

ÁRVORE DE DECISÃO NA ANÁLISE DE EPIDEMIAS DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO

Carlos Alberto Alves Meira¹; Luiz Henrique Antunes Rodrigues²

¹ Pesquisador, D.Sc., Embrapa Informática Agropecuária, Campinas-SP, carlos@cnptia.embrapa.br

² Professor, D.Sc., Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas-SP, lique@agr.unicamp.br

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma árvore de decisão para analisar epidemias da ferrugem do cafeeiro. O conhecimento dos fatores que condicionam as epidemias de ferrugem é importante e pode servir de base para a decisão sobre as medidas de controle a adotar e o melhor momento de implementá-las. Taxas de infecção calculadas a partir de avaliações mensais de incidência da doença foram agrupadas em três classes: declínio ou estagnação - TX1; crescimento até 5 pontos percentuais - TX2; e crescimento acima de 5 pontos percentuais - TX3. Dados meteorológicos, carga pendente de frutos e espaçamento entre plantas foram usados como variáveis explicativas das classes de taxa de infecção. A árvore de decisão foi induzida de 364 exemplos preparados a partir de dados coletados em lavouras de café em produção, de outubro de 1998 a outubro de 2006. O modelo classificou corretamente 78% dos exemplos de treinamento e a sua acurácia foi estimada em 73% para a classificação de novos exemplos. O acerto para cada classe de taxa de infecção foi 88% (TX1), 57% (TX2) e 79% (TX3). As variáveis explicativas mais importantes foram a temperatura média nos períodos de molhamento foliar, a carga pendente de frutos, a média das temperaturas máximas diárias no período de incubação e a umidade relativa do ar. A árvore de decisão demonstrou seu potencial como modelo de representação simbólica e interpretável, auxiliando na compreensão de quais variáveis e como as interações dessas variáveis conduziram as epidemias da ferrugem do cafeeiro no campo..

Palavras-chave: *Coffea arabica*, *Hemileia vastatrix*, modelos, descoberta de conhecimento em bases de dados, mineração de dados.

DECISION TREE ON THE ANALYSIS OF COFFEE RUST EPIDEMICS

ABSTRACT: The objective of this work was to develop a decision tree to analyze coffee rust epidemics. Knowledge about the factors that influence rust epidemics is important and can serve as basis for the decision about the control measures to adopt and the best moment to implement them. Infection rates calculated from monthly assessments of the disease incidence were grouped into three classes: decline or stagnation - TX1; growth up to 5 percentage points - TX2; and growth above 5 percentage points - TX3. Meteorological data, fruit load and space between plants were used as explanatory variables for the infection rate classes. The decision tree was induced from 364 examples prepared from data collected on coffee growing areas between October 1998 and October 2006. The model correctly classified 78% of the training data set and its accuracy was estimated in 73% for the classification of new examples. The success for each infection rate class was 88% (TX1), 57% (TX2) e 79% (TX3). The most important explanatory variables were mean temperature during leaf wetness periods, fruit load, mean of maximum temperatures during the incubation period and air relative humidity. The decision tree demonstrated its potential as a symbolic and interpretable model representation, helping to understand which variables and how the interactions between these variables conducted the coffee rust epidemics in the field.

Keywords: *Coffea arabica*, *Hemileia vastatrix*, models, knowledge discovery in databases - KDD, data mining.

INTRODUÇÃO

A ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) é considerada a principal doença da cultura, podendo ocasionar decréscimos significativos na produção de café (Zambolim et al., 2002). O conhecimento dos fatores que determinam a maior taxa de progresso da ferrugem é de grande importância, uma vez que eles condicionam a distribuição da doença, a sua incidência e a severidade. O estudo das relações entre o patógeno, o hospedeiro e o ambiente pode auxiliar na compreensão da ocorrência de epidemias e, como consequência, permitir a aplicação de medidas de controle mais adequadas (Montoya & Chaves, 1974).

A maioria dos estudos epidemiológicos da ferrugem do cafeeiro utilizou a análise de regressão para ajustar os dados observados (Kushalappa & Eskes, 1989; Zambolim et al., 2002). Estudos mais recentes procuraram empregar técnicas alternativas para descrever epidemias da doença, como a análise de trilha (Silva-Acuña et al., 1998) e as redes neurais (Pinto et al., 2002). A indução de árvores de decisão é outra possibilidade, já utilizada na modelagem de epidemias de doenças de culturas agrícolas, como a cercosporiose do milho (Paul & Munkvold, 2004) e a giberela do trigo (Molineros et al., 2005).

