados obtidos foram observadas contradições entre a intensidade da ferrugem do eucalipto observada em condições de campo e o índice de infecção calculado através da equação de Ruiz et al. (1989). As variáveis temperatura noturna, duração do período de molhamento foliar, frequência diária

de ocorrência do molhamento foliar e precipitação influenciam o desenvolvimento da ferrugem e devem ser utilizadas para refinamento do índice de infecção para predição do risco de ocorrência da doença em condições de campo. A metodologia Fuzzy mostra-se adequada para o mapeamento do risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto para o estado do Espírito Santo, considerando a distribuição espaço-temporal. A maior parte das áreas do estado do Espírito Santo apresentou-se com médio a alto risco de ocorrência da ferrugem, o que demanda medidas complementares de manejo da doença, incluindo principalmente a seleção e o plantio de clones resistentes.

Palavras-chave: *Puccinia psidii*. Variáveis climáticas. Áreas de risco.

ABSTRACT

SILVA, Lilliane Gomes da. **Evasive planning for rust management in eucalyptus (*Puccinia psidii*)**. 2013. Thesis (Doctor Science in Vegetable Production) – Federal University of *Espírito Santo*, Alegre-ES. Advisor: Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior. Committer Members: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos e Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane.

The Eucalyptus plantation represents the main alternative for the forestry production in the state of *Espírito Santo*. Wood is mainly for pulp and paper production, and also used as raw material for construction, furniture production, firewood and charcoal. Several factors can limit the culture development in the state of *Espírito Santo*, including diseases. Among these factors, the one that stands out is rust caused by the fungus *Puccinia psidii*, considered as one the most important diseases of Eucalyptus. The rust control can be done generally through selection and planting of resistant clones, in addition to adopting the planting of susceptible materials in unfavorable seasons and locations to the disease. Therefore, the avoidance principle, based on the climatic zoning has shown to be an important tool in integrated rust management. Thus, the objective was to map the areas at risk to the disease in the state of *Espírito Santo*, aiming to determine areas of escape and identify the climatic variables favorable to the occurrence of rust under field conditions. The present study was done in three distant phases, namely: 1. mapping of areas at risk of rust in eucalyptus in the state of *Espírito Santo*, based on the Fuzzy methodology, aiming to determine the escape areas of the disease; 2. monthly rust evaluation in three distant areas and data analysis based on the infection index and Fuzzy standardization; and 3. descriptive analysis of the climatic variables in order to identify what influences the rust occurrence in field conditions. Based on data obtained contradictions were observed between the intensity of eucalyptus rust and infection index calculated through the Ruiz et al (1989) equation. The variables night temperature, leaf wetness period, daily frequency of leaf wetness occurrence and rainfall influence in the development of rust and should be used to refine the infection index to predict the risk of disease occurrence in field conditions. Fuzzy methodology

shows to be efficient for mapping the risk of rust occurrence of *Eucalyptus* for the state of *Espírito Santo*, considering the spatial and temporal distribution. Most areas of *Espírito Santo* showed medium and high risk of rust occurrence, which demands additional management of the disease, mainly including the selection and planting of resistant clones.

Keywords: *Puccinia psidii*. Climatic variables. Risk areas.

SUMÁRIO

CAPÍTULO TESE: PLANEJAMENTO EVASIVO PARA O MANEJO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO (*Puccinia psidi*)

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
2.1 Primeira Fase - Mapeamento das áreas de risco à ferrugem no estado do Espírito Santo.....	21
2.2 Segunda Fase - Avaliação mensal da ferrugem em três áreas distintas e análise dos dados com base no índice de infecção e na padronização Fuzzy.....	25
2.3 Terceira Fase - Identificação das variáveis climáticas que influenciam a ocorrência da ferrugem em condições de campo.....	27
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
3.1 Primeira Fase - Mapeamento das áreas de risco à ferrugem no estado do Espírito Santo.....	28
3.2 Segunda Fase - Avaliação mensal da ferrugem em três áreas distintas e análise dos dados com base no índice de infecção e na padronização Fuzzy.....	35
3.3 Terceira Fase - Identificação das variáveis climáticas que influenciam a ocorrência da ferrugem em condições de campo.....	41
4 CONCLUSÃO.....	62
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Classes de índices de risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto com base na metodologia Fuzzy, em intervalos de 0 a 1.....24

TABELA 2 - Valores médios de temperatura noturna (TN), temperatura diurna (TD), molhamento foliar (MF), temperatura máxima do dia (TMD), temperatura mínima da noite (TMN), frequência diária contínua de molhamento foliar (FDC) e precipitação (P) para 5, 7, 10 e 15 dias antes da avaliação no período de setembro de 2008 a agosto de 2009 no município de Jeirana, Bahia.....54

TABELA 3 - Valores médios de temperatura noturna (TN), temperatura diurna (TD), molhamento foliar (MF), temperatura máxima do dia (TMD), temperatura mínima da noite (TMN), frequência diária contínua de molhamento foliar (FDC) e precipitação (P) para 5, 7, 10 e 15 dias antes da avaliação no período de setembro de 2008 a agosto de 2009 no município de Nova Viçosa, Bahia.....56

TABELA 4 - Valores médios de temperatura noturna (TN), temperatura diurna (TD), molhamento foliar (MF), temperatura máxima do dia (TMD), temperatura mínima da noite (TMN), frequência diária contínua de molhamento foliar (FDC) e precipitação (P) para 5, 7, 10 e 15 dias antes da avaliação no período de setembro de 2008 a agosto de 2009 no município de Santo Antônio, Bahia.....58

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 01** - Localização das estações meteorológicas automáticas localizadas no estado do Espírito Santo e áreas limítrofes e nas áreas de estudo de campo no extremo sul da Bahia (SB403, SB409 e SB420). Cada ponto representa a posição de uma estação meteorológica.....22
- FIGURA 02** - Função de padronização linear monoliticamente decrescente do índice de infecção.....23
- FIGURA 03** - Fluxograma metodológico contendo as quatro etapas necessárias para a elaboração do zoneamento do índice de risco para ocorrência da ferrugem do eucalipto com base na metodologia Fuzzy.....25
- FIGURA 04** - Índice de risco-Fuzzy médio de ocorrência da ferrugem do eucalipto em função dos meses do ano.....29
- FIGURA 05** - Classes de índice de risco-Fuzzy (alto, médio e baixo) à ocorrência da ferrugem do eucalipto no estado do Espírito Santo ao longo dos meses.....30
- FIGURA 06** - Dinâmica espaço-temporal do índice de risco-Fuzzy para ferrugem do eucalipto no estado do Espírito Santo para os meses de Janeiro a Dezembro.....32
- FIGURA 07** - Índice de risco-Fuzzy médio para a ferrugem do eucalipto para o estado do Espírito Santo.....34
- FIGURA 08** - Severidade da ferrugem do eucalipto (%), índice de infecção de acordo com a equação de Ruiz et al. (1989) e índice de risco com base na metodologia Fuzzy referente ao período de outubro de 2008 a agosto de 2009, em condições de campo, nos municípios de Joeirana, Nova Viçosa e Santo Antônio, situado no extremo sul da Bahia.....36
- FIGURA 09** - Severidade da ferrugem do eucalipto (%) avaliada em condições de campo e índice de infecção, de acordo com a equação de Ruiz et al. (1989), para os 15 dias antes das avaliações no período de setembro de 2008 a agosto de 2009, no município de Joeirana, situado no extremo sul da Bahia.....38
- FIGURA 10** - Severidade da ferrugem do eucalipto (%) avaliada em condições de campo e índice de infecção, de acordo com a equação de Ruiz et al. (1989), para os 15 dias antes das avaliações no período de setembro de 2008 a agosto de 2009, no município de Nova Viçosa, situado no extremo sul da Bahia.....39

FIGURA 11 - Severidade da ferrugem do eucalipto (%) avaliada em condições de campo e índice de infecção, de acordo com a equação de Ruiz et al. (1989), para os 15 dias antes das avaliações no período de setembro de 2008 a agosto de 2009, no município de Santo Antônio, situado no extremo sul da Bahia.....	40
FIGURA 12 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia no período de setembro de 2008 a janeiro de 2009 no município de Joeirana, Bahia.....	43
FIGURA 13 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia período de fevereiro a junho de 2009 no município de Joeirana, Bahia.....	44
FIGURA 14 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia no período de julho a setembro de 2009 no município de Joeirana, Bahia.....	45
FIGURA 15 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia no período de setembro de 2008 a janeiro de 2009 no município de Nova Viçosa, Bahia.....	46
FIGURA 16 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia no período de fevereiro a junho de 2009 no município de Nova Viçosa, Bahia.....	47
FIGURA 17 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia no período de julho a setembro de 2009 no município de Nova Viçosa, Bahia.....	48
FIGURA 18 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia no período de setembro de 2008 a janeiro de 2009 no município de Santo Antônio, Bahia.....	49
FIGURA 19 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia no período de fevereiro a junho de 2009 no município de Santo Antônio, Bahia.....	50
FIGURA 20 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia no período de julho a setembro de 2009 no município de Santo Antônio, Bahia.....	51
FIGURA 21 - Severidade (%) da ferrugem do eucalipto em condições de campo, avaliada mensalmente, entre setembro de 2008 a agosto de 2009 em relação ao número de horas favoráveis a infecção (NHFI) com e sem precipitação.....	60

PLANEJAMENTO EVASIVO PARA O MANEJO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO (*Puccinia psidii*)

1 INTRODUÇÃO

A atividade florestal tem desempenhado um importante papel no cenário sócio-econômico do país. Isso se deve ao fato de que as áreas de florestas plantadas no território nacional vêm crescendo consideravelmente nos últimos anos. Esse crescimento, especificamente às florestas plantadas de eucalipto, caracteriza-se principalmente pela diversidade de utilização de seus produtos, compreendendo desde a produção, a colheita e o transporte de madeira, até a obtenção dos produtos finais para diferentes segmentos industriais (ABRAF, 2013).

Atualmente, o país se apresenta como líder mundial na produção de derivados do eucalipto, tendo os estados de Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, Espírito Santo e Paraná mais de 80% dos plantios do gênero *Eucalyptus* no Brasil (ABRAF, 2013). O plantio de eucalipto representa a base florestal do estado do Espírito Santo, sendo utilizada principalmente para a produção de celulose, além dos usos como matéria-prima para construção, produção de móveis, lenha e carvão (SPERANDIO et al., 2010).

Entre as doenças da cultura do eucalipto, a ferrugem causada pelo fungo biotrófico *Puccinia psidii* Winter, é considerada uma das principais, ocasionando severos danos às plantações em áreas tropicais e subtropicais em todo o mundo (COUTINHO et al., 1998; PÉREZ et al., 2011; MIRANDA et al., 2013). Nas áreas de plantio de espécies de Myrtaceae, onde as condições climáticas são favoráveis para o desenvolvimento da ferrugem, a doença apresenta-se como condição limitante para o processo de regeneração e desenvolvimento das plantas de eucalipto (SILVA et al., 2013).

As condições de favorabilidade à ocorrência da doença são temperaturas médias do ar variando entre 18 e 23 °C, associadas a períodos noturnos de molhamento foliar, resultante do orvalho noturno ou garoas por períodos superiores a 6 horas por 5 a 7 dias consecutivos, além da existência de órgãos juvenis, como folhas

novas e terminais de crescimento, considerados essenciais para a infecção (RUIZ et al., 1989). O fungo infecta folhas do estágio juvenil de plantas novas ou brotações após o corte das árvores. Além do eucalipto, o patógeno infecta várias outras espécies das famílias Myrtaceae e Heteropixidaceae (ALFENAS e MAFIA, 2003; GLEN et al., 2007; ALFENAS et al., 2009). Uma vez infectadas, as plantas de eucalipto podem se recuperar após a seca das pústulas. Contudo, a incidência da doença, dependendo da intensidade, poderá resultar na redução da produtividade em plantios comerciais e aumento dos custos de produção, quando da necessidade de intervenções de manejo (FURTADO et al., 2009).

Para ocorrência de doença é necessária à interação de hospedeiro suscetível, patógeno virulento/agressivo e condições ambientais favoráveis (AGRIOS, 2005). O ambiente influencia todos os estágios de desenvolvimento do patógeno e da planta hospedeira, nas diversas fases do ciclo das relações patógeno-hospedeiro. Cada patossistema tem sua temperatura mínima, ótima e máxima de desenvolvimento. Assim, mudanças na temperatura ambiente podem afetar a incidência e a severidade da doença pela ação direta sobre o metabolismo do patógeno ou pela debilitação fisiológica da planta, predispondo-a a infecção (MAFIA, ALFENAS e LOOS, 2011).

O controle da ferrugem pode ser feito principalmente pela seleção e plantio de clones resistentes, além de se adotar o plantio de materiais suscetíveis em épocas e locais desfavoráveis à doença e aplicação de fungicidas em condições de viveiro (FERREIRA, 1983; FERREIRA, 1989; ALFENAS et al., 2009). A utilização do princípio de evasão, embasado nos zoneamento climático, pode ser uma importante alternativa no manejo integrado da ferrugem, principalmente para uso comercial de clones suscetíveis e altamente produtivos, sem a necessidade da utilização do controle químico.

Considerando a interação patógeno-hospedeiro-ambiente para a ocorrência da doença, o fator ambiental pode impedir a ocorrência da doença mesmo na presença de hospedeiro suscetível e patógeno virulento e influenciar na distribuição espaço-temporal das doenças de plantas (JESUS JUNIOR et al., 2004). Com isso, o conhecimento de como os fatores ambientais influenciam a

epidemiologia das doenças de plantas é uma importante ferramenta para a elaboração das medidas de controle (JESUS JUNIOR et al., 2004).

Em estudos prévios existem inferências sobre diferenças entre as condições climáticas que afetam a infecção de *P. psidii* em condições controladas e aquelas que ocorrem em condições de campo (MORAES et al., 1982; FERREIRA, 1983; DIANESE, 1986; RUIZ et al., 1989; CARVALHO et al., 1994; TAKAHASHI, 2002; ZAUZA, 2007). Sendo assim, uma análise epidemiológica detalhada se faz necessária de forma a indicar com precisão as condições ambientais favoráveis para a ocorrência da ferrugem em condições de campo.

O conhecimento de fatores meteorológicos que influenciam na incidência e severidade da ferrugem permite determinar épocas do ano e locais de plantios mais favoráveis ao patógeno (RUIZ et al., 1989). Assim, estudos sobre o mapeamento climático se fazem necessários devido à importância de se identificar áreas de alto risco de ocorrência para várias doenças, principalmente no que se diz respeito à introdução de doenças quarentenárias e ao plantio de hospedeiros suscetíveis e moderadamente suscetíveis (BOOTH et al., 2000; PAUL et al., 2004; STADEN et al., 2004).

O zoneamento climático pode reunir informações sobre as condições favoráveis à ocorrência de ferrugem e indicar e classificar as zonas de risco (MASSON et al., 2007). No caso de doenças de plantas, os mapas de zonas de risco, acoplados aos modelos de simulação e ao Sistema de Informações Geográficas (SIG), podem ser úteis para indicar áreas geográficas ou até mesmo, épocas do ano mais favoráveis à ocorrência de epidemias (LOPES et al., 2008).

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é considerado uma das principais ferramentas utilizadas em um zoneamento climático, apresentando como uma de suas principais aplicações a de transformar dados numéricos obtidos em estações meteorológicas com coordenadas conhecidas (georreferenciadas) em mapas contínuos a partir das informações originais, transformando assim dados discretos em uma superfície contínua de valores estimados, gerando desta forma informações a respeito do comportamento espacial da variável (CÂMARA e MEDEIROS, 1998) em escala local, regional ou estadual, variando no tempo.

O geoprocessamento, atividade central do SIG, permite estudar mudanças em processos e suas interações, nas dimensões espaço-temporal, e criar documentos cartográficos de alta qualidade, com incertezas estimadas e possibilidade de estabelecer níveis de confiança (HARMON e ANDERSON, 2003).

Entre as ferramentas do SIG, a geoestatística é a técnica mais recomendada para representação das variáveis climáticas de forma contínua, por considerar a regionalização dos dados em seus modelos matemáticos e no processo de estimativa de valores contínuos a partir de valores pontuais (HARMON e ANDERSON, 2003). Outra importante ferramenta do SIG que poderia auxiliar e favorecer o mapeamento e a quantificação das áreas de risco de ocorrência das doenças é a lógica Fuzzy, que visa descrever as variáveis e seus estados na terminologia da linguagem natural como "baixo" e "alto" (KIM et al., 2005).

Sendo assim, este trabalho teve por objetivos realizar o mapeamento das áreas de risco à doença no estado do Espírito Santo, visando determinar áreas de escape e identificar as variáveis climáticas favoráveis para a ocorrência da ferrugem em condições de campo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em três fases distintas, a saber: 1) mapeamento das áreas de risco à ferrugem no estado do Espírito Santo, visando determinar áreas de escape à doença; 2) avaliação mensal da ferrugem em três áreas distintas e análise dos dados com base no índice de infecção e na padronização Fuzzy; e 3) identificação das variáveis climáticas que influenciam a ocorrência da ferrugem em condições de campo.

2.1 Primeira Fase - Mapeamento das áreas de risco à ferrugem no estado do Espírito Santo.

O estudo foi realizado para todo o Estado do Espírito Santo que possui uma área territorial de 46.053,19 km². Está localizado entre os paralelos de 17°53'29" a 21°18'03" de latitude Sul e os meridianos 39°41'18" a 41°52'45" longitude Oeste de Greenwich.

Com base na metodologia definida na fase anterior foi realizado o zoneamento da ferrugem do eucalipto para o estado do Espírito Santo, a partir das seguintes etapas:

Etapa 1 - Espacialização vetorial pontual das estações meteorológicas automáticas

Todas as operações geotecnológicas foram feitas com base em uma série de dados meteorológicos horários referentes ao período de 2006 a 2013, período estabelecido a partir da data de instalação das estações meteorológicas, oriundas de 24 estações automáticas localizadas no Estado do Espírito Santo e áreas limítrofes ao estado, visando favorecer as interpolações estatísticas dos dados (Figura 1).

A partir dos dados das variáveis meteorológicas temperatura máxima e molhamento foliar, obtidos das estações automatizadas, foi calculado o índice de infecção com base no modelo de Ruiz et al. (1989) para os 12 meses (série de 8 anos) e para a média anual, referente a cada estação.

Após a geração do banco de dados, foi aplicada uma das fases do método estatístico denominado crítica dos dados, que tem como objetivo encontrar e

corrigir falhas, erros ou imperfeições que possam comprometer os resultados espaciais temporais e temáticos. De posse do aplicativo computacional ArcGIS®, versão 10.2, foi realizada a importação da planilha eletrônica, especificamente o campo representativo da variável índice de infecção, culminando na vetorização espacial pontual das referidas estações meteorológicas.