Uma árvore de decisão é um modelo representado graficamente por nós e ramos, parecido com uma árvore, mas no sentido invertido (Witten & Frank, 2005). O nó raiz, no topo da estrutura, e os nós internos são nós de decisão. Cada

um contém um teste sobre uma variável independente e os resultados desse teste formam os ramos da árvore. Os nós folhas, nas extremidades da árvore, representam valores de predição da variável dependente ou distribuições de probabilidade desses valores.

As árvores de decisão são de interesse especial para a mineração de dados ou descoberta de conhecimento em bases de dados (Fayyad et al., 1996), pois utilizam representação simbólica e interpretável, que permite a compreensão das fronteiras de decisão que existem nos dados e da lógica implícita neles (Apte & Weiss, 1997). O propósito da indução de árvores de decisão é descobrir a estrutura preditiva de um problema ou produzir modelos de predição precisos. No primeiro caso, a intenção é compreender quais variáveis e interações dessas variáveis conduzem o fenômeno estudado.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma árvore de decisão para analisar epidemias da ferrugem do cafeeiro. O intuito foi obter um modelo capaz de auxiliar na compreensão de como as condições do ambiente, a carga pendente de frutos e o espaçamento entre as plantas na lavoura condicionaram a taxa de infecção da doença, identificando os fatores mais importantes no progresso da ferrugem do cafeeiro no campo.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados analisados foram do acompanhamento mensal da incidência da ferrugem do cafeeiro na fazenda experimental da Fundação Procafé, em Varginha-MG (21°34'00"S, 45°24'22"W, 940 m de altitude), de outubro de 1998 a outubro de 2006 (Japiassú et al., 2007). Em cada ano, no mês de setembro, foram selecionadas oito lavouras de café em produção, quatro em espaçamento largo (média de 4.000 plantas/ha) e quatro adensadas (média de 8.000 plantas/ha). Para cada espaçamento, foram escolhidas duas lavouras com alta carga pendente de frutos (acima de 30 sacas beneficiadas/ha) e duas com baixa carga pendente (abaixo de 10 sacas beneficiadas/ha). Não houve controle da doença durante o ano agrícola nos talhões escolhidos. O processo de amostragem, realizado no final de cada mês, foi o recomendado por Chalfoun (1997). Dados meteorológicos foram registrados a cada 30 min por uma estação meteorológica automática instalada próximo dos locais de avaliação da incidência da ferrugem.

A análise dos dados foi conduzida como um processo de descoberta de conhecimento em bases de dados (Fayyad et al., 1996), de acordo com o modelo de processo de mineração de dados CRISP-DM (Chapman et al., 2000). A instância do processo (Meira, 2008) compreendeu as fases de compreensão do domínio, de entendimento dos dados, de preparação dos dados, de modelagem e de avaliação dos modelos obtidos.

A característica da epidemia de interesse foi o progresso da ferrugem do cafeeiro entre uma avaliação e a outra. Foram calculadas taxas de infecção para cada mês, calculando-se a diferença entre a incidência da doença no mês e a incidência no mês anterior. Os valores numéricos das taxas de infecção foram mapeados para três categorias ou classes: 'TX1(≤ 0)', para taxas de infecção negativas ou nulas; 'TX2($> 0 \leq 5$)', para taxas de infecção positivas, menores ou iguais a 5 pontos percentuais; e 'TX3(> 5)', para taxas de infecção maiores que 5 pontos percentuais. Esta taxa de infecção categórica com três classes, chamada TAXA_INF3N, foi a variável dependente; as classes foram escolhidas com base nas faixas de valores de incidência da ferrugem do cafeeiro recomendadas por Zambolim et al. (1997) para o controle da doença via foliar.