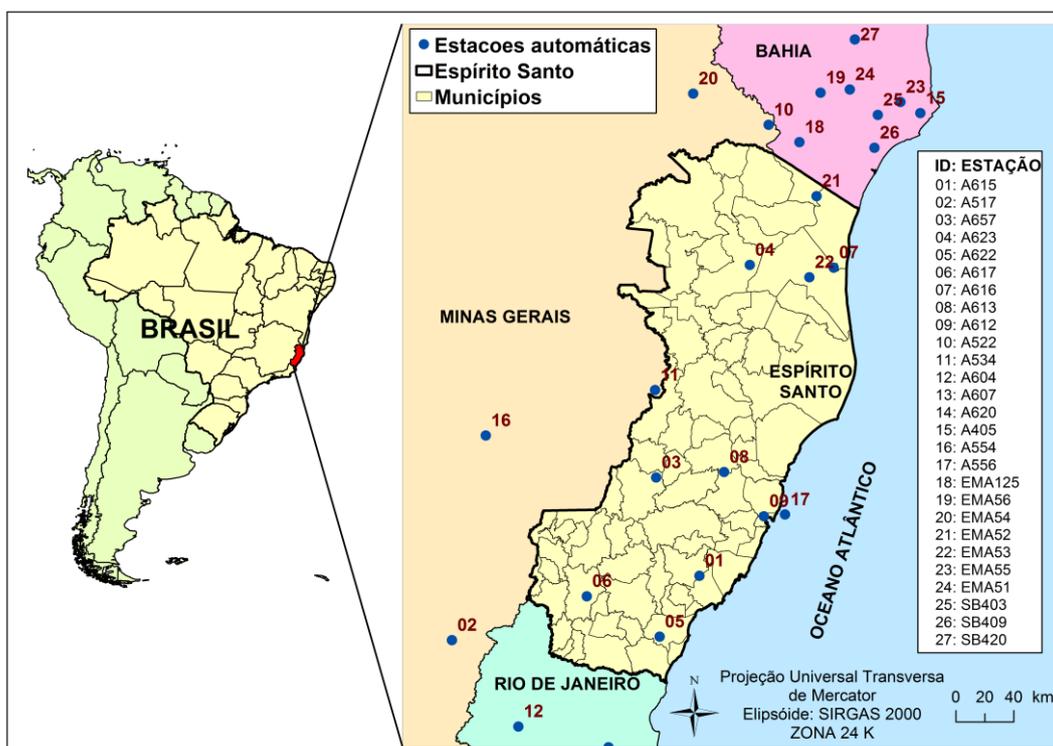


Figura 1 - Localização das estações meteorológicas automáticas localizadas no estado do Espírito Santo e áreas limítrofes e nas áreas de estudo de campo no extremo Sul da Bahia (SB403, SB409 e SB420). Cada ponto representa a posição de uma estação meteorológica.

Etapa 02 - Interpolação espacial por Kernel Polinomial

De posse do campo da variável índice de infecção da imagem vetorial pontual representativa das estações meteorológicas, aplicou-se a técnica geoestatística de interpolação Kernel Polinomial (HOERL e KENNARD, 1970; FAN e GIJBELS, 1996; YAN, 2009), gerando a imagem matricial do índice de infecção para cada mês e para a média anual no estado.

Etapa 03 - Padronização Fuzzy do índice de infecção gerando o índice de risco

A padronização Fuzzy considera que, apesar dos índices de infecção estar em localizações diferentes dentro da área em estudo, há necessidade de se classificá-los numa mesma escala de valores, para fins de comparação.

Assim, o objetivo é gerar mapas de índices de infecção da área, que apesar de estarem em localizações diferentes, terão valores comuns de índice de infecção, mas que não perderão seu caráter espacial único, ou seja, sua localização absoluta. Para tal, foi realizada a padronização Fuzzy utilizando-se equação linear, com um intervalo de 0 a 1 na forma monoliticamente decrescente. Deste modo, foi realizado um reescalonamento dos índices de infecção para cada mês e para a média anual, no qual foi inserido o valor mínimo e máximo de cada fator do índice de infecção, para que não fossem ultrapassados os limites de cada mapa euclidiano, com uma escala contínua, sendo que 0 é o menor índice e 1 o maior índice de infecção calculado (Figura 2).

De posse desses dados foram confeccionados os mapas contínuos do índice de risco, para cada mês e para a média anual no estado do Espírito Santo.

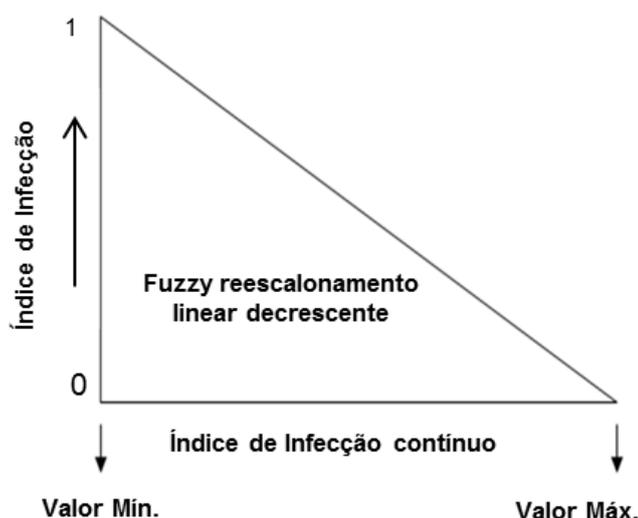


Figura 2 - Função de padronização linear monoliticamente decrescente do índice de infecção.

Etapa 04 - Reclassificação espacial do índice de risco

Após a geração dos mapas contínuos do índice de risco com base na padronização Fuzzy, foi realizada a reclassificação espacial em intervalos definidos de 0,333 (Tabela 1), de 0 a 1, gerando-se a imagem matricial reclassificada discreta representativa dos índices de risco de ocorrência da ferrugem, com base na metodologia Fuzzy. Adicionalmente, após a realização dos mapas discretos foi realizado o cálculo da porcentagem de cada classe de índice de risco por padronização Fuzzy para o estado do Espírito Santo.

Tabela 1 - Classes de índices de risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto com base na metodologia Fuzzy, em intervalos de 0 a 1

CLASSE	RISCO	INTERVALO
1	Baixo	0 – 0.333
2	Médio	0.333 – 0.666
3	Alto	0.666 – 1

A seguir é apresentado fluxograma metodológico contendo as quatro etapas necessárias para o desenvolvimento do zoneamento da ferrugem do eucalipto com base no cálculo do índice de risco (Figura 3).

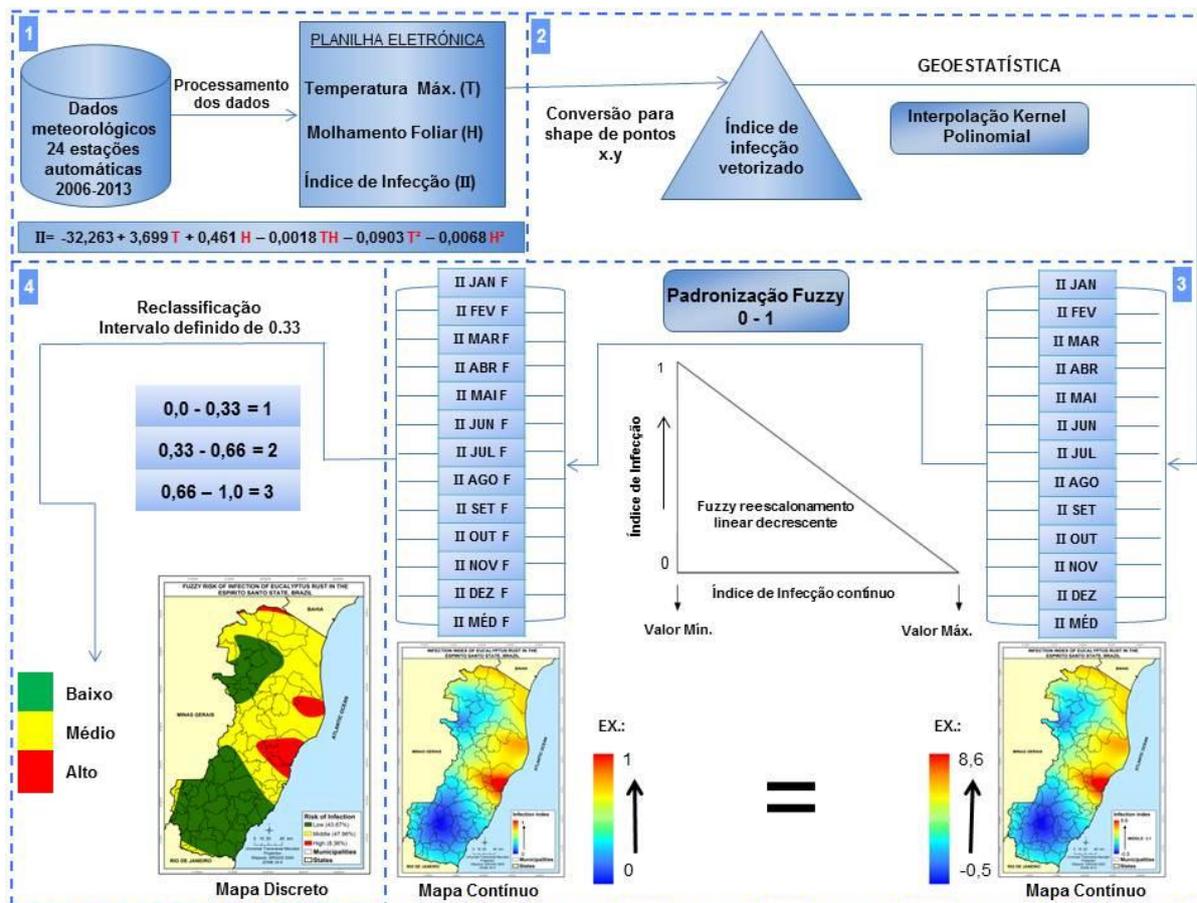


Figura 3 - Fluxograma metodológico contendo as quatro etapas necessárias para a elaboração do zoneamento do índice de risco para ocorrência da ferrugem do eucalipto com base na metodologia Fuzzy.

2.2 Segunda Fase - Avaliação mensal da ferrugem em três áreas distintas e análise dos dados com base no índice de infecção e na padronização Fuzzy

Etapa 1 - Estudo Piloto

Os experimentos foram conduzidos em três talhões de plantios comerciais de eucalipto da empresa Fibria Celulose S/A, situados nos municípios de Joeirana, Nova Viçosa e Santo Antônio no extremo sul da Bahia, no período de setembro de 2008 a agosto de 2009, empregando-se um clone suscetível à ferrugem. A parcela experimental foi constituída por seis linhas de plantio com 10 plantas, em espaçamento de 3,0 x 1,5 m. As plantas foram mantidas sempre em rebrota como

forma de garantir a presença de folhas novas, sendo avaliadas três linhas e outras três mantidas como fonte de inóculo.

A severidade da doença foi quantificada mensalmente na planta utilizando-se escala diagramática específica (MORAES, 2009) (dados não publicados). A avaliação foi iniciada após o aparecimento dos primeiros sintomas. Uma vez quantificados os dados de severidade de cada folha da planta, calculou-se a porcentagem média de área foliar lesionada da planta e da parcela.

Etapa 2 - Análise dos dados

Os dados de severidade da doença foram utilizados para traçar as curvas de progresso da ferrugem (JESUS JUNIOR et al., 2004). O cálculo do índice de infecção foi realizado com base na equação proposta por Ruiz et al. (1989):

$$I = -32,2626 + 3,6999 T + 0,4613 H - 0,0018 TH - 0,0903 T^2 - 0,0068 H^2$$

em que:

I = índice de infecção; T = temperatura máxima (°C); e H= duração do período de molhamento foliar (horas).

Para o cálculo do referido índice foram utilizados os dados meteorológicos registrados em três estações meteorológicas automatizadas, SB 403, SB 409 e SB 420, situadas respectivamente nos municípios de Joeirana, Nova Viçosa e Santo Antônio, durante o período de setembro de 2008 a agosto de 2009 (Figura1).

A partir da determinação do índice de infecção foi calculado o índice de risco, empregando-se a metodologia Fuzzy (KLIR e YUAN, 1995; KIM et al., 2005). No conceito relativo ou Fuzzy, os fatores são padronizados considerando que apesar dos mesmos estarem em localizações diferentes, dentro da área de estudo, há necessidade de classificar a distância numa mesma escala de valores, para fins de comparação. Nesta etapa, foi realizado um reescalonamento do índice de infecção para cada mês e talhão, considerando uma escala variando de 0 a 100 pontos de risco, para o menor e o maior índice de infecção, respectivamente.

2.3 Terceira Fase - Identificação das variáveis climáticas que influenciam a ocorrência da ferrugem em condições de campo.

Para avaliar a influência dos fatores climáticos sobre a ocorrência da ferrugem do eucalipto foram utilizados dados meteorológicos registrados nas três estações meteorológicas (SB 403, SB 409 e SB 420) situadas em cada área de estudo (Figura 1). Os dados climáticos horários coletados foram convertidos em médias diárias, médias para cada 5, 7, 10 e 15 dias antes da avaliação e, posteriormente, em médias mensais.

As variáveis meteorológicas utilizadas foram temperaturas máxima, média e mínima, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica. Para o cálculo da duração do período de molhamento foliar contínuo considerou-se a média do número de horas por dia com umidade relativa do ar igual ou superior a 90% (AMADOR, 1987; PEDRO Jr. et al., 1991; SENTELHAS et al., 1993)

Com os dados meteorológicos horários registrados no período anterior a cada avaliação, foram realizadas análises descritivas dos dados e elaborados gráficos de distribuição, considerando o número médio de horas diárias com temperaturas nos seguintes intervalos: menor ou igual a 15 °C; 15,1 a 18 °C; 18,1 a 23 °C; 23,1 a 25 °C e maior que 25 °C. Tais intervalos de temperatura foram divididos para os períodos noturno e diurno e definidos em função das condições de temperaturas ideais para o desenvolvimento do patógeno (FERREIRA, 1989; RUIZ et al., 1989; ALFENAS e MAFIA, 2003; ALFENAS et al., 2009). Adicionalmente, foram consideradas as temperaturas máxima do dia e mínima da noite, a precipitação pluviométrica diária e a frequência contínua diária de molhamento foliar.

Posteriormente, foi calculado, mensalmente, o número de horas favoráveis à infecção (NHFI), de setembro de 2008 a agosto de 2009, considerando a temperatura na faixa de 18 a 23 °C e presença de molhamento foliar, com e sem precipitação pluviométrica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Primeira Fase - Mapeamento das áreas de risco à ferrugem no estado do Espírito Santo.

Foi realizado o zoneamento da ferrugem do eucalipto para o estado do Espírito Santo com base na metodologia Fuzzy para os 12 meses e para a média anual. Para facilitar o entendimento, optou-se por denominar o índice de risco calculado a partir da metodologia Fuzzy como “índice de risco-Fuzzy”. Cabe ressaltar que Moraes (2009) também calculou o índice de risco para o mesmo patossistema, porém empregando outra metodologia. Contudo, a metodologia Fuzzy foi selecionada para o presente trabalho devido à mesma já ser difundida e consolidada em diferentes áreas de ciências agrárias (KAVDIR e GUYER, 2003; YANG et al., 2003; PEIXOTO et al., 2004).

No que diz respeito à dinâmica temporal da doença, os meses compreendidos entre abril a novembro (Figura 4) foram os que apresentaram as condições climáticas mais favoráveis à ocorrência da ferrugem, sendo que os meses de maio a agosto apresentaram um aumento das áreas favoráveis ao desenvolvimento da doença com índices de risco-Fuzzy médio superior a 90. O maior risco da ferrugem neste período está relacionado ao fato da temperatura estar na faixa de 19 a 25 °C, com duração do período de molhamento foliar sempre superior a 6 horas, condições estas favoráveis à ocorrência da doença (RUIZ et al., 1989). Em contrapartida, os meses de dezembro a março foram os que apresentaram as condições climáticas mais desfavoráveis à ocorrência da doença.

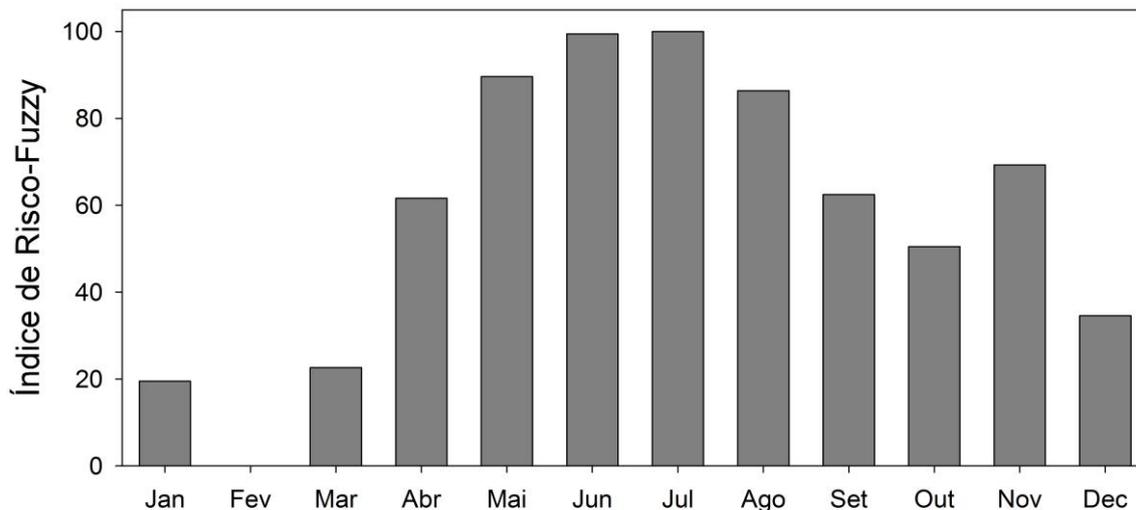


Figura 4 - Índice de risco-Fuzzy médio de ocorrência da ferrugem do eucalipto em função dos meses do ano.

Em estudos realizados em campo por Carvalho et al. (1994) na região de Teixeira de Freitas (BA), foi observado que os meses de março a novembro apresentaram maior incidência da doença. Da mesma forma, Santos (2006) para a região de Luiz Antônio (SP) observou que os meses com maior incidência da doença ocorreram entre maio e dezembro, principalmente pelas condições de alta umidade relativa e temperatura na faixa de 15 a 25 °C.

Com base nos resultados da distribuição espaço-temporal da doença para o estado do Espírito Santo (Figuras 5 e 6), verificou-se que os meses de julho a outubro apresentaram as maiores áreas classificadas como de alto índice de risco-Fuzzy, com índice variando de 20 a 30, enquanto que para os meses de dezembro a abril, a classe de alto índice não ultrapassou 5. De forma geral, observou-se alto índice de risco-Fuzzy para ocorrência da ferrugem nas regiões central, norte e extremo norte do estado, regiões estas de grande importância para o estado e para a cultura devido seu potencial produtivo.

Os resultados obtidos neste trabalho corroboram com os observados por Moraes (2009), o qual observou que o período compreendido entre maio e novembro foi o mais favorável à ocorrência da ferrugem na região de Aracruz. Tal fato pode ser explicado pelo período de molhamento foliar e temperaturas máximas próximas a 23 °C nesta região.

Observou-se que, durante todo o ano, houve a predominância de áreas classificadas em baixo e médio índice de risco-Fuzzy, podendo variar, para a classe de baixo risco, de 25% a 50% nos meses de outubro e junho, respectivamente, e de 25% a 60% para os meses de agosto e janeiro, respectivamente, na classe de médio risco (Figura 5).