As variáveis independentes (explicativas) meteorológicas foram construídas a partir do nível horário (registros da estação), passando pelo nível diário, até o nível que permitisse a análise de seu relacionamento com a variável dependente (Tabela 1). O número de horas com alta umidade relativa do ar ($\geq 95\%$) foi utilizado como medida indireta de molhamento foliar contínuo (Sutton et al., 1984). Considerando um período de incubação estimado, de acordo com a equação proposta por Moraes et al. (1976), cada dia foi tratado como um eventual dia de infecção e foi associado ao mês correspondente da taxa de infecção para a qual possivelmente teve parcela de contribuição. O conjunto de dias associado a uma taxa de infecção foi denominado de período de infecção (PINF). As variáveis meteorológicas usadas na modelagem foram derivadas para esses períodos de infecção. A carga pendente de frutos e o espaçamento da lavoura completaram o conjunto das variáveis explicativas (Tabela 1).

O conjunto de dados preparado totalizou 384 exemplos ou casos (8 anos x 12 meses x 4 combinações carga-espaçamento). Períodos de falha no registro da estação meteorológica motivaram a eliminação de 20 exemplos, resultando em 364 exemplos para a modelagem, chamado de conjunto de treinamento. A árvore de decisão foi gerada com a ferramenta "Decision Tree" do SAS® Enterprise Miner™ (versão 4.3, SAS Institute, 2004) e depois visualizada e analisada com a ferramenta SAS® Enterprise Miner™ Tree Desktop Application (versão 9.1.32, SAS Institute, 2007).

A árvore de decisão foi avaliada por sua acurácia, que é a estimativa de acertos do modelo na predição da classe de taxa de infecção. Os acertos do modelo foram avaliados sobre o próprio conjunto de treinamento, método conhecido como resubstituição, e também foi feita uma estimativa da acurácia por validação cruzada (Witten & Frank, 2005).

Tabela 1. Variáveis explicativas usadas na indução da árvore de decisão que auxiliou na compreensão das epidemias da ferrugem do cafeeiro.

Variável	Tipo	Medida	Descrição
CARGA	binário	-	Carga pendente de frutos: ALTA ou BAIXA.
LAVOURA	binário	-	Espaçamento: lavoura ADENSADA ou LARGA.
MED_PRECIP_PINF	numérico	mm	Média das precipitações pluviiais diárias no PINF.
NHNUR95_PINF	numérico	h	Média diária do número de horas noturnas (das 20h às 8h) com umidade relativa do ar $\geq 95\%$ no PINF.
NHUR95_PINF	numérico	h	Média diária do número de horas com umidade relativa do ar $\geq 95\%$ no PINF.
PRECIP_PINF	numérico	mm	Precipitação pluvial acumulada no PINF.
THUR95_PINF	numérico	°C	Temperatura média diária durante as horas com umidade relativa do ar $\geq 95\%$ no PINF.
TMAX_PINF	numérico	°C	Média das temperaturas máximas diárias no PINF.
TMAX_PI_PINF	numérico	°C	Média das temperaturas máximas diárias no período de incubação para os dias do PINF.
TMED_PINF	numérico	°C	Média das temperaturas médias diárias no PINF.
TMIN_PINF	numérico	°C	Média das temperaturas mínimas diárias no PINF.
TMIN_PI_PINF	numérico	°C	Média das temperaturas mínimas diárias no período de incubação para os dias do PINF.
UR_PINF	numérico	%	Umidade relativa do ar média diária no PINF.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O início da epidemia da ferrugem do cafeeiro, na média de todos os anos, foi no mês de dezembro e o pico no mês de junho, independente do espaçamento e da carga pendente de frutos. A partir de dezembro, as taxas de infecção atingiram níveis mais elevados, com o percentual de distribuição da classe ‘TX3(>5)’ ultrapassando o das classes de menor nível (Figura 1). O percentual de distribuição das três classes de taxa de infecção, no conjunto de todos os meses do período analisado, foi 42% (154 exemplos) da classe ‘TX1(≤ 0)’, 23% (82 exemplos) da classe ‘TX2(>0 ≤ 5)’ e 35% (128 exemplos) da classe ‘TX3(>5)’.

A Figura 2 apresenta os três primeiros níveis da árvore de decisão que auxiliou na compreensão das epidemias da ferrugem do cafeeiro (Meira et al., 2008). As informações em cada nó da árvore representam, de cima para baixo, o número identificador do nó, a classe de taxa de infecção predominante e a distribuição percentual de cada classe no nó, na ordem ‘TX1(≤ 0)’, ‘TX2(>0 ≤ 5)’ e ‘TX3(>5)’. Os nós da árvore estão coloridos em tons de cinza com base na proporção de exemplos da classe ‘TX3(>5)’ – quanto mais escuro, maior a proporção.

A temperatura média nos períodos de molhamento foliar (THUR95_PINF) foi a primeira variável de teste na árvore de decisão (Figura 2, nó 1). Temperaturas inferiores a 17°C produziram taxas de infecção negativas ou nulas na maioria dos casos (73%), enquanto temperaturas maiores ou iguais a 17°C resultaram em taxas de infecção positivas na maior parte dos casos (28% de ‘TX2(>0 ≤ 5)’ e 57% de ‘TX3(>5)’). Montoya & Chaves (1974) indicaram que o ponto mínimo de germinação de *H. vastatrix* seria encontrado em temperaturas inferiores a 18°C.

Temperaturas abaixo de 16°C foram mais desfavoráveis à infecção (Figura 2, nó 8). Kushalappa et al. (1983) consideraram 14°C como o limite mínimo de atividade do patógeno. O valor máximo de THUR95_PINF foi 20,3°C, abaixo da temperatura ótima de germinação estimada em 23,7°C (Montoya & Chaves, 1974). Por esta razão, a árvore de decisão não deve ter identificado efeito negativo de temperaturas acima da ótima no poder germinativo de *H. vastatrix*.

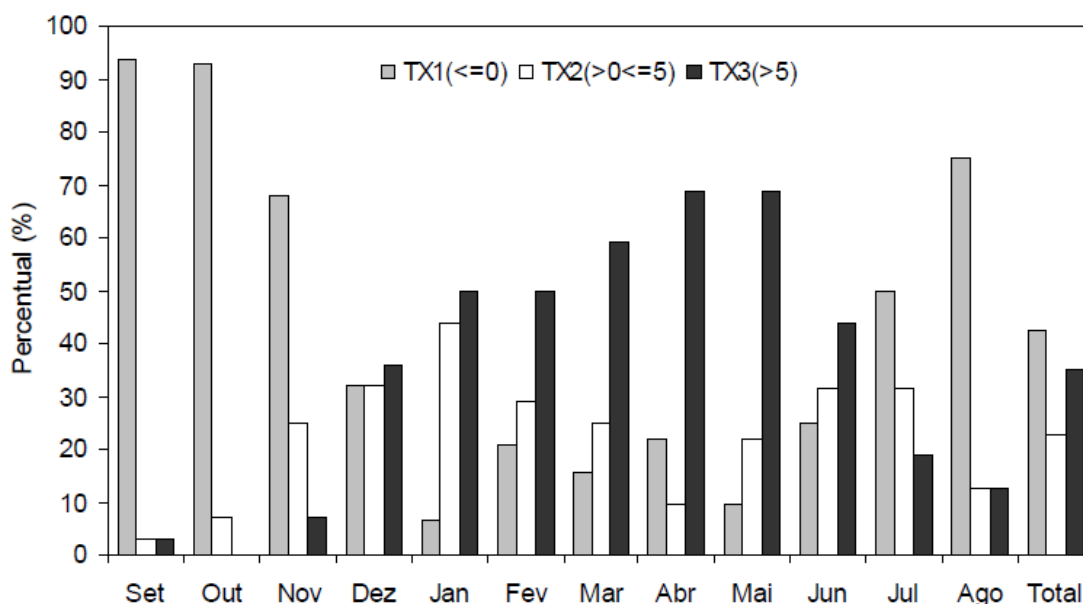


Figura 1. Distribuição percentual das três classes de taxa de infecção da ferrugem do cafeeiro (Fonte: Meira et al., 2008).