Pode-se observar que a região sul do estado apresentou as maiores áreas com baixo índice de ocorrência da doença em praticamente todo o ano, exceto para a região do Caparaó, que apresentou médio e alto risco de ocorrência da doença, provavelmente devido ao fato desta região apresentar clima com temperaturas mais frias e alta umidade (Figuras 6).

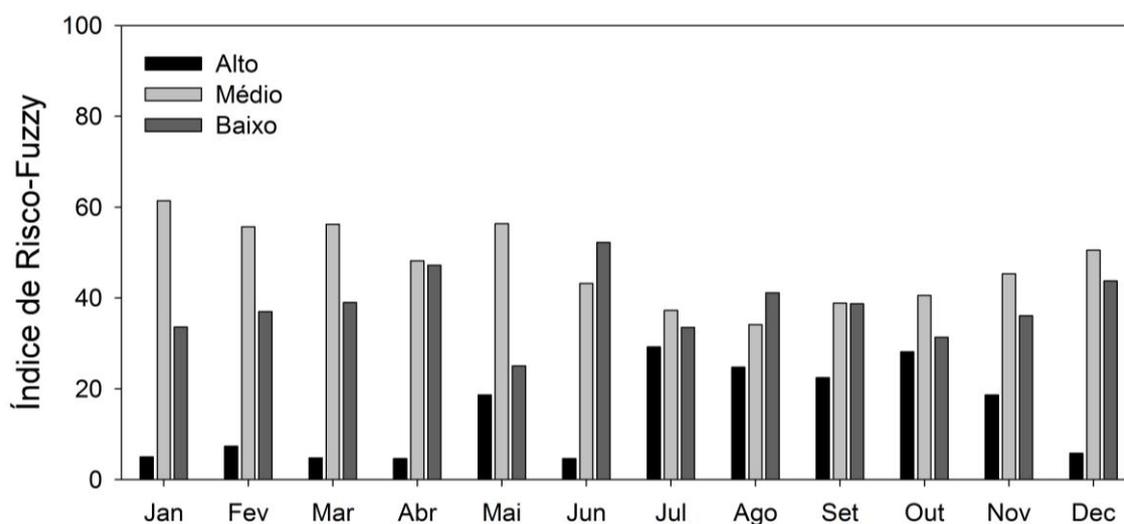


Figura 5 - Classes de índice de risco-Fuzzy (alto, médio e baixo) à ocorrência da ferrugem do eucalipto no estado do Espírito Santo ao longo dos meses.

Para o mês de maio, foi observada uma transição da época desfavorável para a ocorrência da doença para a época favorável, tal variação provavelmente está relacionada à redução de temperatura neste período. Adicionalmente, o mês de novembro apresentou uma faixa de transição da época favorável para a época desfavorável à ocorrência da ferrugem, provavelmente devido ao aumento da temperatura ocorrido neste período (Figura 6).

De acordo com o zoneamento do índice de risco-Fuzzy da ferrugem (Figura 6), verifica-se que grande parte do estado está situada em regiões de médio risco de ocorrência da ferrugem durante praticamente todo o ano. Regiões, como o

extremo norte e central, apresentaram-se durante todo o ano, mesmo em período mais quentes, enquadradas em classes de médio e alto risco, o que leva a necessidade de adoção de medidas complementares de controle, principalmente o plantio de clones resistentes nas áreas mais favoráveis, além da condução das rebrotas nas épocas desfavoráveis à doença e da evasão, entre outras, sendo possível racionalizar todas as estratégias de manejo desde que estas sejam realizadas em momento oportuno, levando em consideração a relação patógeno-hospedeiro-ambiente.

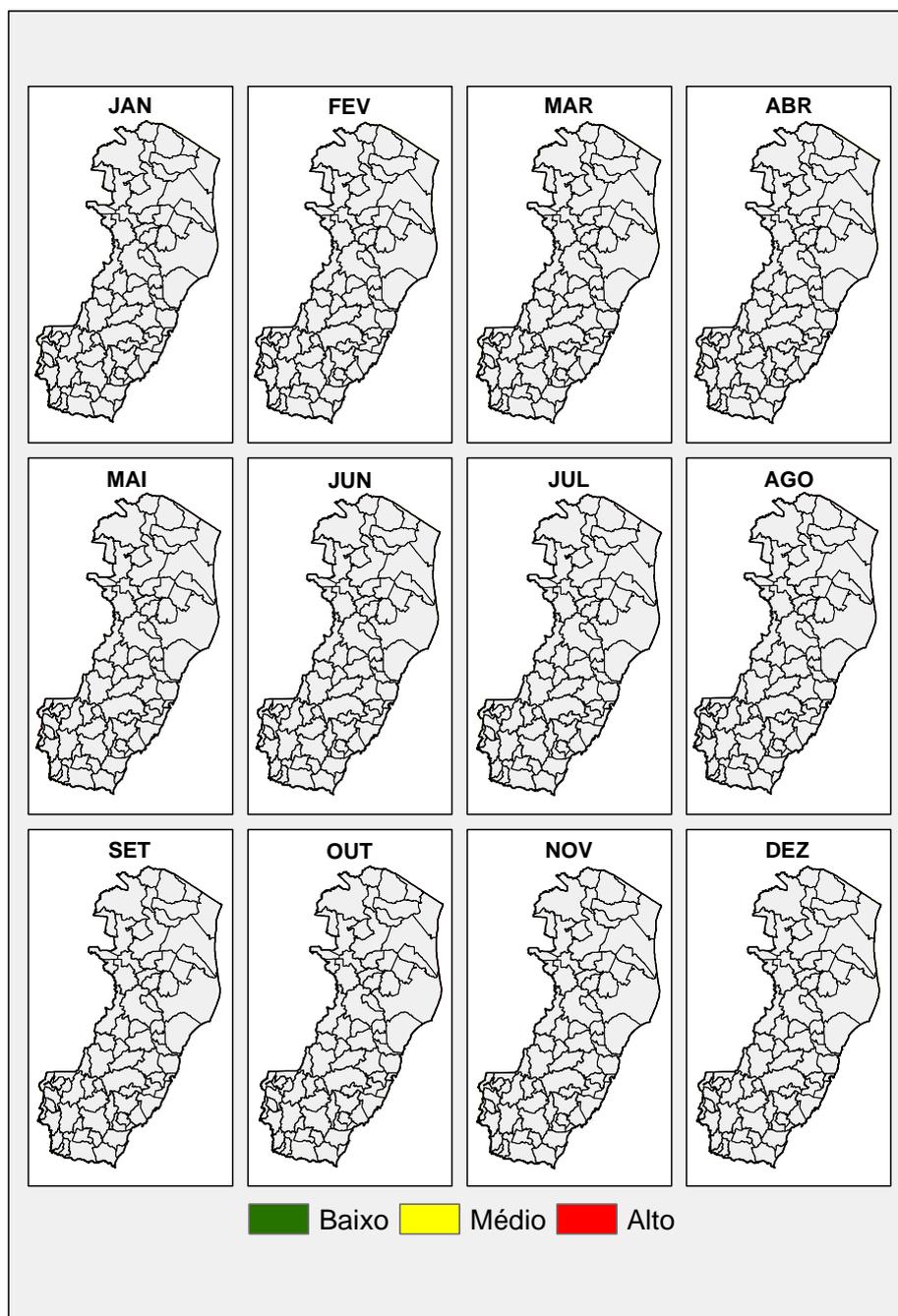


Figura 6 - Dinâmica espaço-temporal do índice de risco-Fuzzy para ferrugem do eucalipto no estado do Espírito Santo para os meses de Janeiro a Dezembro.

Em estudos realizados por Moraes (2009) para as regiões de Aracruz, São Mateus e Teixeira de Freitas, os maiores índices de risco para a distribuição temporal da ferrugem do eucalipto foram encontrados para os meses de maio a novembro, principalmente pelo fato da temperatura permanecer na faixa de 19 a

25 °C, com duração do período de molhamento foliar superior a 6 horas (RUIZ et al., 1989).

No caso da ferrugem das mirtáceas em condições naturais, em Viçosa-MG, os teliósporos têm sido facilmente encontrados, na época mais quente do ano, de dezembro a março. Nessa mesma época, mas com menor frequência do que em jambeiro, os teliósporos de *P. psidii* podem ser encontrados em jabuticabeira, principalmente nas pústulas em folhas, misturadas aos urediniósporos (FERREIRA, 1989). Ruiz (1988) relatou situação análoga verificada com a ferrugem em *E. cloeziana* no sudeste da Bahia nos meses mais quentes do ano. Em condições controladas, em Viçosa-MG, foi obtida abundante produção de teliósporos em plantas de eucalipto, quando inoculadas, na época mais quente do ano, com urediniósporos procedentes de eucalipto ou jambeiro (FERREIRA, 1989).

Considerando a média anual para o Espírito Santo, observa-se que a maior parte das áreas do estado encontra-se com médio risco de ocorrência de ferrugem (Figura 7). A região sul do estado caracteriza-se por apresentar baixo risco de ocorrência da doença, ao passo que regiões de Aracruz, Linhares e extremo Norte do estado apresentam alto risco, fato este de grande importância uma vez que tais regiões possuem grandes áreas com plantios de eucalipto.

Em zoneamento realizado por Moraes (2009) para a ferrugem do eucalipto considerando dois cenários, atual e futuro, para o Brasil, foi observado que os estados: Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo e os do Sul do país, onde está concentrada a maioria das áreas com plantios de eucalipto (ABRAF, 2013), são favoráveis ao desenvolvimento da doença, principalmente nos meses de inverno. Tal resultado corrobora aos obtidos no presente estudo, uma vez que, levando-se em consideração as classes de médio e alto risco, mais de 50% do estado é favorável para a ocorrência da ferrugem.

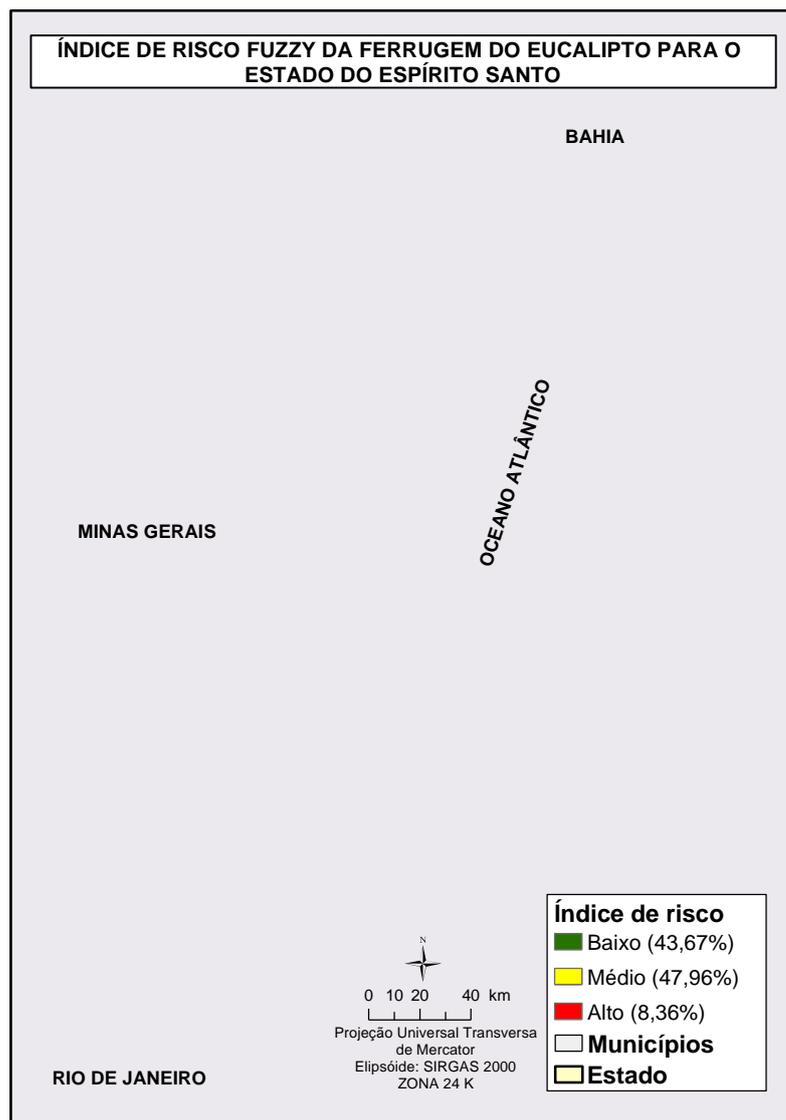


Figura 7 - Índice de risco-Fuzzy médio para a ferrugem do eucalipto para o estado do Espírito Santo.

Para as áreas de escape presentes no estado, pode ser recomendado o plantio de clones moderadamente suscetíveis, enquanto que para as áreas de maior favorabilidade de ocorrência da doença, o que equivale a grande parte do estado, é necessário o plantio de clones resistentes. De forma geral, o plantio e a condução de rebrotas devem ser realizados nessas regiões de agosto a outubro, de modo a evitar condições favoráveis do hospedeiro à infecção pelo patógeno (COUTINHO et al., 1998; ALFENAS e MAFIA, 2003; GLEN et al., 2007; ALFENAS et al., 2009).

Para o uso futuro do zoneamento no manejo da ferrugem, é necessária a utilização de variáveis climáticas relacionadas com a infecção e, se possível, um mapeamento, com ferramentas de geoprocessamento, de espécies de eucalipto comercialmente plantadas, isso porque, as espécies de eucalipto comportam-se diferentemente quanto à resistência genética ao fungo *P. psidii* (FERREIRA, 1989), além de comportarem-se diferentemente quanto à fenologia na produção de tecidos jovens suscetíveis ao longo do ano, fator importante para a infecção.

O cruzamento dessas informações poderá auxiliar na indicação de áreas de plantio de acordo com os materiais genéticos existentes, assim como auxiliar no monitoramento contínuo de doenças florestais como forma de antecipação de medidas de controle ou mitigatórias, para que assim possam ser utilizadas estratégias de controle antes que a doença tome proporções epidêmicas.

3.2 Segunda Fase - Avaliação mensal da ferrugem em três áreas distintas e análise dos dados com base no índice de infecção e na padronização Fuzzy

A ferrugem do eucalipto foi detectada em todos os talhões durante o período de avaliação do experimento (Figura 8).

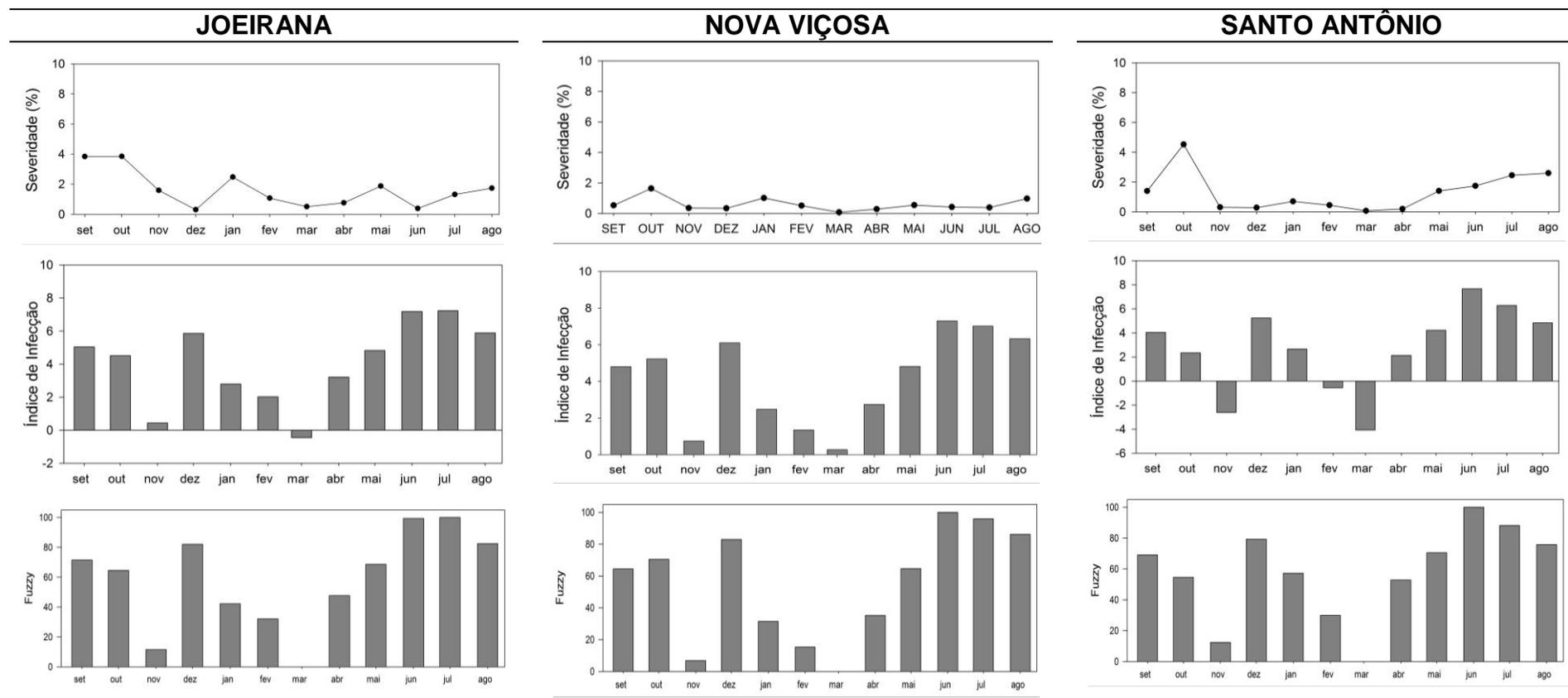


Figura 8 - Severidade da ferrugem do eucalipto (%), índice de infecção de acordo com a equação de Ruiz et al. (1989) e índice de risco com base na metodologia Fuzzy referente ao período de outubro de 2008 a agosto de 2009, em condições de campo, nos municípios de Joeirana, Nova Viçosa e Santo Antônio, situado no extremo sul da Bahia.

As maiores intensidades da doença ocorreram nos mesmos meses em todas as áreas, porém com intensidade diferentes. O experimento em Nova Viçosa foi o que apresentou menor severidade da doença, cujos valores foram inferiores a 2%. Por outro lado, a área de Santo Antônio foi a que apresentou a maior severidade da doença, com valores próximos a 5%.

Apesar da faixa de temperatura considerada ótima para o desenvolvimento do patógeno ser de 18 a 23 °C, com base nos dados de severidade da doença dos três talhões estudados, verificou-se que mesmo em meses teoricamente desfavoráveis à doença, como por exemplo outubro e janeiro, a intensidade da ferrugem foi alta. O contrário também foi observado, ou seja, que teoricamente naqueles meses considerados favoráveis à ferrugem, a exemplo de junho, a severidade da doença foi baixa (Figura 8).

Assim, aventa-se a hipótese de que a ocorrência de períodos desfavoráveis à doença pode ser compensada por curtos períodos extremamente favoráveis ao patógeno, garantindo assim condições de infecção pelo patógeno e, conseqüentemente, de maiores intensidades da doença.

Quando se compara o progresso da doença no campo em relação ao índice de infecção, algumas contradições são detectadas. Em Joeirana, por exemplo, a severidade da doença foi inferior a 2% nos meses de dezembro e junho, enquanto que, neste mesmo período, o valor do índice de infecção foi alto (5,8 e 7,2, respectivamente). Fato contrário foi verificado no mês de novembro, ou seja, apesar do valor de severidade estar próximo ao verificado nos meses de dezembro e junho (2%), o valor do índice de infecção foi baixo (0,44). Tais contradições também foram verificadas nas áreas avaliadas em Nova Viçosa e Santo Antônio (Figura 8).

Analisando o comportamento do índice de infecção mensalmente, tomando por base os 15 dias antes da avaliação, pode-se observar que meses como o de novembro em Joeirana, citado anteriormente, dos 15 dias antes da avaliação apenas 3 apresentaram índices de infecção acima de 0, contudo a severidade da doença neste mesmo mês foi similar a severidade observada nos meses de

setembro e outubro, os quais apresentaram valores do índice de infecção entre 1,36 a 8,27 durante os 15 dias antes da avaliação (Figura 9).

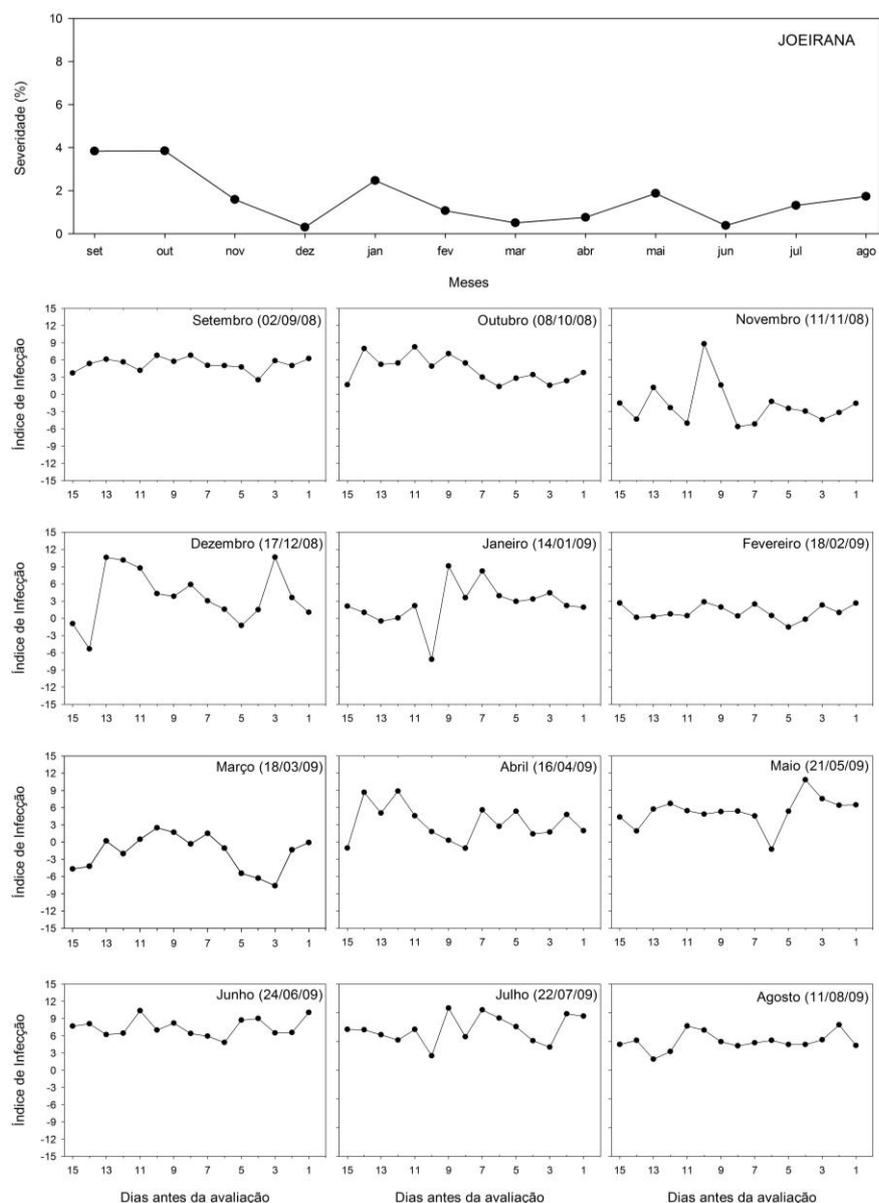


Figura 9 - Severidade da ferrugem do eucalipto (%) avaliada em condições de campo e índice de infecção, de acordo com a equação de Ruiz et al. (1989), para os 15 dias antes das avaliações no período de setembro de 2008 a agosto de 2009, no município de Joeirana, situado no extremo sul da Bahia.

Em Nova Viçosa e Santo Antônio situação contrária foi verificada para o mês de dezembro, no qual se observou baixa intensidade da doença (0,33% e 0,28%,

respectivamente), porém o valor do índice de infecção para os 15 dias antes da avaliação foi alto, tendo atingido até 10,9. Contudo, para as duas áreas, neste mesmo mês, índices negativos também foram observados (-5 e -6), indicando que, provavelmente, o modelo para estimativa do índice de infecção não apresenta boa precisão para estudar a intensidade da doença em condições naturais de infecção (Figuras 10 e 11).

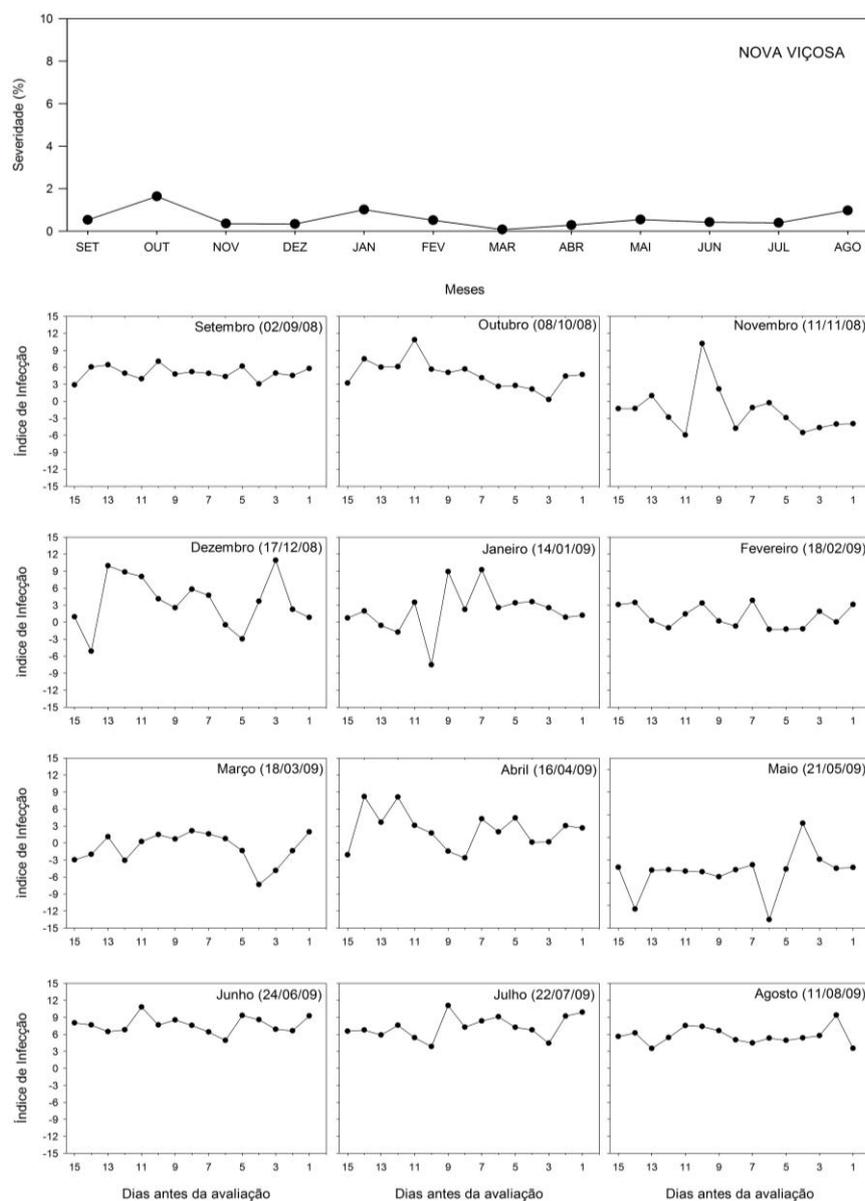


Figura 10 - Severidade da ferrugem do eucalipto (%) avaliada em condições de campo e índice de infecção, de acordo com a equação de Ruiz et al. (1989), para

os 15 dias antes das avaliações no período de setembro de 2008 a agosto de 2009, no município de Nova Viçosa, situado no extremo sul da Bahia.

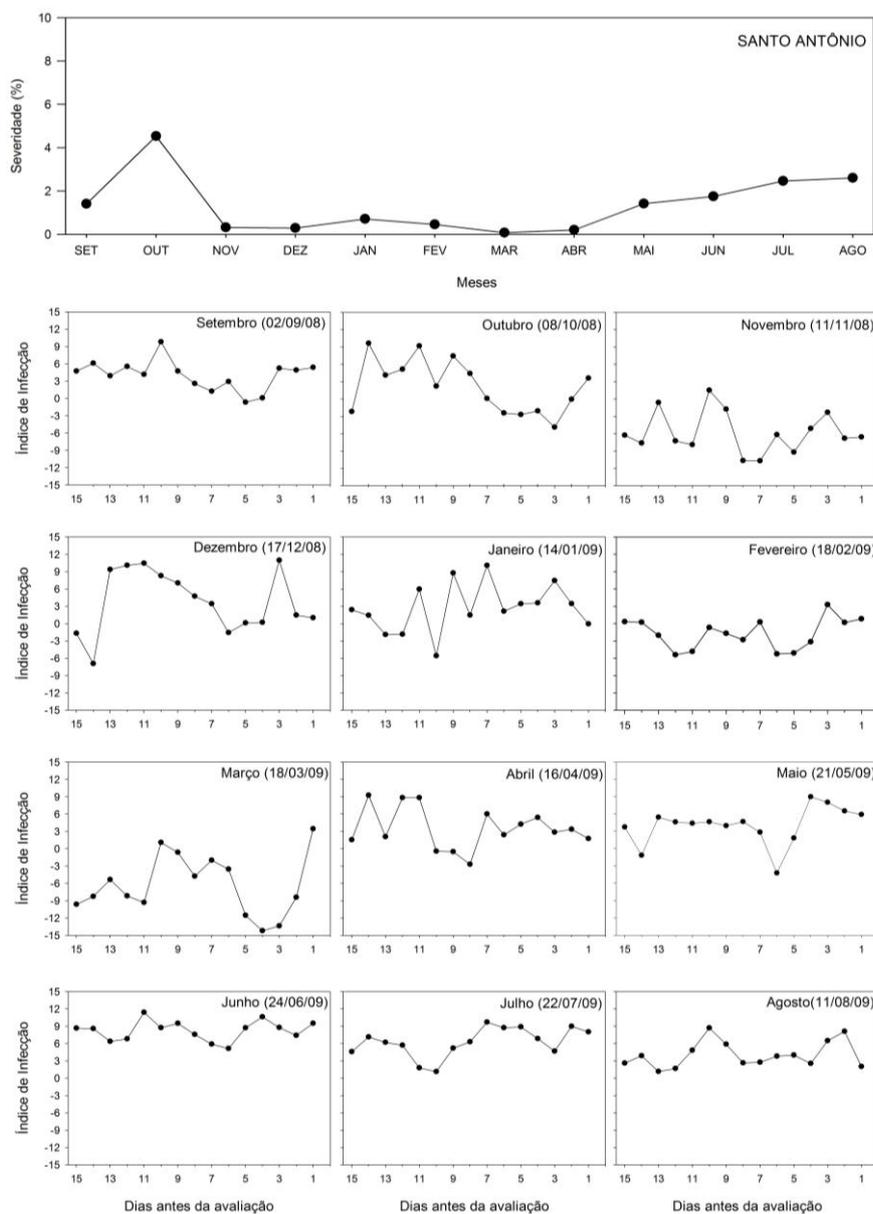


Figura 11 - Severidade da ferrugem do eucalipto (%) avaliada em condições de campo e índice de infecção, de acordo com a equação de Ruiz et al. (1989), para os 15 dias antes das avaliações no período de setembro de 2008 a agosto de 2009, no município de Santo Antônio, situado no extremo sul da Bahia.

Segundo Moraes (2009), o índice de infecção pode ser útil para avaliações temporais da doença, contudo, para avaliações espaciais, o mesmo apresenta

algumas limitações. Tais inconsistências podem indicar que outras variáveis podem estar influenciando o desenvolvimento da doença, como temperaturas noturnas, períodos de molhamento foliar, frequência diária de ocorrência do molhamento foliar e precipitação, uma vez que esta última variável pode prolongar a duração do período de molhamento foliar pelo orvalho. Todos esses fatores não são considerados no modelo proposto por Ruiz et al. (1989), que considera somente a temperatura máxima e o molhamento foliar, mesmo assim, de forma constante e sob condições controladas.

Desta forma, caso as variáveis climáticas utilizadas não estejam representando o desenvolvimento da doença, tal metodologia estaria limitada tanto para a análise temporal como espacial da doença no campo. Isso porque, o clima, considerado um fator chave na epidemiologia da ferrugem do eucalipto, apresenta variações mais intensas no campo do que em experimentos em condições controladas, uma vez que variáveis ambientais influenciadas pelo macro, meso ou microclima podem afetar diferentes processos do ciclo da doença, reduzindo a chance de infecção (LANA et al., 2012).

Assim, um fator estável em condições controladas poderá sofrer inúmeras influências em condições de campo, o que provavelmente poderia explicar a diferença observada entre o progresso da ferrugem nas três áreas de estudo e os respectivos valores do índice de infecção.

Quando se compara o desenvolvimento da doença em campo com o índice de risco calculado por meio da metodologia Fuzzy, verificam-se resultados similares ao detectado para o índice de infecção. Todavia, a metodologia Fuzzy suaviza as estimativas dos índices de infecção, o que a torna mais adequada para utilização quando comparada ao índice de infecção (Figura 8). A metodologia Fuzzy tem sido utilizada em diferentes áreas da ciência, contudo ainda são poucos os trabalhos citados na literatura que empregam tal técnica na área de Fitopatologia (BRUNT e PHILLIPS, 1981; KIM et al., 2005; DEL PONTE et al., 2006a), em especial de doenças de espécies florestais.

3.3 Terceira Fase - Identificação das variáveis climáticas que influenciam a ocorrência da ferrugem em condições de campo.

Uma vez observadas inconsistências entre os valores do índice de infecção e da severidade da ferrugem em experimentos de campo, procurou-se identificar com base nos dados climáticos diários quais variáveis poderiam estar influenciando o desenvolvimento da doença no campo. Em Joeirana no período de setembro a dezembro de 2008 e a partir de abril de 2009, a temperatura ambiente predominante no período noturno foi de 18,1 a 23 °C, sendo registradas em média 5 h diárias com molhamento foliar (MF), com temperaturas diurnas variando na faixa entre 18,1 e 25 °C e acima de 25 °C (Figuras 12, 13 e 14). No período de janeiro a março, a temperatura média noturna ficou entre 23 e 25 °C, com predominância de temperaturas acima de 25 °C, tendo sido registradas máximas de 32 °C durante o dia.

No ensaio conduzido em Nova Viçosa, no período de dezembro 2008 a abril 2009, foi registrado maior número de horas diárias com temperaturas acima de 23 °C, concentradas na faixa de 23,1 a 25 °C, e alta duração do período de MF. No período de maio a agosto foram observadas no período noturno temperaturas entre 18,1 e 23 °C e períodos prolongados de molhamento, chegando à 12h diárias (Figuras 15, 16 e 17).

Para a área de Santo Antônio, nos períodos de setembro a outubro de 2008 e de julho a agosto de 2009, foram registradas faixas de temperatura noturna entre 18,1 e 23 °C, tendo sido observados, em alguns casos, temperaturas inferiores a 18 °C, e curtos períodos de molhamento foliar, com temperaturas diurnas acima de 25 °C (Figuras 18, 19 e 20).

Com base nos dados de temperatura (Figuras 12 a 20), observa-se a predominância, de forma contínua, de temperaturas entre 18 a 23 °C no período noturno na maior parte do ano. Temperaturas inferiores a 15 °C, consideradas menos favoráveis à ferrugem, ocorreram durante poucas horas em todo período de avaliação nas três áreas de estudo. Temperaturas superiores a 25 °C, também consideradas desfavoráveis à doença, ocorreram na maior parte do tempo durante o período diurno.

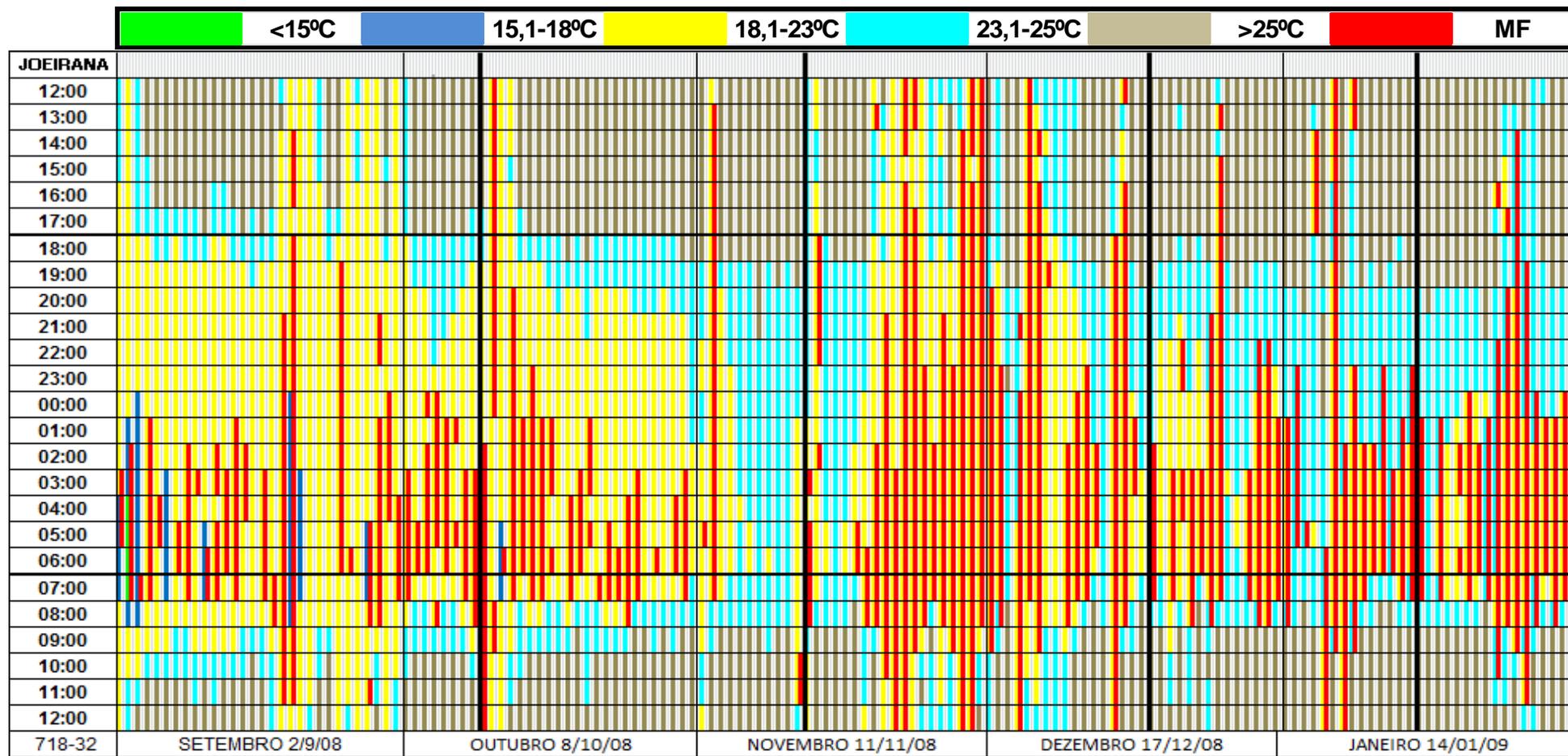


Figura 12 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia no período de setembro de 2008 a janeiro de 2009 no município de Joeirana, Bahia. * As datas de avaliação da severidade estão ao lado de cada mês. Linha espessa = Data da avaliação.