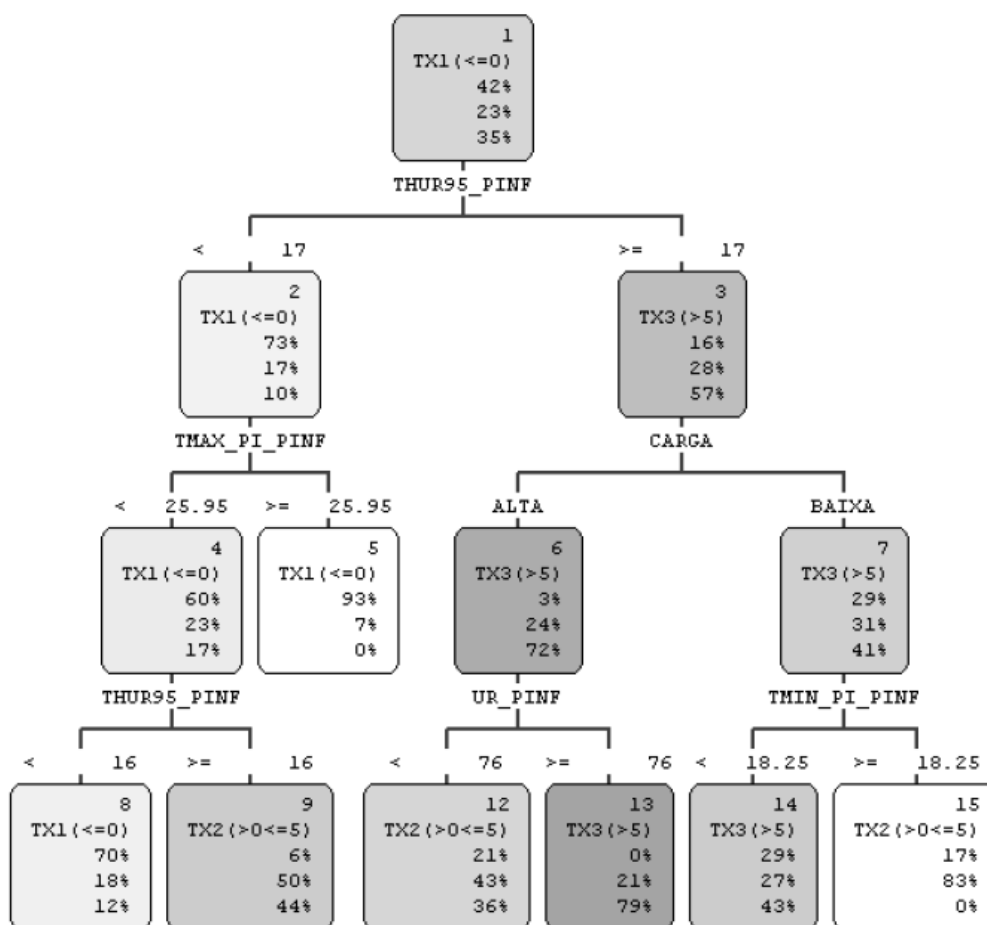


Figura 2. Três primeiros níveis da árvore de decisão que auxiliou na compreensão das epidemias da ferrugem do cafeeiro (Fonte: Meira et al., 2008).

A importância da temperatura durante o período de molhamento foliar no progresso da ferrugem do cafeeiro é reconhecida na literatura (Kushalappa & Eskes, 1989; Zambolim et al., 1997; Zambolim et al., 2002). Enquanto a superfície da folha está molhada, a temperatura é o fator principal que determina o percentual de germinação dos esporos e de penetração do agente etiológico da ferrugem (Kushalappa et al., 1983). Na árvore de decisão, a

temperatura durante o molhamento foliar, medida indiretamente pela temperatura média nos períodos de alta umidade relativa do ar (THUR95_PINF), foi a variável mais importante na determinação da classe de taxa de infecção. Além do teste no nó raiz, foi escolhida para outros dois testes nos níveis intermediários da árvore de decisão (Meira et al., 2008).

O próximo teste da árvore de decisão (Figura 2, nó 2) foi sobre a média das temperaturas máximas diárias no período de incubação (TMAX_PI_PINF). Temperaturas maiores ou iguais a 25,95°C resultaram em taxas de infecção negativas ou nulas (93% dos casos). Moraes et al. (1976) observaram que médias altas de temperatura máxima no período de incubação ocasionaram efeito depressivo sobre o desenvolvimento de *H. vastatrix*. Médias altas de temperatura mínima diária no período de incubação (TMIN_PI_PINF) também tiveram efeito negativo nas taxas de infecção (Figura 2, nó 15).

A decisão com base na carga pendente de frutos (Figura 2, nó 3) confirmou a predisposição das plantas à infecção de *H. vastatrix* devido à alta produção (Kushalappa, 1989). Taxas de infecção em nível mais elevado ocorreram em cafeeiros com alta carga pendente, em comparação com os de baixa carga. Segundo Zambolim et al. (2002), quanto maior a produção, maiores a incidência e a severidade da ferrugem do cafeeiro.