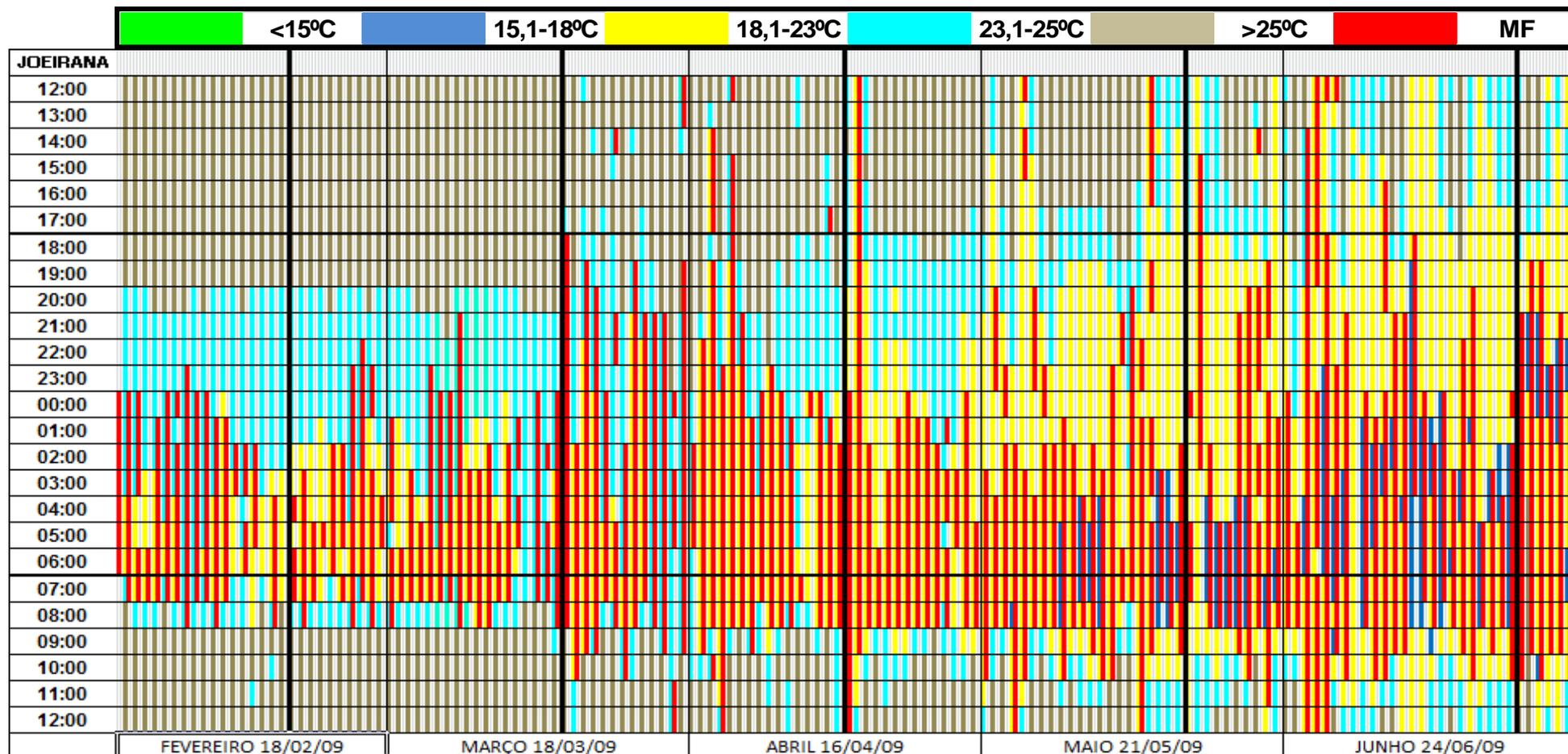


Figura 13 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia período de fevereiro a junho de 2009 no município de Joeirana, Bahia. * As datas de avaliação da severidade estão ao lado de cada mês. Linha espessa = Data da avaliação.

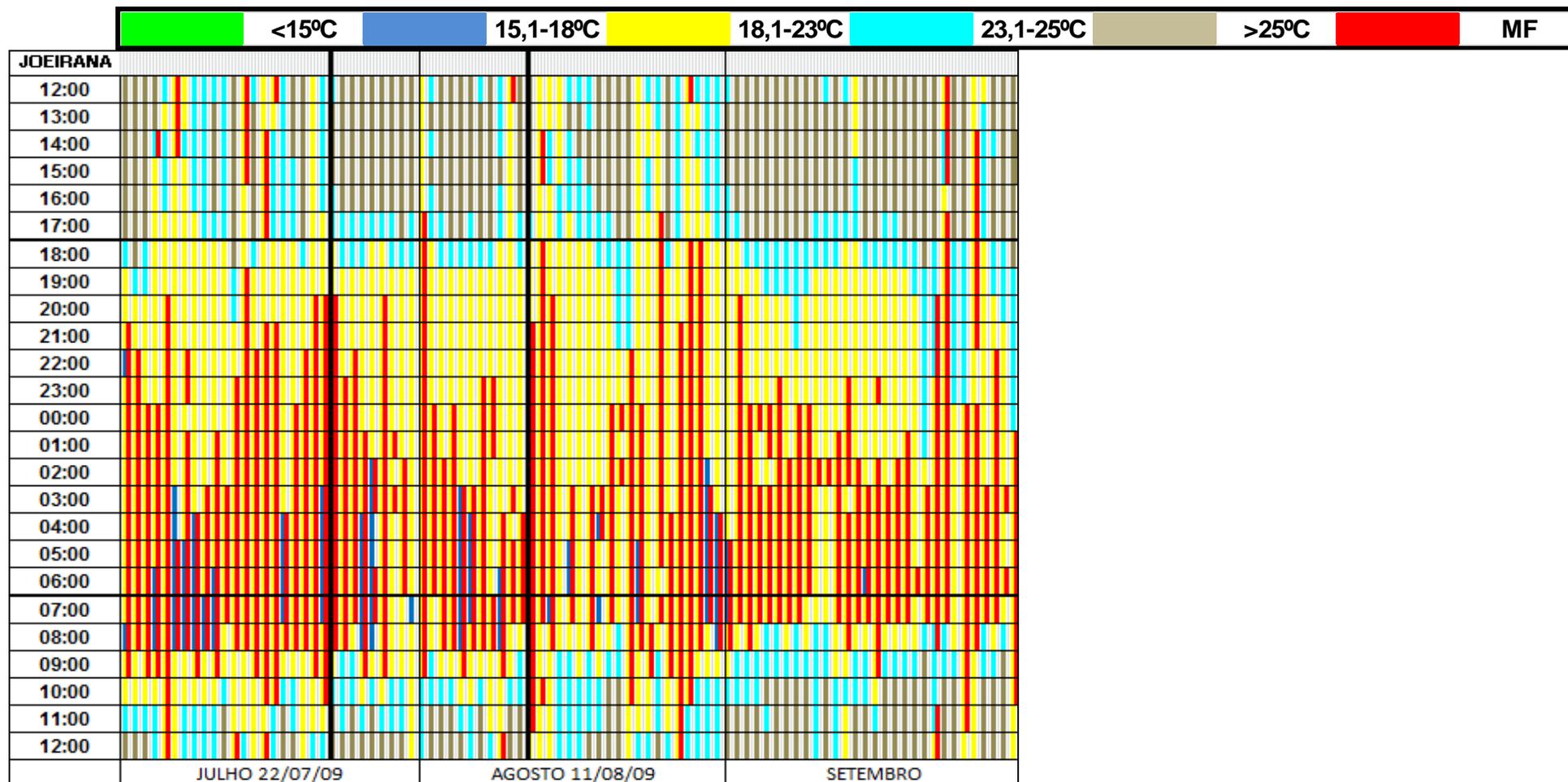


Figura 14 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia período de julho a setembro de 2009 no município de Joeirana, Bahia. * As datas de avaliação da severidade estão ao lado de cada mês. Linha espessa = Data da avaliação.

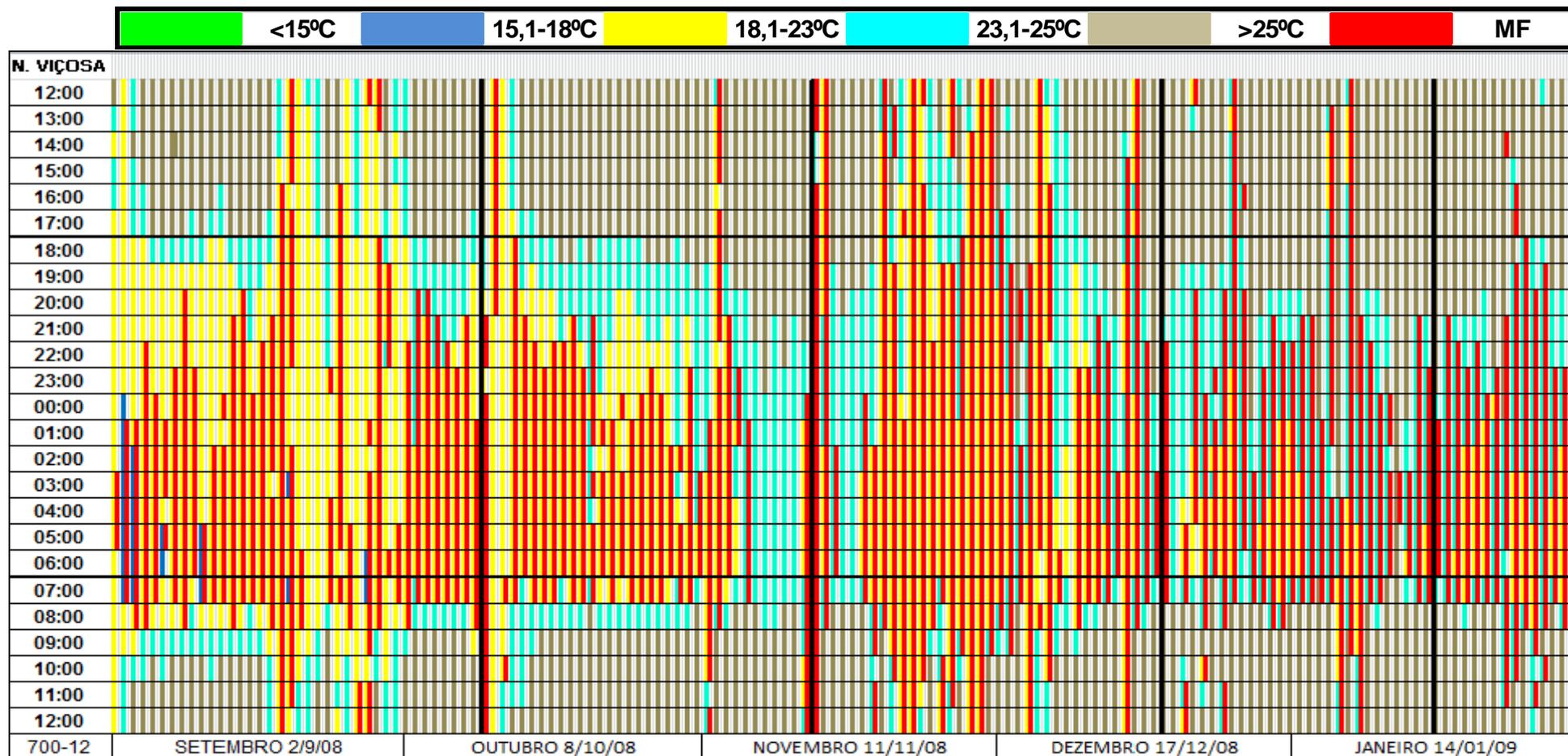


Figura 15 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia no período de setembro de 2008 a janeiro de 2009 no município de Nova Viçosa, Bahia. * As datas de avaliação estão ao lado de cada mês. Linha espessa = Data da avaliação.

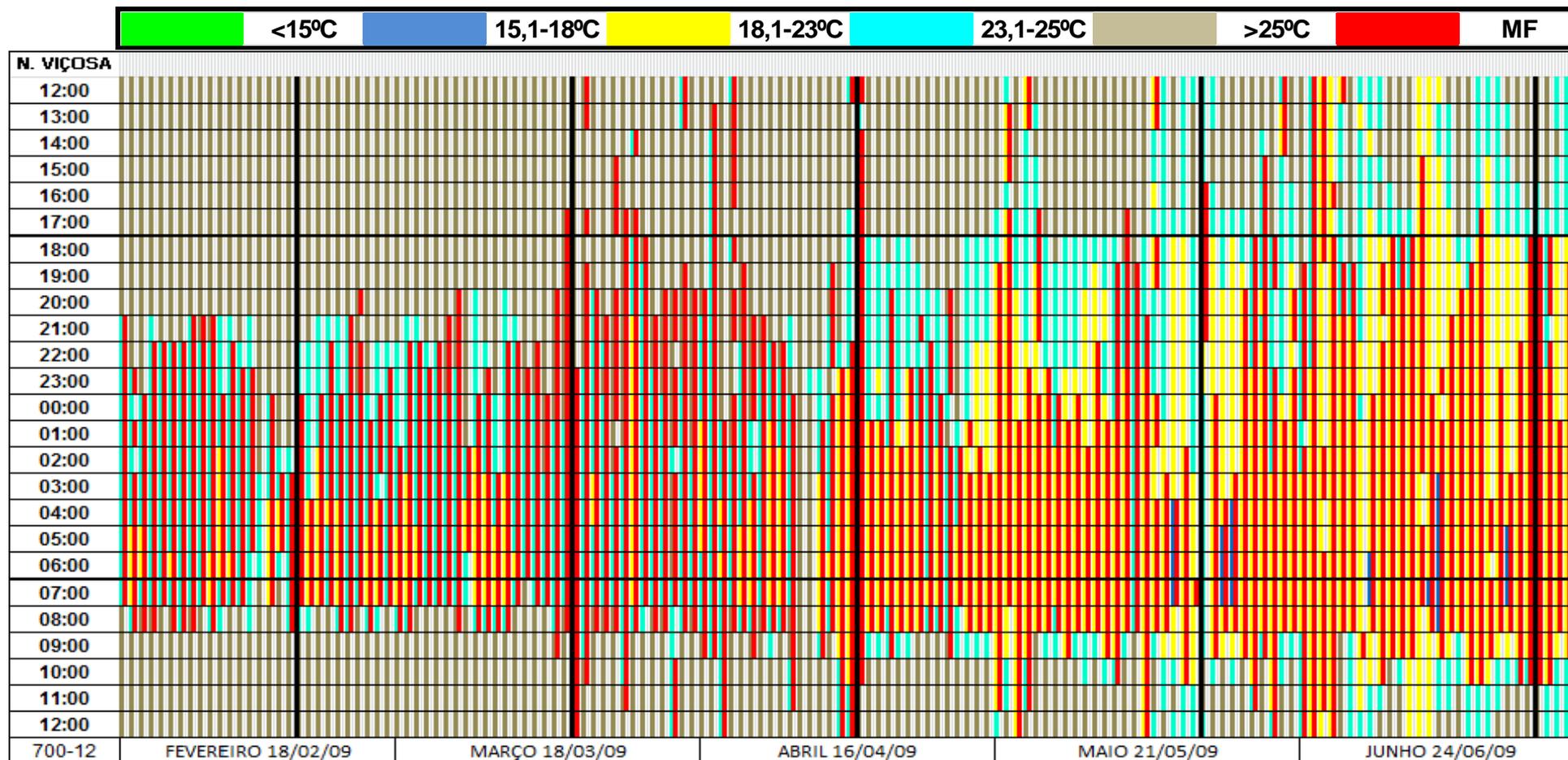


Figura 16 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia no período de fevereiro a junho de 2009 no município de Nova Viçosa, Bahia. * As datas de avaliação estão ao lado de cada mês. Linha espessa = Data da avaliação.