Valores médios diários mais elevados de umidade relativa do ar (UR_PINF) corresponderam a níveis mais elevados da taxa de infecção (Figura 2, nó 13). A umidade relativa parece ter expressado melhor a importância das chuvas do que as variáveis independentes relacionadas com a precipitação (Meira et al., 2008). As estações chuvosas estão frequentemente associadas com alta umidade relativa do ar (Kushalappa, 1989).

O espaçamento entre as plantas é considerado um fator de interferência no desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro, provavelmente influenciando as condições microclimáticas dentro da lavoura (Kushalappa & Eskes, 1989). Entretanto, o espaçamento das lavouras não se mostrou significativo na determinação da classe de taxa de infecção da ferrugem – a variável LAVOURA não apareceu em nenhum teste da árvore de decisão.

Os períodos de molhamento foliar prolongado (NHUR95_PINF e NHNUR95_PINF), presentes em praticamente todos os períodos de infecção, não serviram à árvore de decisão para identificar aqueles com maiores ou menores taxas de infecção. Isso pode estar relacionado à característica de que, no Brasil, é frequente a presença de água livre na superfície das folhas do cafeeiro, mesmo no inverno, estação seca, devido principalmente ao orvalho (Kushalappa &

Eskes, 1989). Sendo assim, as baixas temperaturas enquanto a folha está molhada tornam-se o fator limitante para a germinação e a penetração do fungo.

Os nós 5 e 15 da Figura 2 são nós folhas da árvore de decisão completa que auxiliou na compreensão das epidemias da ferrugem do cafeeiro. O caminho de decisão entre o nó raiz e um nó folha pode ser traduzido para uma regra na forma ‘SE <condição> ENTÃO <decisão>’. Por exemplo, o caminho até o nó 5 se traduz na regra ‘SE (THUR95_PINF < 17) e (TMAX_PI_PINF >= 25,95) ENTÃO TAXA_INF3N = TX1(<=0)’. Os outros nós da Figura 2 tiveram ramificações adicionais, até os demais nós folhas de predição da classe de taxa de infecção (Meira et al., 2008).

A árvore de decisão apresentou acurácia de 78% pela resubstituição. O modelo classificou corretamente 283 exemplos dos 364 do conjunto de treinamento. Foram classificados corretamente 88% dos exemplos da classe ‘TX1(<=0)’, 57% dos exemplos da classe ‘TX2(>0<=5)’ e 79% dos exemplos da classe ‘TX3(>5)’. O menor desempenho para a classe ‘TX2(>0<=5)’ deve estar relacionado com o menor número de exemplos desta classe no conjunto de treinamento (Figura 1), permitindo que as outras duas classes prevalecessem na distribuição dos exemplos nos nós folhas.

A acurácia da árvore de decisão para classificação de novos exemplos foi estimada em 73% pela validação cruzada. Esse valor de acurácia é uma estimativa de desempenho do modelo, caso se quisesse avaliar o potencial de uso da árvore de decisão no alerta da ferrugem do cafeeiro.

CONCLUSÕES

A técnica de indução de árvores de decisão se mostrou uma ferramenta adequada para a análise das epidemias da ferrugem do cafeeiro. A árvore de decisão apresentada demonstrou o seu potencial como modelo de representação simbólica e interpretável. Permitiu a identificação das fronteiras de decisão presentes nos dados e da lógica contida neles, auxiliando na compreensão de quais variáveis explicativas e como as interações dessas variáveis conduziram a taxa de progresso da ferrugem no campo.