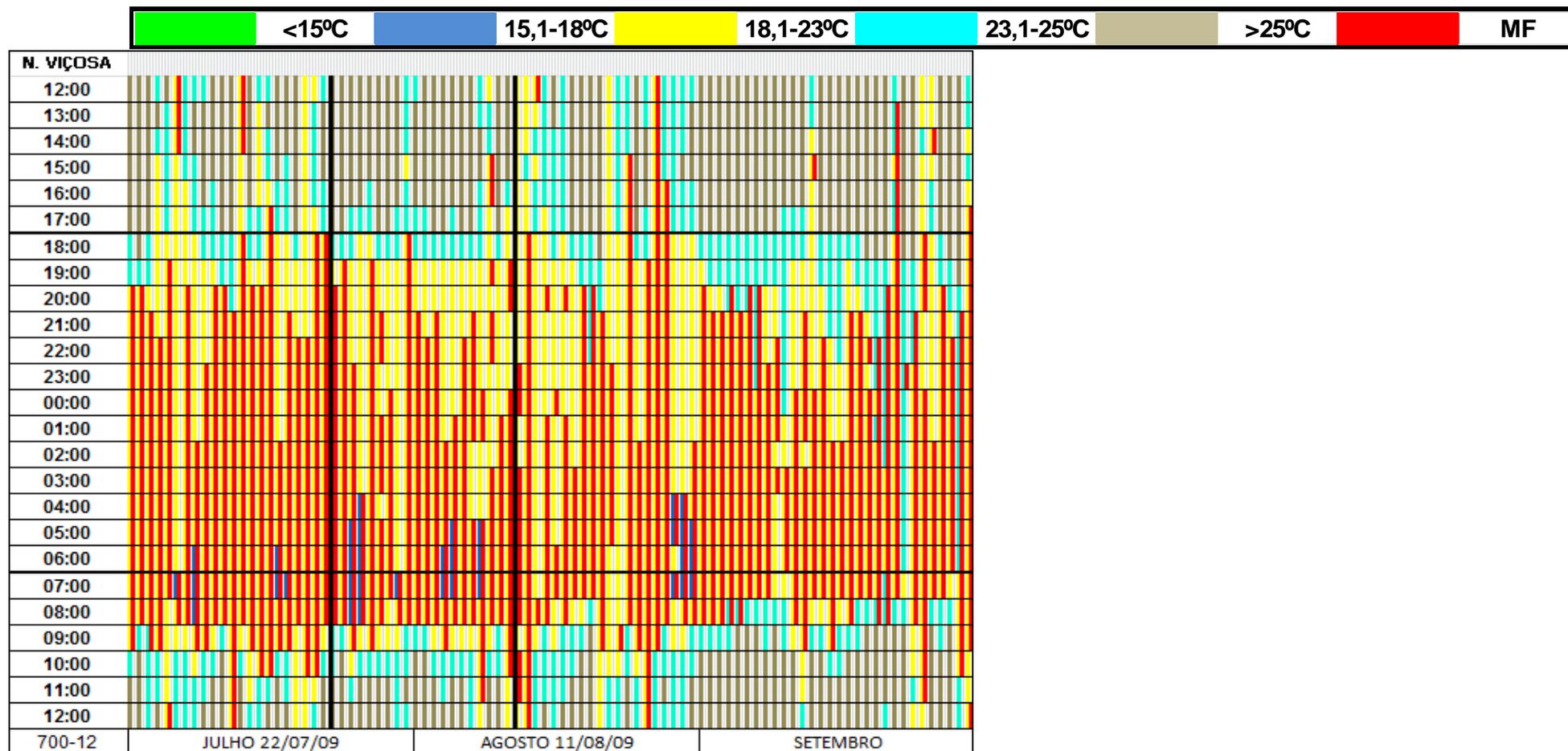


Figura 17 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia no período de julho a setembro de 2009 no município de Nova Viçosa, Bahia. * As datas de avaliação estão ao lado de cada mês. Linha espessa = Data da avaliação.

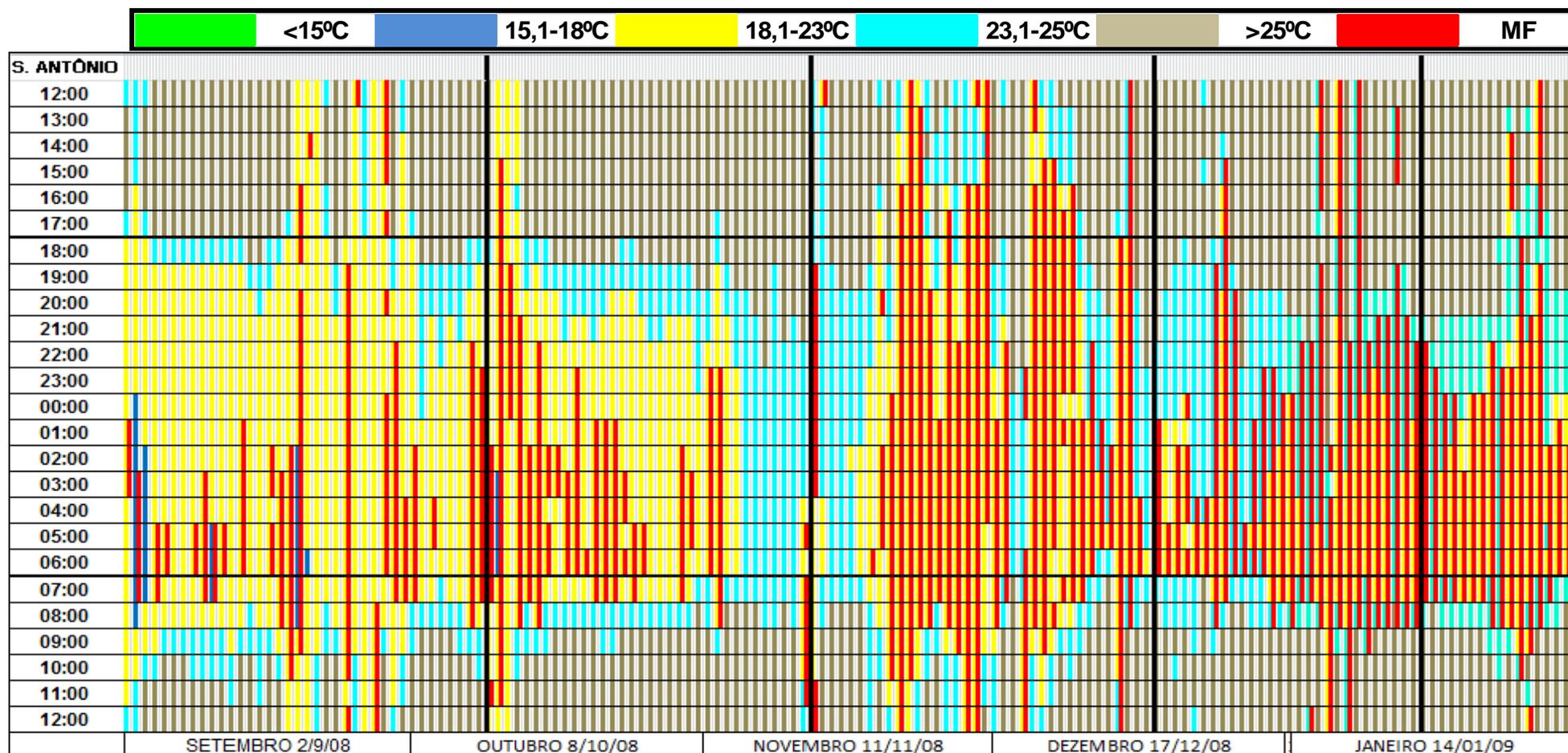


Figura 18 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia no período de setembro de 2008 a janeiro de 2009 no município de Santo Antônio, Bahia.*As datas de avaliação estão ao lado de cada mês. Linha espessa = Data da avaliação.

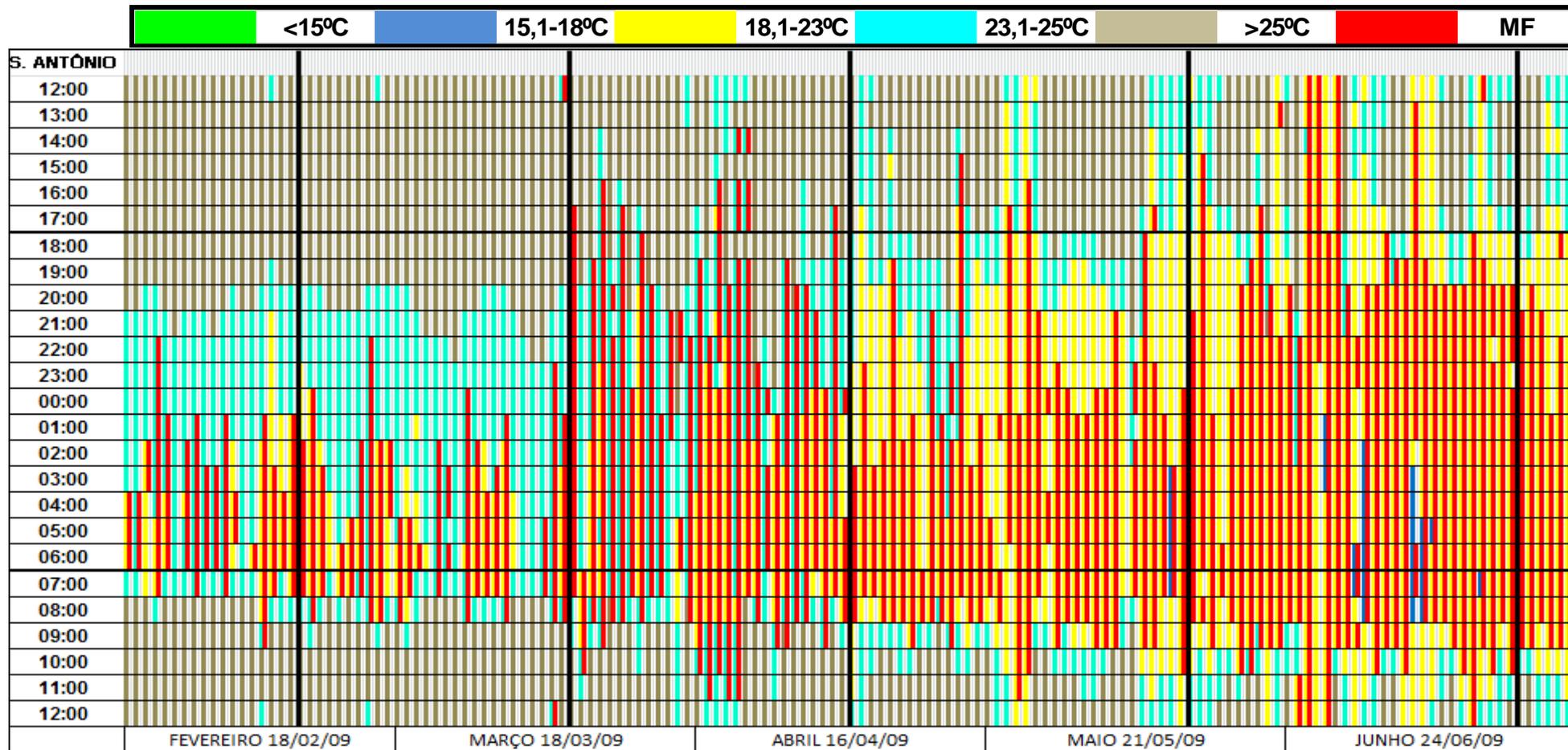


Figura 19 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia no período de fevereiro a junho de 2009 no município de Santo Antônio, Bahia.*As datas de avaliação estão ao lado de cada mês. Linha espessa = Data da avaliação.

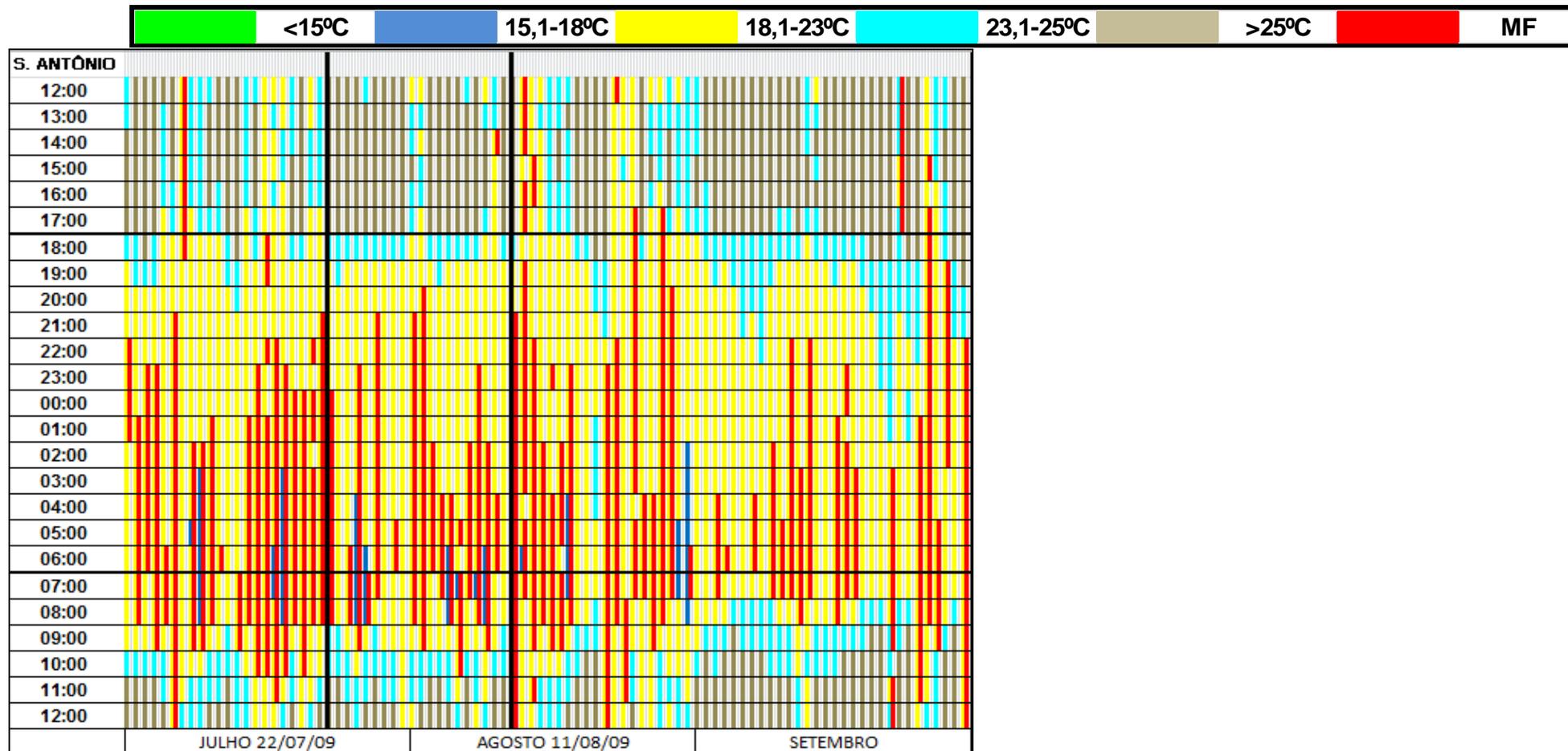


Figura 20 - Comportamento diário de cinco faixas de temperatura e molhamento foliar (MF) em função da hora do dia no período de julho a setembro de 2009 no município de Santo Antônio, Bahia. *As datas de avaliação estão ao lado de cada mês. Linha espessa = Data da avaliação.

Nas três áreas de estudo, pode-se observar que as condições de molhamento foliar (MF) e temperatura foram favoráveis à ocorrência da infecção. Contudo, em alguns casos, como em Nova Viçosa, o desenvolvimento da doença foi limitado pelas condições climáticas, o que fez com que a severidade da doença fosse inferior a 2%. As condições de temperatura e MF podem ser limitantes à ocorrência da ferrugem, sendo adequadas as temperaturas na faixa de 18 a 23 °C e 6h de MF por 5 a 7 dias consecutivos (RUIZ et al., 1989; FERREIRA, 1989; ALFENAS et al., 2009). Sobre o efeito da temperatura sobre a ecologia do patógeno, foi verificado que as melhores temperaturas para a germinação de urediniósporos foram de 15 e 20 °C, enquanto para a germinação de teliósporos foram as de 20 e 25 °C. Sendo assim, para a germinação, seja de urediniósporos ou teliósporos, a faixa ideal de temperatura estaria entre 15 e 25 °C (Ferreira, 1983).

O clima tem influência em todas as fases do ciclo de vida do fungo. De maneira geral, a esporulação, a frequência de infecção e a porcentagem de tecido lesionado podem ser favorecidas quando a temperatura encontra-se na faixa ideal de 18 a 23 °C, com 6 diárias de molhamento foliar (RUIZ et al., 1989; FERREIRA, 1989; ALFENAS et al., 2009).

Com isso, o estudo do progresso da doença associado aos fatores climáticos se faz necessário de forma a identificar todas as variáveis favoráveis associadas ao desenvolvimento do patógeno, bem como para determinar o possível “efeito de compensação” entre períodos desfavoráveis e favoráveis, de forma que ocorra a doença, mesmo em baixas intensidades. Por exemplo, Coelho et al. (2003) compararam o desenvolvimento na macha angular e ferrugem do feijoeiro nos plantios da seca e de inverno, verificando marcantes diferenças nas curvas de progresso das doenças entre os plantios. No plantio de inverno, a ferrugem foi mais intensa e as temperaturas foram inferiores a 21 °C. Durante o molhamento foliar, predominaram temperaturas inferiores a 16 °C. Já o plantio da seca predominou a mancha-angular e as temperaturas foram de 16,1 a 21 °C. O molhamento foliar ocorreu principalmente nas faixas de temperatura entre 16,1 e 21 °C.

Ruiz et al. (1989) afirmaram que surtos da ferrugem do eucalipto no campo são altamente influenciados pelas condições de temperatura e umidade relativa, com períodos críticos de ocorrência da doença em temperaturas na faixa de 18-25 °C e MF acima de oito horas. Contudo, analisando os dados climáticos e comparando-os com a severidade da doença, nas três áreas de estudo, pode-se observar que em períodos considerados favoráveis para ocorrência da ferrugem houve baixa intensidade da doença, em contrapartida, períodos que a princípio seriam desfavoráveis à doença apresentaram alta severidade.

Tomando por base tais informações, foi realizada uma análise descritiva das variáveis climáticas temperatura noturna (TN), temperatura diurna (TD), molhamento foliar (MF), temperatura máxima do período diurno (TMD), temperatura mínima do período noturno (TMN), frequência contínua de molhamento foliar (FC) e precipitação (P), considerando o intervalo de 5, 7, 10 e 15 dias antes da avaliação, de forma a associar o comportamento destas variáveis com a severidade da doença observada em condições de campo. Tais períodos foram determinados com base nos estudos realizados por Ruiz et al. (1989) e Castro (1983) que determinaram que o período latente médio para a ferrugem do eucalipto varia de 6 a 12 dias, podendo variar em alguns casos entre 4 e 7 dias.

Considerando a área de estudo de Joeirana, verificou-se que a severidade da doença foi alta para o mês de outubro, sendo que, nos 15 dias antes da avaliação, as condições foram propícias à ocorrência da doença, dado que foram registradas temperaturas no período noturno na faixa ideal para o desenvolvimento do patógeno, com molhamento foliar médio variando de 4 a 5 horas em pelo menos dois dias consecutivos (Tabela 2). Para o mês de dezembro, apesar da temperatura noturna se encontrar na faixa considerada ideal para a ocorrência da ferrugem (18 a 23 °C), a duração do período de molhamento foliar médio variou de 0 a 4 horas. Adicionalmente, considerando os intervalos definidos, foi observada pouca frequência contínua de molhamento foliar na faixa ideal, como observado aos 5 e 7 dias antes da avaliação, com 0 e 2 dias seguidos com molhamento.