As variáveis mais importantes, explicativas das epidemias da ferrugem do cafeeiro, foram a temperatura média nos períodos de molhamento foliar, a carga pendente de frutos, a média das temperaturas máximas diárias no período de incubação e a umidade relativa do ar.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Procafé pela concessão dos dados relacionados com o monitoramento da incidência da ferrugem do cafeeiro. Ao SAS Brasil pela concessão da licença de uso do SAS Enterprise Miner por meio de seu Programa Acadêmico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APTE, C.; WEISS, S. Data mining with decision trees and decision rules. **Future Generation Computer Systems**, v.13, p.197-210, 1997.
- CHALFOUN, S.M. **Doenças do cafeeiro**: importância, identificação e métodos de controle. Lavras, MG: UFLA/FAEPE, 1997.
- CHAPMAN, P.; CLINTON, J.; KERBER, R.; KHABAZA, T.; REINARTZ, T.; SHEARER, C.; WIRTH, R. **CRISP-DM 1.0**: step-by-step data mining guide. [Illinois]: SPSS, 2000. 78p.
- FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIRO, G.; SMYTH, P. From data mining to knowledge discovery in databases. **AI Magazine**, v.17, p.37-54, 1996.
- JAPIASSÚ, L.B.; GARCIA, A.W.R.; MIGUEL, A.E.; CARVALHO, C.H.S.; FERREIRA, R.A.; PADILHA, L.; MATIELLO, J.B. Influência da carga pendente, do espaçamento e de fatores climáticos no desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia, SP. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2007. 1 CD-ROM.
- KUSHALAPPA, A.C. Biology and epidemiology. In: KUSHALAPPA, A.C.; ESKES, A.B. (Ed.) **Coffee rust**: epidemiology, resistance, and management. Boca Raton: CRC Press, 1989. p.13-80.
- KUSHALAPPA, A.C.; ESKES, A.B. Advances in coffee rust research. **Annual Review of Phytopathology**, v.27, p.503-531, 1989.
- KUSHALAPPA, A.C.; AKUTSU, M.; LUDWIG, A. Application of survival ratio for monocyclic process of *Hemileia vastatrix* in predicting coffee rust infection rates. **Phytopathology**, v.73, p.96-103, 1983.
- MEIRA, C.A.A.; RODRIGUES, L.H.A.; MORAES, S.A. Análise da epidemia da ferrugem do cafeeiro com árvore de decisão. **Tropical Plant Pathology**, v.33, p.114-124, 2008.
- MEIRA, C.A.A. **Processo de descoberta de conhecimento em bases de dados para a análise e o alerta de doenças de culturas agrícolas e sua aplicação na ferrugem do cafeeiro**. 2008. 198p. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- MOLINEROS, J.E.; DE WOLF, E.D.; FRANCL, L.; MADDEN, L.; LIPPS, P. Modeling epidemics of fusarium head blight: trials and tribulations. **Phytopathology**, v. 95(Suppl.):S71. 2005.
- MONTOYA, R.H.; CHAVES, G.M. Influência da temperatura e da luz na germinação, infectividade e período de geração de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. **Experientiae**, v.18, p.239-266, 1974.
- MORAES, S.A.; SUGIMORI, M.H.; RIBEIRO, I.J.A.; ORTOLANI, A.A.; PEDRO JR., M.J. Período de incubação de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. em três regiões do Estado de São Paulo. **Summa Phytopathologica**, v.2, p.32-38, 1976.
- PAUL, P.A.; MUNKVOLD, G.P. A model-based approach to preplanting risk assessment for gray leaf spot of maize. **Phytopathology**, v.94, p.1350-1357, 2004.
- PINTO, A.C.S.; POZZA, E.A.; SOUZA, P.E.; POZZA, A.A.A.; TALAMINI, V.; BOLDINI, J.M.; SANTOS, F.S. Descrição da epidemia da ferrugem do cafeeiro com redes neuronais. **Fitopatologia Brasileira**, v.27, p.517-524, 2002.
- SILVA-ACUÑA, R.; ZAMBOLIM, L.; CRUZ, C.D.; VALE, F.X.R. Estudo epidemiológico da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) utilizando a análise de trilha. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.23, p.425-430, 1998.
- SUTTON, J.C.; GILLESPIE, T.J.; HILDEBRAND, P.D. Monitoring weather factors in relation to plant disease. **Plant Disease**, v.68, p.78-84, 1984.
- WITTEN, I.H.; FRANK, E. **Data mining**: practical machine learning tools and techniques. 2nd ed. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2005. 525p.
- ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R.; COSTA, H.; PEREIRA, A.A.; CHAVES, G.M. Epidemiologia e controle integrado da ferrugem-do-cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, 2002. p.369-449.
- ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R.; PEREIRA, A.A.; CHAVES, G.M. Café (*Coffea arabica* L.): controle de doenças – doenças causadas por fungos, bactérias e vírus. In: VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Controle de doenças de plantas**: grandes culturas. Viçosa: UFV, v.1, 1997. p.83-139.