Tabela 2 - Valores médios de temperatura noturna (TN), temperatura diurna (TD), molhamento foliar (MF), temperatura máxima do dia (TMD), temperatura mínima da noite (TMN), frequência diária contínua de molhamento foliar (FDC) e precipitação (P) para 5, 7, 10 e 15 dias antes da avaliação no período de setembro de 2008 a agosto de 2009 no município de Joeirana, Bahia

Meses	Dias**	TN		TD		MF		TMD		TMN		FDC	P
OUT	5	22,2	0,3*	26,0	0,4	5,0	1,8	28,0	0,6	21,0	0,5	2\2	4,1
	7	22,0	0,8	25,7	0,8	4,2	1,8	27,8	0,6	20,9	0,8	3\2	4,1
	10	21,5	1,3	24,8	2,0	4,0	2,0	27,1	1,4	20,4	1,2	2\3\2	4,1
	15	21,1	1,4	23,9	2,3	4,0	3,2	25,5	2,7	19,8	1,4	2\3\2	10,4
NOV	5	24,1	0,3	27,5	0,4	0,0	0,0	30,3	0,4	23,1	0,2	0,0	0,0
	7	23,9	0,4	27,7	0,5	0,0	0,0	30,6	0,7	23,0	0,3	0,0	0,0
	10	23,3	1,1	27,1	1,4	1,3	4,1	30,4	1,1	22,3	1,1	1	4,1
	15	23,0	1,07	27,1	1,2	1,4	3,6	30,5	0,95	22,0	1,2	1\1	0,0
DEZ	5	22,9	1,1	26,1	1,6	6,6	6,0	29,0	1,2	22,1	1,0	0,0	73,4
	7	22,6	0,4	26,0	0,5	3,0	0,0	28,8	0,7	21,5	0,3	2	73,4
	10	22,2	1,1	25,1	1,8	4,0	4,5	27,4	2,1	21,2	1,4	4,0	74,9
	15	22,2	1,5	24,8	2,3	3,0	4,8	27,4	2,8	21,1	1,4	4,0	149,3
JAN	5	23,7	0,3	26,5	0,1	6,2	1,5	27,9	0,4	22,7	0,5	5,0	5,3
	7	23,6	0,3	26,0	0,9	7,5	1,6	27,9	0,3	22,8	0,7	7,0	9,
	10	23,6	0,7	25,7	1,0	5,8	3,5	28,7	1,6	22,5	0,6	7,0	35,3
	15	23,6	0,7	26,2	1,2	5,7	3,2	29,0	1,4	22,5	0,8	7\4	39,9
FEV	5	23,8	0,2	27,1	1,4	0,8	1,7	28,7	0,9	22,3	0,5	1,0	3,6
	7	23,8	0,3	27,1	1,2	1,4	2,1	28,9	0,9	22,3	0,5	1\1	18,5
	10	23,9	0,3	27,0	0,8	3,0	2,5	29,1	0,8	26,6	13,0	4,0	18,5
	15	23,9	0,3	27,1	0,7	3,7	2,5	29,1	0,8	22,5	0,5	8,0	19,6
MAR	5	24,2	0,6	28,6	0,7	2,8	2,6	31,8	1,1	23,0	0,9	1\1	0,0
	7	24,1	0,6	28,3	0,8	2,7	2,3	31,2	1,4	22,6	1,1	1\1\1	0,0
	10	23,9	0,5	27,9	0,9	3,2	2,7	30,6	1,6	22,4	1,0	3,0	1,8
	15	24,0	0,5	28,1	0,8	3,6	2,7	30,8	1,4	22,5	0,8	3\3	1,8
ABR	5	23,2	0,5	25,7	0,2	3,8	3,1	28,0	0,6	21,5	1,3	3	8,4
	7	23,1	0,5	25,7	0,4	4,6	2,9	28,5	1,2	21,1	1,2	2\3	36,1
	10	23,2	0,6	25,9	0,8	5,5	3,0	28,7	1,1	21,1	1,1	5\3	48,3
	15	22,9	0,6	25,6	1,0	6,9	3,5	28,5	1,3	21,1	1,0	10\3	189,0
MAI	5	20,8	1,5	23,1	2,4	4,0	3,5	25,8	2,9	18,9	2,4	3\1	48,3
	7	21,1	1,3	23,6	2,1	4,4	3,2	26,3	2,6	19,0	2,1	4\1	48,3
	10	20,9	0,6	23,4	0,8	4,8	3,0	26,2	1,1	18,3	1,1	3\4	48,3
	15	21,1	1,0	23,7	1,7	4,6	2,4	26,5	1,9	18,5	1,7	4\3	48,8
JUN	5	19,9	0,5	22,6	1,0	1,8	4,0	24,1	2,2	16,7	0,5	1\1	0
	7	19,6	0,7	22,8	1,0	3,1	3,4	24,4	1,9	16,8	0,7	2,0	0,3
	10	19,2	1,1	22,2	1,4	4,1	3,1	24,3	1,5	16,6	0,7	5\2	0,3
	15	19,4	1,0	22,5	1,3	4,3	3,0	24,8	1,6	16,5	0,7	3\5	2,5
JUL	5	19,9	0,7	22,6	1,1	8,0	3,2	25,4	1,9	18,0	0,5	4	0,0
	7	20,0	0,8	22,5	1,2	8,4	2,7	25,1	2,0	18,3	0,7	7	0,0
	10	20,2	0,9	22,6	1,2	8,3	2,9	26,0	1,9	18,5	0,9	10	0,0
	15	20,0	0,8	22,5	1,1	7,4	3,0	25,3	1,7	18,1	1,1	15	0,0
AGO	5	20,3	0,5	23,2	1,0	4,2	2,2	26,4	1,0	18,0	1,1	1	0,0
	7	20,2	0,4	23,4	1,0	4,6	2,1	26,6	0,9	17,8	1,3	3	0,0
	10	20,4	0,5	23,3	1,0	5,6	2,9	26,3	0,9	18,1	1,2	6	0,0
	15	20,3	0,5	23,6	0,9	5,3	3,4	26,6	0,9	18,2	1,0	1\1\7	0,0

*Desvio Padrão da média. ** Dias antes da avaliação.

Outro fator que pode ter influenciado a redução da severidade da doença para dezembro foi a precipitação acumulada ocorrida nos dias que antecederam a avaliação da doença, chegando a 149,3 mm 15 dias antes da avaliação.

Para Nova Viçosa, situação semelhante foi observada para o mês de outubro, em que a intensidade da doença foi alta, a qual pode ser explicada pela ocorrência de molhamento foliar médio de até 9 horas diárias, e frequência contínua de 7 dias. Mesmo com temperaturas máximas diurnas altas (superiores a 29 °C), as temperaturas noturnas apresentaram-se na faixa de 21 a 23 °C, com valor mínimo de 20,4 °C (Tabela 3). Para o mês de dezembro, a alta precipitação (95,3) seguida de poucos dias contínuos com molhamento foliar, associada a temperaturas diurnas superiores a 30°C podem ter desfavorecido o patógeno, fato que levou a baixa intensidade da doença.

Ao se considerar 15 dias antes da avaliação para o mês de janeiro foi observado molhamento foliar médio de 6 horas, porém este molhamento foi influenciado pela alta precipitação ocorrida neste período, com valores de até 70,9 mm, o que pode ter desfavorecido a ocorrência da doença, contudo com a proximidade da avaliação, 5 e 7 dias, pode-se observar que mesmo com temperaturas noturnas superiores a 24 °C, o período de molhamento foliar manteve-se alto (entre 5 e 6 horas) seguido por uma frequência contínua de pelo menos 3 dias. Neste período, a precipitação foi baixa, entre 1,3 e 10,4 mm, o que pode ter contribuído para manutenção do molhamento foliar contínuo, fato este que indica que tal variável apresenta alta influência no desenvolvimento da doença, mesmo com ocorrência de temperaturas consideradas pouco favoráveis ao desenvolvimento do patógeno.

Tabela 3 - Valores médios de temperatura noturna (TN), temperatura diurna (TD), molhamento foliar (MF), temperatura máxima do dia (TMD), temperatura mínima da noite (TMN), frequência diária contínua de molhamento foliar (FDC) e precipitação (P) para 5, 7, 10 e 15 dias antes da avaliação no período de setembro de 2008 a agosto de 2009 no município de Nova Viçosa, Bahia

Meses	Dias**	TN		TD		MF		TMD		TMN		FDC	P
OUT	5	22,6	0,2	26,9	0,4	8,6	1,1	29,1	0,8	21,4	0,4	5,0	0,3
	7	22,4	0,7	26,5	0,9	9,0	1,1	28,8	0,9	21,3	0,8	7,0	0,3
	10	22,0	1,1	25,7	2,0	7,8	3,2	28,1	1,5	20,8	1,1	1\8	1,0
	15	21,7	1,3	24,7	2,3	5,5	4,1	26,3	2,9	20,4	1,3	1\1\8	18,0
NOV	5	24,7	0,3	28,4	0,3	0,0	0,0	30,8	0,6	23,8	0,3	0,0	1,8
	7	24,5	0,5	28,4	0,3	1,3	2,4	30,9	1,0	23,6	0,4	1,0	1,8
	10	24,0	1,0	27,7	1,5	3,7	4,6	30,7	1,7	22,9	1,3	3\1	20,1
	15	23,7	1,0	27,7	1,3	4,1	4,0	30,8	1,4	22,6	1,3	2\5\1	20,1
DEZ	5	23,7	0,8	26,8	2,0	3,4	3,7	30,3	1,6	22,9	0,6	1\2	34,5
	7	23,4	1,0	26,7	1,7	5,0	3,1	29,9	1,7	22,3	1,3	3\2	34,5
	10	23,1	1,1	25,9	1,9	5,2	4,2	28,4	2,0	22,0	1,5	5\2	35,6
	15	23,0	1,4	25,6	2,2	3,9*	4,1	28,3	2,8	21,8	1,4	5\2	95,3
JAN	5	24,8	0,6	27,3	0,4	5,3	2,7	28,6	0,6	23,7	0,9	1\3	1,3
	7	24,6	0,6	26,9	0,8	6,0	3,7	28,8	0,7	23,8	0,8	3\3	10,4
	10	24,5	0,7	26,5	1,0	4,2	3,9	29,6	1,7	23,4	0,8	3\3	35,8
	15	24,5	0,7	27,1	1,2	6*	3,4	29,9	1,5	23,3	0,9	5\3\3	70,9
FEV	5	24,7	0,5	28,4	1,1	3,6	3,6	29,7	1,4	23,3	0,9	1\1\1	0,0
	7	24,6	0,5	28,1	1,0	5,0	3,2	29,9	1,2	23,1	0,8	3\1\1	2,5
	10	24,6	0,4	27,9	0,6	6,2	3,0	30,0	1,1	23,2	0,7	6\1\1	4,1
	15	24,6	0,3	28,0	0,7	7,2	2,6	30,0	1,1	23,1	0,6	11\1\1	16,3
MAR	5	24,8	0,7	29,1	1,0	4,0	0,9	32,1	1,2	23,5	1,1	3\0	0,3
	7	24,7	0,6	28,7	1,1	6,0	1,8	31,3	1,6	23,0	1,2	5\0	0,3
	10	24,6	0,6	28,5	1,0	5,4	2,2	30,8	1,6	22,9	1,1	1\6\0	10,7
	15	24,6	0,5	28,6	0,9	6,4	2,0	31,1	1,4	23,0	1,0	6\6	10,7
ABR	5	24,9	0,6	27,1	0,3	4,8	4,8	28,7	0,5	23,7	1,1	3,0	20,8
	7	24,7	0,6	27,2	0,5	6,0	4,4	29,2	1,3	23,3	1,1	2\3	88,4
	10	24,7	0,5	27,3	0,7	7,2	4,4	29,5	1,3	23,2	1,0	5\3	110,3
	15	24,6	0,6	27,1	0,9	8,1	4,1	29,5	1,4	23,2	0,9	10\3	185,7
MAI	5	22,3	1,6	24,5	1,9	1,8	3,8	26,8	2,2	20,5	2,7	1\1	57,4
	7	22,4	1,4	24,9	1,6	1,3	4,1	27,3	2,0	20,6	2,2	1\1	59,4
	10	22,1	1,2	24,8	1,4	1,5	3,6	27,3	1,6	19,8	1,9	1\1\1	59,7
	15	22,2	1,1	25,0	1,3	3,2	3,1	27,4	1,5	20,0	1,7	6\2\1	62,5
JUN	5	20,8	0,9	23,2	0,9	6,6	4,8	24,1	3,4	19,1	1,4	4	1,0
	7	22,4	0,8	24,9	1,0	6,4	4,2	27,3	3,0	20,6	1,2	1\4	1,3
	10	20,3	1,0	22,8	1,4	7,2	3,6	25,0	1,7	18,7	1,3	4\4	1,3
	15	20,6	1,1	23,1	1,3	6,8	3,5	25,4	1,7	19,0	1,3	1\1\1\4\4	2,5
JUL	5	20,7	0,6	22,9	1,1	9,2	2,9	25,5	1,9	18,8	0,8	5,0	0,0
	7	20,9	0,6	22,9	1,0	9,7	2,5	25,5	1,6	18,9	0,7	7,0	0,0
	10	21,2	0,8	23,2	1,2	10,2	2,3	26,6	1,4	19,4	1,1	10,0	0,0
	15	21,0	0,9	23,3	1,1	9,8	2,5	25,9	1,5	19,1	1,1	15,0	0,0
AGO	5	20,9	0,5	23,8	1,0	6,6	1,8	26,6	0,8	18,6	0,9	1\3	0,0
	7	20,8	0,4	24,0	1,0	6,9	2,1	26,9	0,8	18,5	0,8	3\3	0,0
	10	21,0	0,5	23,9	0,8	7,9	2,5	26,6	0,9	19,0	1,0	5\3	0,0
	15	20,9	0,5	24,1	0,8	7,5	3,2	26,6	0,8	18,9	0,9	1\7\3	0,0

*Desvio Padrão da média. ** Dias antes da avaliação.

Em Santo Antônio, para o mês de março, foram observadas temperaturas noturnas superiores a 24 °C, com mínima de 22,6 °C e temperaturas médias diurnas altas, com valores de próximos a 30,2 °C, com máximas de 34 °C, associadas com pequena duração do período de molhamento foliar (média de 2,8h para os 15 dias que antecederam a avaliação), o que pode explicar a baixa severidade da doença no mês (Tabela 4). Em contrapartida, os meses de maio e junho apresentaram temperaturas noturnas na faixa de 19,7 a 21,8 °C, consideradas favoráveis à ocorrência da doença, com temperaturas mínimas de 18,7 a 20,5 °C, temperaturas diurnas baixas na faixa de 22,3 a 24,8 °C seguido de altos períodos de molhamento foliar com frequências contínuas de no mínimo 4 dias, associados à baixa intensidade de precipitação.

Tabela 4 - Valores médios de temperatura noturna (TN), temperatura diurna (TD), molhamento foliar (MF), temperatura máxima do dia (TMD), temperatura mínima da noite (TMN), frequência diária contínua de molhamento foliar (FDC) e precipitação (P) para 5, 7, 10 e 15 dias antes da avaliação no período de setembro de 2008 a agosto de 2009 no município de Santo Antônio, Bahia

Meses	Dias**	TN		TD		MF		TMD		TMN		FDC	P
OUT	5	22,5	0,6	27,2	0,5	3,4	1,1	30,1	0,9	21,2	0,8	2	0,0
	7	22,3	0,8	26,9	0,8	2,4	1,1	29,8	1,0	21,2	0,8	2	0,0
	10	21,8	1,3	26,0	2,2	3,1	3,2	29,1	1,7	20,8	1,1	1\1\2	0,0
	15	21,3	1,4	24,9	2,6	2,5	4,1	27,0	3,4	20,3	1,3	2\1\2	66,5
NOV	5	24,4	0,2	28,5	0,7	0,0	0,0	31,8	1,3	23,5	0,2	0,0	0,0
	7	24,2	0,4	28,8	0,8	0,0	0,0	32,4	1,5	23,3	0,4	0,0	0,0
	10	23,7	0,9	28,6	1,1	2,0	4,3	32,0	1,6	22,8	0,9	1	0,0
	15	23,4	1,0	28,6	0,9	2,0	3,8	32,2	1,4	22,3	1,2	2\2	0,0
DEZ	5	23,3	1,1	26,9	1,4	0,8	3,7	30,0	1,4	22,4	0,7	1	51,3
	7	23,2	1,0	26,7	1,3	2,6	3,1	29,5	1,5	22,1	0,8	3	51,3
	10	22,6	1,3	25,6	2,0	2,4	4,5	28,1	2,1	21,6	1,1	4	62,9
	15	22,6	1,7	25,4	2,4	0,1	4,1	27,9	2,9	21,7	1,4	4	107,7
JAN	5	23,4	0,2	26,6	0,3	8,0	2,7	28,4	1,1	22,2	0,7	2\1	8,1
	7	23,5	0,3	26,4	0,6	5,7	3,7	28,7	1,0	22,5	0,9	3\1	12,1
	10	23,6	0,7	26,0	1,0	4,9	3,9	29,6	1,5	22,2	0,5	1\3\1	101,8
	15	23,7	0,7	26,5	1,3	5,4	3,4	29,8	1,5	22,3	0,5	4\1\3\1	121,6
FEV	5	23,7	0,7	27,9	1,6	3,2	3,6	30,1	1,3	22,4	0,7	2\1	11,6
	7	23,8	0,6	27,9	1,3	2,3	3,2	30,2	1,1	22,5	0,7	2\1	11,6
	10	24,1	0,7	28,0	0,9	3,0	3,0	30,5	1,2	27,1	13,8	3\2\1	11,6
	15	24,1	0,6	28,1	0,8	3,7	2,6	30,5	1,1	22,8	0,7	2\5\2\1	14,9
MAR	5	24,8	0,4	30,2	1,0	2,8	0,9	34,0	1,3	23,2	0,5	2	5,0
	7	24,5	0,6	29,8	1,1	2,8	1,8	33,3	1,7	22,8	0,9	1\2	5,0
	10	24,4	0,6	29,3	1,3	2,9	2,2	32,6	2,0	22,6	0,8	1\2\2	5,5
	15	24,5	0,5	29,5	1,1	2,7	2,0	32,8	1,7	22,9	0,7	1\1\2\2	5,5
ABR	5	23,5	0,6	26,3	0,7	10,4	2,2	28,4	1,1	22,5	0,8	4	5,3
	7	23,7	0,6	26,4	0,7	13	1,0	28,8	1,4	22,4	0,7	6	17,5
	10	23,8	0,6	26,5	0,9	9,5	2,8	29,2	1,3	22,8	0,8	9	19,3
	15	23,6	0,6	26,1	1,3	9,9	2,5	28,5	2,0	22,4	0,6	14	101,1
MAI	5	21,4	1,8	24,2	2,4	5,0	3,8	26,8	3,4	20,1	2,0	4	16,7
	7	21,8	1,6	24,8	2,2	4,3	4,1	27,4	3,0	20,5	1,8	1\4	16,7
	10	21,5	1,4	24,6	1,9	5,4	3,6	27,4	2,5	19,9	1,7	3\1\4	16,7
	15	21,6	1,2	24,8	1,7	5,4	3,1	27,6	2,2	20,0	1,5	6\1\4	16,7
JUN	5	20,2	0,9	22,8	1,2	7,6	4,8	24,4	3,6	19,1	1,0	4	0,2
	7	20,2	0,8	23,1	1,2	8,6	4,2	24,9	3,1	19,1	1,0	2\4	0,2
	10	19,7	1,0	22,3	1,7	8,2	3,6	24,8	2,0	18,7	1,0	4\4	0,2
	15	20,1	1,1	22,7	1,7	8,4	3,5	25,1	1,9	18,9	1,0	1\2\4\4	2,5
JUL	5	20,7	0,6	22,9	1,1	9,2	2,9	25,5	1,9	18,8	0,8	5,0	3,0
	7	20,9	0,6	22,9	1,0	9,7	2,5	25,5	1,6	18,9	0,7	7,0	7,4
	10	21,2	0,8	23,2	1,2	2,3	0,7	26,6	1,4	19,4	1,1	9,0	7,4
	15	21,0	0,9	23,3	1,1	9,8	2,5	25,9	1,5	19,1	1,1	3\9	7,4
AGO	5	20,9	0,5	23,8	1,0	6,6	1,8	26,6	0,8	18,6	0,9	3,0	8,1
	7	20,8	0,4	24,0	1,0	6,0	2,1	26,9	0,8	18,5	0,8	3,0	8,1
	10	21,0	0,5	23,9	0,8	7,9	2,5	26,6	0,9	19,0	1,0	2\3	8,4
	15	20,9	0,5	24,1	0,8	7,5	3,2	26,6	0,8	18,9	0,9	1\3\3	10,4

*Desvio Padrão da média. ** Dias antes da avaliação.

Para compreender o desenvolvimento da doença em condições de campo, é necessário que se considere todas as variáveis climáticas, bem como suas durações e frequência, dado que pode haver um “efeito compensatório” entre as variáveis. Caso somente algumas variáveis sejam levadas em consideração, não necessariamente se consegue explicar o desenvolvimento da doença no campo. Deste modo, o conjunto de variáveis consideradas no presente estudo pode explicar de forma mais adequada o progresso da doença.

Um fator que pode explicar as incoerências existentes entre a severidade observada no campo e o índice de infecção é a presença ou ausência de precipitação. No mês de dezembro em Joeirana, por exemplo, a precipitação registrada variou de 73 a 143 mm nos 15 dias antes da avaliação, fato que não é levado em consideração no cálculo do índice de infecção. Assim, os valores de molhamento foliar podem ser superestimados devido a precipitação, que adicionalmente, poderá influenciar na liberação dos esporos.

Além disso, caso os períodos considerados favoráveis para o desenvolvimento da doença ocorram de forma fragmentada, o ciclo do patógeno pode se estender (com período latente e de incubação altos), o que poderia influenciar na intensidade da doença. Nesse caso, a ocorrência de curtos períodos de tempo com condições extremamente favoráveis à doença, porém de forma contínua, poderá propiciar condições adequadas para o desenvolvimento da ferrugem, levando a alta intensidade da doença. Tal fato pode ser visualizado na área de Joeirana no mês de dezembro, em que a severidade da doença foi baixa e o índice de infecção alto, o qual pode ser explicado pela ocorrência de altas temperaturas diurnas (com valores de 26,1 °C e máximos de 29 °C) e duração do período de molhamento foliar médio de 3 a 4 horas, porém com frequência contínua de 0 a 4 dias para os 15 dias antes da avaliação.

Outro exemplo pode ser observado para o mês de janeiro tanto em Joeirana quanto em Nova Viçosa, em que foram registradas médias de temperaturas diurnas altas, entre 25,7 a 27,3 °C, com máximas de até 29,9 °C, considerado desfavorável para a doença. Entretanto tal situação pode ter sido compensada por um período de temperaturas noturnas amenas, na faixa de 23 e 24 °C, com

mínimas de 22 °C, associado a períodos de molhamento foliar superiores a 4 horas em três dias consecutivos, o qual, mesmo em períodos curtos de favorabilidade, poder ter sido suficiente para a infecção do patógeno.

Em geral, a temperatura é o fator do ambiente que mais influencia a incidência e a severidade das doenças, interferindo nos processos iniciais da infecção, nos processos de colonização, na esporulação e na sobrevivência dos patógenos. Adicionalmente, ela interfere nos processos fisiológicos da planta, como a evapotranspiração, a fotossíntese, o metabolismo, entre outros. O efeito da temperatura, na estação quente, pode inibir o patógeno durante o dia, e, à noite, favorecer a infecção e a esporulação. A duração do período de molhamento foliar e a precipitação foram outras variáveis que se destacaram como importantes para o desenvolvimento da doença (VALE et al., 2004).

Na Figura 21, são apresentados os dados de severidade da ferrugem do eucalipto em relação ao número de horas favoráveis à infecção (NHFI) para as três áreas de estudo, levando-se em consideração a temperatura entre 18 e 23 °C e molhamento foliar com e sem precipitação acima de 20 mm.

Observa-se que existe uma relação entre as condições de favorabilidade à infecção e a severidade da doença no campo. Em alguns casos, quando não se considera a precipitação acima de 20 mm, como observado para o mês de dezembro em todas as áreas. Em Joeirana, pode-se observar uma coerência entre o comportamento da severidade com NHFI, assim como para os meses de março a julho, o qual à medida que houve a redução da severidade o NHFI foi reduzido, ao passo que com o aumento da severidade houve o aumento do NHFI.

O molhamento foliar, principalmente pela formação de orvalho, parece ser um fator crítico para a ocorrência da doença, já que a presença ou ausência de água líquida na superfície foliar determina a possibilidade de infecção. De acordo com os dados obtidos, o período de molhamento foliar, não necessariamente, precisa ser de 6 horas como demonstrado na literatura, provavelmente devido ao efeito de compensação citado acima. Esse fato é corroborado pelos estudos realizados por Bora (2013), que concluiu que o período de molhamento foliar de quatro horas foi o mais favorável para a ocorrência de ferrugem do eucalipto no estado do

Paraná. Períodos noturnos de molhamento de quatro horas também permitem explicar a ocorrência da ferrugem mesmo com menor precipitação pluviométrica, o que também foi observado neste estudo.

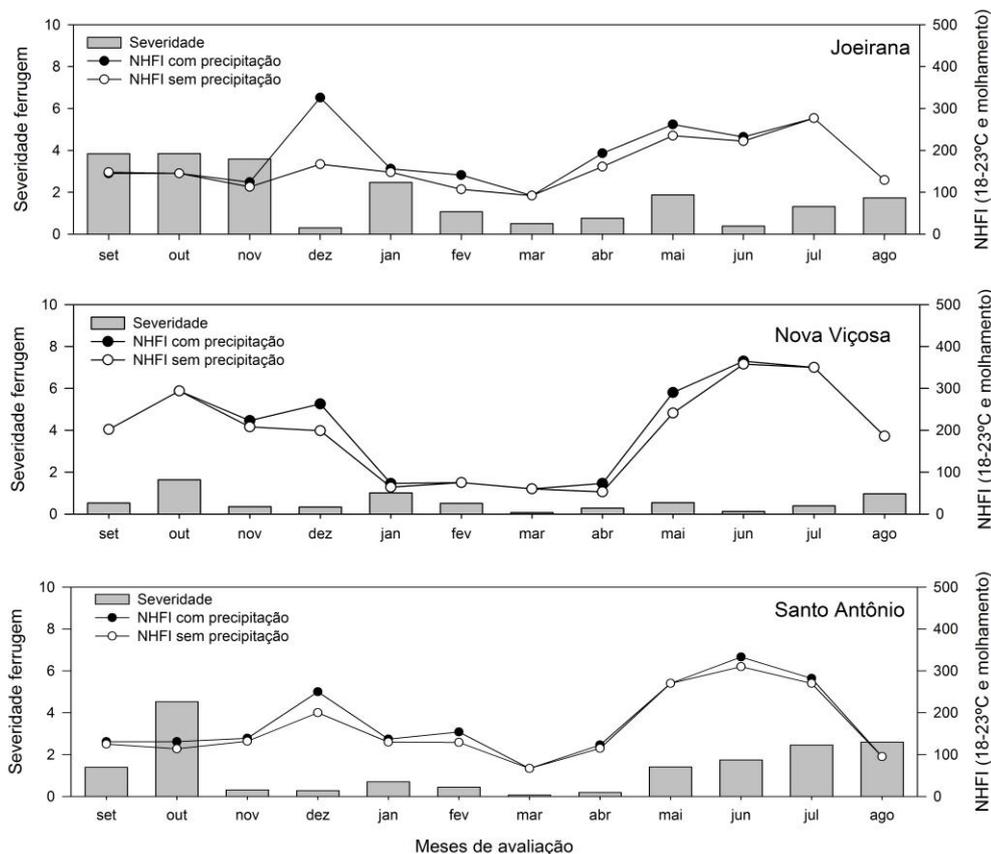


Figura 21- Severidade (%) da ferrugem do eucalipto em condições de campo, avaliada mensalmente, entre setembro de 2008 a agosto de 2009 em relação ao número de horas favoráveis a infecção (NHI) com e sem precipitação.

Assim como o molhamento foliar, a precipitação também é um fator importante a ser considerado nas avaliações de campo, dado que a precipitação apresenta importante papel na epidemia de doenças de plantas, prolongando o período de molhamento foliar provocado pelo orvalho, contribuindo com a liberação e a deposição de esporos por turbulência e na redução da temperatura no interior do dossel, como observado por Tan et al. (1996) e Del Ponte et al. (2006b) para a ferrugem da soja.

4 CONCLUSÃO

- Foram detectadas contradições entre a intensidade da ferrugem do eucalipto observada em condições de campo e o índice de infecção calculado através da equação de Ruiz et al. (1989).
- As variáveis temperatura noturna, duração do período de molhamento foliar, frequência diária de ocorrência do molhamento foliar e precipitação influenciam o desenvolvimento da ferrugem e devem ser utilizadas para refinamento do índice de infecção para predição do risco de ocorrência da doença em condições de campo.
- A metodologia Fuzzy mostra-se adequada para o mapeamento do risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto para o estado do Espírito Santo, considerando a distribuição espaço-temporal.
- A maior parte das áreas do estado do Espírito Santo apresentou-se com médio a alto risco de ocorrência da ferrugem, o que demanda medidas complementares de manejo da doença, incluindo principalmente a seleção e o plantio de clones resistentes.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF 2013**, ano base 2012. Brasília 2013, 142p.

AGRIOS, G.N. **Plant pathology**. Burlington: Elsevier Academic, 2005. 922pp.

ALFENAS, A.C.; MAFIA, R.G. Controle integrado de doenças em viveiros clonais e aspectos relativos à ferrugem (*Puccinia psidii*) do eucalipto. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, p. 156-163, 2003.

ALFENAS, A.C.; ZAUZA, E.A.V.; MAFIA, R.G.; ASSIS, T.F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa- MG. UFV. 2009. 500 p.

BOOTH, T.H.; OLD, K.M.; JOVANOVIC, T. A preliminary assessment of high risk areas for *Puccinia psidii* (Eucalyptus rust) in the Neotropics and Australia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 82, p. 295-301, 2000.

BORA, K.C. **Favorabilidade climáticas da ferrugem do eucalipto no estado do Paraná**. 2013. 59p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR. 2013.

BRUNT, A.A.; PHILLIPS, S. 'Fuzzy vein', a disease of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in Western Nigeria induced by cowpea mild mottle virus. **Tropical Agricultural**, v.58, p.177-180, 1981.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de Informações Geográficas** (Aplicações na Agricultura). 2.ed. Brasília: SPI/EMBRAPA-CPAC, 1998. 434 p.

CARVALHO, A.O.; ALFENAS, A.C.; MAFFIA, L.A.; CARMO, M.G.F. Avaliação do progresso da ferrugem (*Puccinia psidii*) em brotações de *Eucalyptus cloeziana* no sudeste da Bahia, de 1987 a 1981. **Revista Árvore**, v.3, p.265-74, 1994.

CASTRO, H.A. **Padronização de metodologia de inoculação e avaliação de resistência de *Eucalyptus* sp. a ferrugem causada por *Puccinia psidii* Winter.** 1983. 116p. Tese de Doutorado. ESALQ, USP, 1983.

COELHO, R.R.; VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; PAUL, P.A.; ZAMBOLIM, L.; BARRETO, R.W. Determinação das condições climáticas que favorecem o desenvolvimento da ferrugem e da mancha angular do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.28, p.508-514. 2003.

COUTINHO, T.A.; WINGFIELD, M.J.; ALFENAS, A.C.; CORUS, P.W. *Eucalyptus* rust: a disease with the potential for serious international implications. **Plant Disease**, v.82, p.819–825, 1998.

DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; CANTERI, M.G.; REIS, E.M.; YANG, X.B. Models and applications for risk assessment and prediction of Asian soybean rust epidemics. **Fitopatologia Brasileira**, v.31, p.533- 544, 2006a.

DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X.B. Predicting severity of Asian soybean rust with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v.96, p.797-803, 2006b.

DIANESE, J.C.; HARIDASAN, M.; MORAES, T.S.A. Screening *Eucalyptus* species for rust resistance in Bahia, Brazil. **Tropical Pest Management**, v.32, p.292-295,1986.

FAN, J.; GIJBELS, I. **Local Polynomial Modelling and Its Applications**, Chapman & Hall. London,1996.

FERREIRA, F.A. Ferrugem do eucalipto. **Revista Árvore**, v.7, p.104, 1983.

FERREIRA, F.A. **Patologia Florestal: principais doenças florestais no Brasil.** Viçosa: SIF, 1989. 570p.

FURTADO, E.L.; DIAS, D.C.; OHTO, C.T.; ROSA, D.D. **Doenças do eucalipto no Brasil.** Botucatu, 2009. 74p.

GLEN, M.; ALFENAS, A.C.; ZAUZA, E.A.V.; WINGFIELD, M.J.; MOHAMMED, C. *Puccinia psidii* a threat to the Australian environment and economy – a review. **Australasian Plant Pathology**, v.36, p.1–16, 2007.

HARMON, J.E.; ANDERSON, S.J. **The design and implementation of geographic information systems**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. 264 p.

HOERL, A.E.; KENNARD, R.W. Ridge regression: biased estimation for nonorthogonal problems. **Technometrics**, v.12, p.55-67, 1970.

JESUS JUNIOR, W.C.; POZZA, E.A.; VALE, F.X.R.; AGUILERA, G. M. Análise temporal de epidemias. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**, Belo Horizonte, Perfil, 2004. p.127-188.

KAVDIR, I.; GUYER, D. E. Apple grading using fuzzy logic. **Turk. J. Agric. For.**, v. 27, p.375-382, 2003.

KIM, K.S.; WANG, T.C.; YANG, X.B. Simulation of apparent infection rate to predict severity of soybean rust using a fuzzy logic system. **Phytopathology**, v.95, p.1122-1131, 2005.

KLIR, G.J.; YUAN, B. **Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications**. New Jersey: Prentice Hall. 1995. 574 p.

LANA, V.M.; MAFIA, R.G.; FERREIRA, M.A.; SARTÓRIO, R.C.; ZAUZA, E.A.V.; MOUNTEER, A.H.; ALFENAS, A.C. Survival and dispersal of *Puccinia psidii* spores in eucalypt wood products. **Australasian Plant Pathology**, v.41, p.229–238, 2012.

LOPES, M.V.; BARRETO, M.; SCALOPPI, E.A.G.; BARBOSA, J.C.; BRUNINI, O. Mapas de zonas de risco de epidemias e zoneamento agroclimático para o Cancro Cítrico no Estado de São Paulo. **Summa phytopathologica**, v. 34, p. 349-353, 2008.

MAFIA, R.G.; ALFENAS A.C.; LOOS. R.A. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre doenças na eucaliptocultura no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. 2011. p. 213-225.

MASSON, M.V.; OHTO, C.T.; FURTADO, E.L.; SILVA, S. A. Zoneamento climático do eucalipto no Estado de São Paulo visando o controle da ferrugem. **Summa Phytopathologica**, v. 33, suplemento, p. 67, 2007.

MASSON, M. V. **Ferrugem do eucalipto: planejamento evasivo, estimativa de dano e análise da viabilidade do controle químico**. 2009. 167p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Proteção de plantas), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu-SP, 2009.

MIRANDA, A.C.; MORAES, M.L.T.; TAMBARUSSI, E.V.; FURTADO, E.L.; MORI, E.S.; SILVA, P.H.M.; SEBBENN, A.M. Heritability for resistance to *Puccinia psidii* Winter rust in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden in Southwestern Brazil. **Tree Genetics & Genomes**, v.9, p321–329, 2013.

MORAES, T.S.A.; GONÇALVES, E.L.; REZENDE, G.C.; MENDES, J.; SUITER, F.W. Evolução da ferrugem causada pela *Puccinia psidii* Winter em *Eucalyptus* spp. **IPEF**, Circular Técnica, v.144, p.1-12, 1982.

MORAES, W.B. **Mapeamento de áreas de risco e impactos potenciais das mudanças climáticas globais para ocorrência da ferrugem do eucalipto**. 2009. 60p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. 2009.

PAUL, I.; JAARSVELD, A.S.V.; KORSTENC, L.; HATTINGH,V. The potential global geographical distribution of Citrus Black Spot caused by *Guignardia citricarpa* (Kiely): likelihood of disease establishment in the European Union. **Crop Protection**, v. 24, p. 297–308, 2005.

PEIXOTO M. S.; BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. Um modelo Fuzzy Presa-Predador em citros: pulgões e joaninhas. **Biomatemática**, v. 14, p. 29-38, 2004.

PÉREZ, C.A.; WINGFIELD, M.J.; ALTIER, N.A.; SIMETO, S.; BLANCHETTE, R.A. *Puccinia psidii* infecting cultivated *Eucalyptus* and native myrtaceae in Uruguay. **Mycol Progress**, v.10, p.273–282, 2011.

RUIZ, R. A. R. **Epidemiologia e controle químico da ferrugem (puccinia psidii Winter) do eucalipto**. 1988. 108p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG. 1988.

RUIZ, R. A. R.; ALFENAS, A. C.; FERREIRA, F. A.; VALE, F. X. R. Influência da temperatura, do tempo de molhamento foliar, do fotoperíodo e da intensidade de luz sobre a infecção de *Puccinia psidii* em eucalipto. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.14, p. 55-61, 1989.

SANTOS, C.A.G. **Estudos epidemiológicos da ferrugem do eucalipto causado por *Puccinia psidii* em plantios irrigados**. 2006. 75 p. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas), Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu-SP. 2006.

SILVA, P.H.M.; MIRANDA, A.C.; MORAES, M.L.T.; FURTADO, E.L.; STAPE, J.L.S.; ALVARES, C.A.; SENTELHAS, P.C.; MORI, E.M.; SEBBENN, A.M. Selecting for rust (*Puccinia psidii*) resistance in *Eucalyptus grandis* in São Paulo State, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.303, p.91–97, 2013.

STADEN, V.V.; ERASMUS, B.F.N.; ROUX, J.; WINGFIELD, M.J.; JAARSVEL, A.S.V. Modelling the spatial distribution of two important South African plantation forestry pathogens. **Forest Ecology and Management**, v. 187, p. 61–73, 2004.

TAKAHASHI, S.S. **Ferrugem do eucalipto: Índice de infecção, análise temporal e estimativas de danos relacionados à intensidade da doença no campo**. 2002. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu-SP. 2002.

TAN, Y.J.; YU, Z.; YANG, C.Y. **Soybean rust**. Beijing, China. China Agricultural Press. 1996.

VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, L.; COSTA, L.C.; LIBERATO, J.R.; DIAS, A.P.S. Influência do clima no desenvolvimento de doenças de plantas. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. (Ed.) **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Editora Perffil, 2004, p.47-87.

YAN, XIN. **Linear regression analysis** : theory and computing. Published by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 5 Toh Tuck Link, Singapore. 2009.

YANG, C. C. et al. Development of a herbicide application map using artificial neural networks and fuzzy logic. **Agric. Syst.**, v. 76, p. 561-574, 2003.

ZAUZA, E.A.V. **Epidemiologia da ferrugem do eucalipto e resistência genética**. 2007,.79p. Tese (Doutorado em Fitopatologia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2007.